



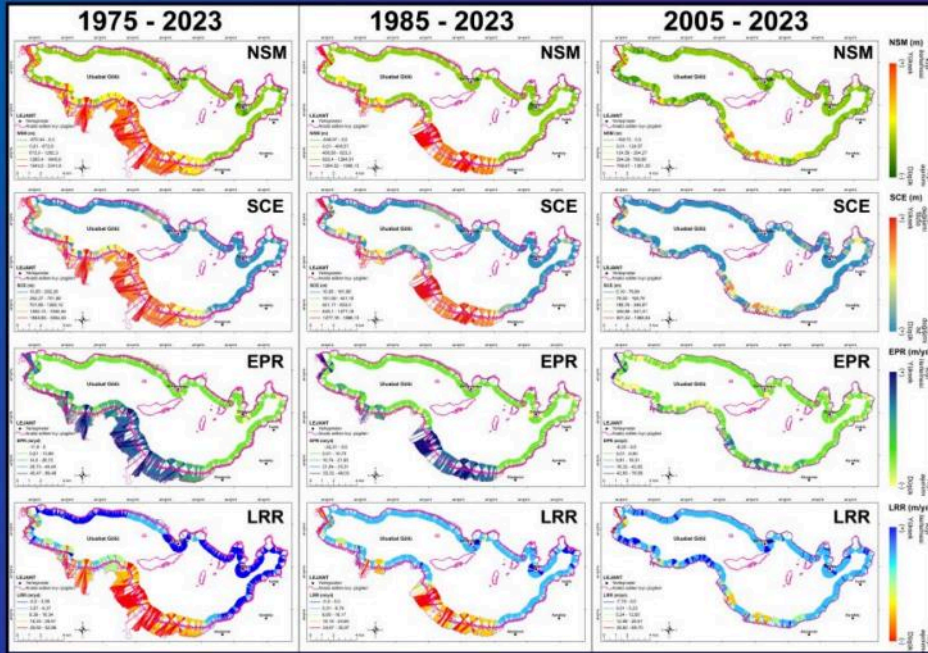
Türk Coğrafya Kurumu  
Turkish Geographical Society

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

# TÜRK COĞRAFYA DERGİSİ



Turkish Geographical Review  
Revue Turque de Géographie  
Turkische Geographische Zeitschrift



İstanbul-2024

Sayı:86

# 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. Öğrt. Üyesi Sultan Murat UZUN

**Kapak Dizaynı / Cover Page Design**

Prof. Dr. Ahmet Evren ERGİNAL, Prof.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

2024

Sayı/Volume: 86

### İçindekiler/ Contents

### Sayfalar/ Pages

Editörden / Editorial.....		1-6
<b><u>Araştırma Makaleleri / Original Articles</u></b>		
Mehmet ÖZCANLI, Erkan YILMAZ	Türkiye'de arazi örtüsü/kullanımı değişimlerinin belirlenmesi ve iklim değişimine olası etkileri <i>Determination of land cover/use changes in Türkiye and its possible effects on climate change.....</i>	7-24
Sultan Murat UZUN	Uluabat Gölü yüzey alanının zamansal değişim analizi üzerinden DSAS ve yapay sinir ağları modellerine göre gelecek tahminleri <i>Future predictions according to DSAS and artificial neural network models based on temporal change analysis of Uluabat Lake surface area.....</i>	25-43
Yasin Furkan ŞENLİK, Erkan YILMAZ	İzmir ve Manisa şehirlerinde en sıcak ve en soğuk noktaların dağılışı ile arazi kullanımı arasındaki ilişkiler <i>The relationships between the distribution of the hottest and coldest spots and land use in the cities Izmir and Manisa.....</i>	45-56
Üzeyir YASAK, Cahitcan SITMAÇ	Uşak şehrinde çıkmaz sokakların morfolojik analizi <i>Morphological analysis of dead end streets in Uşak city.....</i>	57-69
Ayşegül OĞUL, Faize SARIŞ	İstanbul'da biyoklimatik konfor koşullarının mekansal analizi <i>Spatial analysis of bioclimatic comfort conditions in Istanbul.....</i>	71-85
Derya ÖZÇELİK, Muhterem KÜÇÜKÖNDER	2023 Depremleri afet bölgesinde NO <sub>2</sub> troposferik yoğunlukların mekansal-zamansal sıcak noktaları <i>Spatial-temporal hotspots of NO<sub>2</sub> tropospheric concentrations in the disaster area of 2023 earthquakes.....</i>	87-103
Muhammed Mustafa ÖZDEL, Beyza USTA-OĞLU, İsa CÜREBAL	İklim değişikliğine bağlı olarak zeytinin ( <i>Olea europaea</i> L.) Türkiye'de gelecekteki dağılımının modellenmesi ve uyum stratejileri üzerine bir inceleme <i>Review on modeling and adaptation strategies of the future distribution of olives (Olea europaea L.) in Türkiye depending on climate change.....</i>	105-120
Serkan YAVUZ, Selma Nur AVCI, Özlem Tonguc YAYINTAŞ, Ahmet Evren ERGİNAL	Records of metals in bryophytes emitted from ash clouds of thermal power plants: A case study of Orhaneli, Bursa, Türkiye <i>Termik santrallerin kül bulutlarından salınan metallerin bryofitlerdeki kayıtları: Orhaneli, Bursa, Türkiye Örneği.....</i>	121-128
Sultan DURAN, Mesut DOĞAN	GAP Bölgesi tarımında problemlerin tespiti ve durum analizi: Anket verileriyle bir inceleme <i>Identifying problems and analyzing agricultural conditions in the GAP region: A survey-based study.....</i>	129-141
Fethi Ahmet CANPOLAT, Yusuf BULUCU	Kayseri ilinde deprem tehlikesinin, sezgisel ve istatistiksel modellerle karşılaştırmalı analizi <i>Comparative analysis of earthquake hazard in Kayseri province using intuitive and statistical models.....</i>	143-159

## EDİTÖRDEN EDITORIAL

Sevgili Türk Coğrafya Dergisi okurları,

2024 Aralık sayımız olan 86. sayıda 10 adet araştırma makalesi yer almaktadır. Bu makalelerden 2 tanesi beşeri coğrafya ve 8 tanesi fiziki coğrafya konularıyla ilgilidir.

Dergimizin 2024 Aralık 86. sayısında verdikleri katkılardan dolayı mizanpaj editörümüz Arş. Gör Onur HALİS ve makalelerin mizanpajını yapan doktora öğrencimiz Mahsum BOZDOĞAN'a çok teşekkür ederiz. Önümüzdeki sayımızın yeni görüşler ve olumlu gelişmelerle dolu olmasını bekliyor ve bu sayıdaki yayınlarımızı entelektüel açıdan ufuk açıcı bulacağınıza inanıyoruz...

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

Prof. Dr. Cihan BAYRAKDAR & Doç.Dr.Mehmet ŞEREMET  
Türk Coğrafya Dergisi Editörleri  
Aralık 2024 / İstanbul

*Dear Colleagues,*

*We are very pleased to share the TGR's 86th December issue in which ten papers featuring ten research have been placed, eight of which are Physical Geography papers, while the remaining two are related to Human Geography subjects.*

*We would like to thank our layout editor, Research Assistant Onur Halis for his contribution to the 2025 December 86th issue of our journal, and also to our PhD student Mahsum BOZDOĞAN for his contributions to the layout of the articles. We anticipate our forthcoming issue to be filled with fresh insights and positive developments, and we trust that you will find our publications in this issue to be intellectually stimulating.*

*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.*

*Professor Doctor Cihan BAYRAKDAR & Associate Professor Mehmet ŞEREMET  
The Editors of Turkish Geographical Review  
December 2024/ İstanbul*







## Türkiye’de arazi örtüsü/kullanımı değişimlerinin belirlenmesi ve iklim değişimine olası etkileri

*Determination of land cover/use changes in Türkiye and its possible effects on climate change*

Mehmet Özcanlı<sup>a\*</sup>  Erkan Yılmaz<sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Harran Üniversitesi, Fen--Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.

<sup>b</sup> Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih Coğrafya Fak. Coğrafya Bölümü, Ankara, Türkiye.

ORCID: M.Ö. 0000 0003 2228 8298; E.Y. 0000-0002-3821-3648

### BİLGİ/INFO

**Geliş/Received:** 21.12.2023

**Kabul/Accepted:** 28.04.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Türkiye  
Arazi kullanım değişimi  
Coğrafi bölgeler  
Mann Kendall analizi  
İklim değişimi

#### Keywords:

Türkiye  
Land use change  
Geographical regions  
Mann Kendall analysis  
Climate change

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(M. Özcanlı)mehmetozcanli@harran.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1408186



#### Atıf/Citation:

Özcanlı, M., & Yılmaz, E. (2024). Türkiye’de arazi örtüsü/kullanımı değişimlerinin belirlenmesi ve iklim değişimine olası etkileri. *Türk Coğrafya Dergisi* (86), 7-24.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1408186>

### ÖZ/ABSTRACT

Bu çalışma Türkiye’de arazi kullanım değişim eğilimini, farklı arazi kullanım türlerinin alansal yer değişimlerinin 1990’dan 2018 yılına kadar belli periyotlarda birbirleri ile olan durumunu ortaya koymaktadır. Çalışma arazi kullanım türlerinin bölgesel düzeyde meydana gelen değişim eğilimlerini sunarken, iklim değişikliği olgusuna değişik bir cepheden dikkat çekmeyi de hedeflemektedir. Yöntem olarak Türkiye 30a 30 dakikalık 1200 karelaja ayrılmış ve her karelaj kendi içinde genel arazi kullanım gurupları karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Bu karelajlarda arazi kullanım türlerinin yoğunluk, periyodik büyüme, değişim ve eğilimleri belirlenmiştir. Bu belirlemeler uzaktan algılama, CBS yöntem-teknikleri ve Mann Kendall eğilim analizi ile mümkün olmuştur. Bu yöntem ve teknikler sayesinde elde edilen kartografik veriler coğrafi bölge ve bölüm düzeyinde yorumlanarak somutlama ve çözümlenmelere gidilmiştir. Çalışma aynı zamanda Türkiye’de son 30 yıllık süreçte gerçekleşen sosyal ve ekonomik değişimlerin arazi kullanım türlerine olan etkisinin bir fotoğrafını da ortaya koymaktadır. İncelenen periyotlarda tarım ve orman alanlarında alansal bir stabilite olsa da yapılan eğilim analizleri sonucunda tarım alanlarında şiddeti azalma, orman alanlarında anlamlı azalma, mera ve çayır alanlarında şiddetli azalma, su yüzey alanlarında artma ve yapay alanlarda şiddetli artma eğiliminin olduğu saptanmıştır. Türkiye’de arazi kullanım değişimi Türkiye’nin coğrafi bölgelerine göre farklılıklar göstermektedir.

*This study reveals the land use change trend in Türkiye and the spatial location changes of different land use types in relation to each other in certain periods from 1990 to 2018. The study aims to draw attention to the phenomenon of climate change from a different front while determining the change trends of land use types at regional level. As a method, Türkiye was divided into 1200 grids of 30 minutes by 30 minutes and general land use groups within each grid were subjected to comparison. The intensity, periodic growth, change and trends of land use types in these grids were determined. These determinations were made possible by remote sensing, GIS methods and techniques and Mann Kendall trend analysis. Thanks to these methods and techniques, the cartographic data obtained were interpreted at the level of geographical region and department, and concretisation and analyses were made. The study also reveals a photograph of the impact of social and economic changes on land use types in the last 30 years in Türkiye. Although there is an areal stability in agricultural and forest areas in the periods examined, the trend analyses show that there is a tendency of severe decrease in agricultural areas, significant decrease in forest areas, severe decrease in pasture and meadow areas, Land use change in Türkiye varies according to the geographical regions of Türkiye.*



## Extended Abstract

### Introduction

The development of the private sector in Türkiye, after the 1990s, has led to a rapid process of urbanization. Examples of the disappearance of agricultural areas, by urban settlements and non-agricultural functions, are increasing in our country every day. The agricultural areas around almost every town and big city are rapidly emerging from the center. In many areas, the fertile lands of Bursa, Adapazari, Harran, Diyarbakır basin, Çukurova and so on are rapidly becoming the newly developed residential and industrial areas of the city. The same incident is continuing rapidly around the city of Istanbul. The coast and its surroundings have suffered loss of agricultural land due primarily to residential and industrial facilities (Tümertekin & Özgüç, 2022; Özcanlı & et al., 2018; Güzel & Özcanlı 2015; Sönmez, 2012; Özgen & Özçağlar, 2017; Bayar, 2003).

In this study, a) land cover changes and land cover change trends were identified in Türkiye between 1990 and 2018 in the periods 1990-2000-2006-2012- and 39 currents in 2018.

(b) The land cover change in Türkiye between 1990-2018 has been assessed in terms of climate change.

(c) During these periodic changes, a discussion focused on the causes and consequences of changes in the ratio of characteristics of the city and the associated structure (food area).

(d) In particular, suggestions have been made on the potential impact of urban structures on the climate and the environmental problems that may arise.

### Material and Method

As the study investigates the potential impact of land cover change on climate change, the land cover classes have been re-grouped. (Tablo 1). For this purpose, planted areas (olive groves, peaches, peanuts, etc.) that are agricultural have been taken into the woodland. Similarly, green spaces have been evaluated within the wooded area. Within the irrigable planting areas, dry farming areas and greenhouse areas are shown separately. These two classes have essentially different climate characteristics. Similarly, mixed agricultural areas are classified as irrigated and non-irrigated mixed farming areas in the years specified in (2.4.2) and are divided into two climatically distinct areas. But in other years these two subclasses have been merged. Therefore, greenhouses (grasslands) and irrigable mixed agricultural areas (seasonal water surfaces) have been assessed within the agricultural area.

### Results and Discussion

The land, which is vital to humanity, is facing changes unprecedented in the last 50 years. While land-use change triggers climate change, climate changes can have widespread and extensive effects on humanity, ranging from extreme weather events to famine and migration. Türkiye experienced major changes in agriculture, forests, meadows and grasslands, water surfaces and artificial fields from 1990 to 2018. This has a significant impact on surface radiation and temperature accumulations from the emissions of sara gases. This is one of the main anthropogenic threats to climate change. Land-use change is

the second leading reason for the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere, after the use of fossil fuels. (Friedlingstein vd., 2020; IPCC, 2014). Studies have estimated that the conversion of natural forests into agricultural areas will increase the carbon emissions rate in that area by as much as 30%. (Shibabaw vd., 2023). Global research shows that between 2010 and 2021, land-use change has resulted in 636 billion tonnes of carbon emitted to the atmosphere annually. Türkiye has produced 6,078 billion tons. (Jones vd., 2023). Changes in plant cover on the soil surface and artificial fields disrupt the natural soil structure, affecting the surface's absorption of water, sunlight and radiation. These changes in the soil surface affect climate factors such as temperature, humidity, and rainfall, causing local climate changes. (Taylor vd., 2017; Wu vd., 2011).

In general, the sharp increase in artificial fields in Türkiye has caused local climate change, in metropolitan cities. These cities, especially in the spring and summer seasons, have the lowest weather temperatures at night, with a statistically and climatologically warming tendency. Rainfall has decreased by about 3% every decade in a large part of Türkiye. A sharp decline in total rainfall, especially in winter, has been observed in areas dominated by the Mediterranean rainfall. The regions of Marmara, the Aegean, the Mediterranean and Southeast Anatolia were most affected by this declining trend (Turkish vd., 2016).

The size and proportion of agricultural areas in Türkiye in the years 1990, 2000, 2006, 2012 and 2018 is generally seen on the basis of Mann Kendall's analysis of maps showing the rate of change and trends in agricultural fields in Türkiye in 1990 and 2018. However, according to Mann Kendall's trend analysis, agricultural areas in much of Türkiye tend to decline, in coastal areas.

These decreases show us that agricultural land is actually occupied as a result of other land uses, or changed as a consequence of other lands, or that the agricultural lands are actually occupying other land-use items while losing their size. So they occupied forest areas in the Black Sea region, occupied meadows and grasslands in the eastern and southeastern Anatolian regions, and occupied forests in the Mediterranean region. In the Aegean region, it is indicated that grass and meadows, forests, grass-and-meadows areas and forest areas in the Egean region and the coastal part are directed towards the Mera areas in general in the internal Anatolian region.

The study has revealed a recent overview of the impact of social and economic changes in Türkiye over the past 30 years on land use types, and in future processes this view will reveal a negative picture on natural areas. Türkiye is the most modern and nature-friendly country on paper in the social and economic sphere, with regulations and laws in force, and a country that has signed or is a party to many environmental agreements, but it has unfortunately not reflected this in its land use outlook.

## 1. Giriş

Şehir, sanayi, ticaret ve hizmet alanlarının büyümesinin etkisiyle yapay bölgelerde kontrolsüz genişlemeler meydana gelmiştir. Arazi kullanımı ve arazi örtüsünün beşeri etkilere bağlı olarak zamanla değişime uğraması, diğer genel arazi kullanım türlerinin de değişimine neden olmuştur. Yapay alanlardaki bu artış, tarımsal arazi kullanımının, mera ve çayır alanlarının, sulak alanların ve orman alanlarının değişimini tetiklemiştir. Yapay alanların etkisi altında kalan doğal ortamın ekosistemi bozularak zarar görmüş, sanayi alanlarındaki hızlı ve kontrolsüz artış enerji tüketimini yükseltmiş, enerji ihtiyacı ise fosil yakıt tüketimini körüklemiş ve bunun sonucunda sera gazlarının atmosfere salınımı insanlığa, insanın oluşturmuş olduğu medeniyete ve doğal ortama zarar vermeye başlamıştır (Erdoğan, 2020). Aynı şekilde sanayileşme ve şehirleşmenin kontrolsüz veya plansız artması, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının azalmasına, geçirimsiz yüzeylerin genişlemesine, bu durum da şehir isı adalarının oluşmasına sebep olmuştur (Yılmaz, 2019).

Coğrafya bilimi yaklaşımlarından çevresel determinizm<sup>1</sup>, özellikle sanayi devriminden sonra etkili bir şekilde azaldığını gösterdiği gibi aslında doğal çevrenin insan faaliyetleri üzerine olan etkisinin son derece kısıtlı bir etkiye sahip olduğunu belirten possibilist yaklaşımın<sup>2</sup> ön plana çıktığı bir dönemin içinde olduğumuzu bize göstermektedir. Çünkü yapılan araştırmalar insanın doğal ortama etki ederek ve değiştirerek, doğayı dönüştürüp, şekillendirdiğini göstermektedir (Özgen, 2020). Ayrıca doğal ortam-insan arasındaki ilişkide roller sanayi devrimi ile doğa aleyhine değişmiştir. İnsanın doğa üzerindeki egemenliği artmış ve büyük ölçüde ona hükmederek değiştirmeye başlamıştır. İnsanlık, doğayı eskisinden çok daha verimsiz ve tahripkâr kullanmaktadır. Toprağın koruyucu gücü olan doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesi ile başlayan mekanizma, tarım alanlarının amaç dışı kullanılması, otlak ve çayırların aşırı otlatılması ile devam etmiştir. Süreci durdurmak veya yavaşlatmak için yasal düzenlemelerin yapılmaması, genel olarak tutarlı ve sürdürülebilir bir tarım politikasının olmaması, yanlış tarım tekniği uygulamalarında hiçbir sakınca görülmemesi, hızlı nüfus artışı ve belirli alanlara yoğunlaşma ile doğanın sırtına taşıyamayacağı yüklerin yüklenmiş olması, bozulma sürecini daha da hızlandırmıştır. Bu durumun sonucu olarak ülkemizdeki doğal ekosistemler, insan etkisine göre; insan tarafından desteklenen tarımsal ekosistemler, üretim amacıyla işletilen ekosistemler, endüstriyel ekosistemler, kent ekosistemleri, insan etkisi olmayan veya çok az olan doğal veya doğala yakın ekosistemlere dönüşerek, antropojen biyomlar oluşmuştur<sup>3</sup>. Böylece günümüz tartışmaları, içinde bulunduğumuz çağı antroposen veya antropoarşi yaklaşımlarıyla kavramsallaştırarak ele almaktadır (Efe vd., 2008).

Şehirleşmeye bağlı olarak yapay alanların artması, iklim değişikliğinin önemli beşeri etkilerinden biridir (Mukhopadhyay & Revi, 2011). 1990'dan sonra dünya nüfusunun şehirlere yoğunlaşması ile günümüzde toplam nüfusun %55'inden fazlası şehirsellerde yaşamaya başlamıştır. Şehir ve kırsal arasındaki bu nüfus dengesizliği her geçen gün şehir lehine artmaya devam etmektedir (United Nations, 2019). Araştırmalar 2010 ve 2050 yılları arasında dünyanın şehirseller nüfusunun %80 ola-

cağını göstermektedir (Mumtaz vd., 2020). Şehirseller alanlardaki hızlı nüfus artışı nedeniyle, dünya üzerindeki yapay alanların 2001'den 2018'e kadar %168 arttığı görülmektedir (Huang vd., 2021).

Yapay alanların doğal ortam aleyhine olan bu alansal genişlemesi, küresel ölçekte de bir değişimin oluşmasına neden olmaktadır. Doğal alanların yapay alanlara dönüşümü, küresel sıcaklık artışlarına ve yağış paterninin değişmesine sebep olmuştur. Bu durum iklim değişikliği ve arazi kullanımı kavramlarının önemini ortaya çıkarmıştır. Arazi kullanım değişimine bağlı olarak iklim değişikliklerinin yaşanıyor olması, bilim insanlarının bu konuya yoğunlaşmalarına neden olmuş; bu iki kavramın gelecek kuşaklara nasıl bir etki bırakacağı üzerine araştırmalarını arttırmışlardır (Shen vd., 2023; Gao vd., 2023; Lee vd., 2017; Barati vd., 2023; Bayar & Karabacak, 2017).

Hızlı şehirseller genişleme, büyük yapay alanların artmasını beraberinde getirerek arazi yüzey sıcaklığının artmasına neden olmaktadır (Mathew vd., 2017). Arazi yüzey sıcaklıklarındaki artışlar, yerel çevre koşulları üzerinde olumsuz etkilere neden olarak, sürdürülebilir bir şehirleşmenin önünde önemli bir engel olarak ortaya çıkmaktadır (Corburn, 2009). Çünkü yer yüzeyi ve üzerini örten doğal bitki örtüsünün yerini alan yapılar, asfalt yüzeyler, beton kaplamalar, cam kaplamalı binalar, başta büyükşehirler olmak üzere birçok şehirde iklim parametrelerinin değişimine neden olmaktadır. Bu konu ile ilgili yapılan birçok çalışma yerleşim alanı ve hemen yanı başındaki yeşil alanda ölçülen sıcaklık farklarının mevsimsel değişiklikler gösterse de ortalama 5 derecenin üzerine kadar çıktığını göstermektedir (Yılmaz, 2014). Bu durum özellikle sürdürülebilir şehirleşme stratejileri geliştirmek için arazi kullanım değişim eğilimlerinin saptanmasını gerektirmektedir. Bu nedenle son yıllarda arazi kullanım değişimlerine ve değerlendirmelerine artan bir ilgi vardır (Wu vd., 2022; Koo & Park, 2022; Zhou vd., 2017).

Türkiye'de özellikle 1990'lı yıllardan sonra özel sektörün gelişmeye başlaması hızlı bir şehirleşme sürecini de beraberinde getirmiştir. Özellikle tarım alanlarının şehirseller yerleşmeler ve tarım dışı fonksiyonlarla ortadan kalkmasında ülkemizde de örnekler her geçen gün artmaktadır. Hemen her kasaba ve büyük şehrin çevresindeki tarım alanları hızla ortadan kalkmaktadır. Bursa ovası, Adapazarı ovası, Harran ovası, Diyarbakır havzası, Çukurova ve benzeri birçok alanda verimli topraklar hızlı bir biçimde şehrin yeni gelişen konut alanları ve sanayi alanlarına dönüşmektedir. İstanbul şehrinin çevresinde de aynı olay hızla süregelmektedir. Kıyı ve yakın çevresi, başta dinlenme (tatil evleri) konut ve sanayi tesisleri yüzünden, tarımsal arazi kaybına uğramıştır (Tümertekin & Özgüç, 2022; Özcanlı vd., 2018; Güzel & Özcanlı 2015; Sönmez, 2012; Özgen & Özçağlar, 2017; Bayar, 2003).

Arazi kullanım değişimini ortaya koyabilmek için olabildiğince küçük alanları analize tabi tutmak gerekmektedir. Bunun nedeni çalışmada da görüleceği gibi geniş bir ölçekte arazi kullanım değişikliklerinde özellikle tarım arazilerinin uzun süreler boyunca azalmamış görüldüğü hatta artmış olduğu da görülecektir. Çünkü şehirlerin çevresinde yani yapılaşma açısından önemli ya da kolay erişilen yerlerde bulunan verimli tarım alanları ortadan kalkarken, bu durum yerini başka bir arazi kullanı-

<sup>1</sup>Doğal çevrenin insan ve toplumun bütün faaliyetlerini denetimi altında tuttuğunu ve yönlendirdiğini savunan yaklaşım (Özgen, 2017).

<sup>2</sup>Doğanın insan faaliyetleri üzerine bütüncül ve belirleyici bir etkisinin olmadığını savunan yaklaşımdır. Sanayi devrimiyle birlikte insanın doğal ortama ve dolayısıyla mekana bir çok farklı şekilde etki etmesi possibilist yaklaşımın dayanağı olmuştur (Özgen, 2017).

<sup>3</sup>1995 yılında ozon tabakasıyla ilgili araştırmasıyla Nobel ödülüne layık görülen Paul Crutzen, Antroposen adı verilen yeni bir çağın başladığını belirtmiş ve Eugene F. Stoermer ile birlikte Antroposen üzerine ilk makaleyi yayımlamıştır. Bununla birlikte pek çok doğa bilimci aynı görüşü savunmaya başlamış ve Antroposen terimi literatüre girmiştir (Recep Efe ve arkadaşları 2008 s.319).

mına bırakmış, mera veya orman alanları da tarım alanlarına dönüşmüş olduğundan ileri gelmektedir. Yani tarım alanları, eğimli daha verimsiz olan alanlara kayarak, başka bir arazi kullanım türünü işgal etme eğilimine girmiştir. Kısaca Türkiye'de gizli bir tarımsal alan kaybı söz konusudur (Tümertekin & Özgüç, 2022: 197).

Yukarıda bahsi geçen sıcaklık artışını basite almamak gerekmektedir. Bu sıcaklık artışı beraberinde birçok sorunu da getirmektedir. Ölüm vakalarının artışından tutun da çeşitli hastalıkların artışına veya daha önce o lokalizasyonda görülmeyen hastalıkların görülmeye başlamasına kadar birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Mesela bu konuda yapılan araştırmalarda daha önce İstanbul'da görülmeyen bazı bakteri ve haşerelerin görülmeye başladığı ve başka bir araştırmada da daha önce 800-1000 metre yükselti basamağı ve altında görülebilen sivrisineklerin 1500-1600 metrelere kadar yayılabildikleri gözlemlenmiştir. Bu durum coğrafi dilde flora-fauna yapısının ve dağılışının değişmeye başladığını göstermektedir (Kadioğlu, 2007; Demir, 2009; Taştan, vd., 2019; Polat, vd., 2017).

Geçmişte büyük arazilerin kullanımının tespiti ve zamansal tabiki oldukça zor ve meşakkatli bir süreç iken günümüzde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gelişmesi ve bilim alanlarına uygulanması sayesinde hem ekonomik anlamda hem de geniş alanların analizinde büyük bir kolaylık sağlamıştır. Her geçen gün gelişen uydu sistemleri ile uzaktan algılama yöntemleri arazi kullanımının tespiti ve zamansal analizlerinin yapılması için bilim dünyasına birçok veri sunmuştur. Uzaktan algılama (UA) ve CBS'deki bu ilerlemeler ile arazi kullanımının belirlenmesi, kırsal alan planlanması ve yeryüzündeki doğal kaynakların etkin kullanılması çalışmalarında ihtiyaç duyulan temel veriler elde edilmektedir. Özellikle mekân ve değişimi ile ilgilenen bilimler, UA verileri ile yeryüzü hakkında hızlı, ekonomik ve güncel bilgiler temin edilebilmekte, geçmiş ve günümüz verileri ile mevcut durum analizi yapılabilmekte, hatta gelecek hakkında analizler yaparak öngörülerde bulunabilmektedir. Orman alanları, deniz ve göl kıyı değişimleri, tarımsal arazi kullanım değişimleri, mera ve çayır alanları, maden aramaları, şehirselleşme yönleri, iklimsel olayları, hava durum tahminleri ve benzeri birçok alanda tahminlerde bulunabilmektedir (Avcı & Kuşak, 2010; Özcanlı, 2014).

Türkiye'de arazi kullanımı-örtüsündeki değişimin analiz edildiği çok sayıda çalışma bulunmakta, bu çalışmalar genel olarak küçük sahalara kapsamaktadır ( Özdeş, 2023; Selçuk vd., 2021; Turan vd., 2021; Tağil, 2014; Güre, Özel & Özcan, 2009). Türkiye ölçeğinde yapılan analizler ise arazi kullanım penceresinden değerlendirilmiş, iklim-arazi örtüsü değişimini analiz eden çalışmalar olsa da (Yılmaz, 2017; Yılmaz & Özcanlı, 2021), Türkiye'nin tamamını kapsayan çalışmalar eksik kalmıştır.

Bu çalışmada,

a) 1990-2018 yılları arasında Türkiye'de 1990-2000-2006-2012-ve 2018 dönemlerinde 39 kiriterde arazi örtüsü değişimleri ve arazi örtüsü değişim eğilimleri ortaya konmuştur.

b) 1990-2018 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen arazi örtüsü değişimi iklim değişikliği açısından değerlendirilmiştir.

c) Bu dönemsel değişimler içinde özellikler şehir ve buna bağlı yapılaşma (yapay alan) oranlarındaki değişimler üzerinde durulmuş sebep ve sonuçları hakkında tartışılmıştır.

d) Özellikle şehir yapılarının iklim üzerindeki olası etkileri ve meydana gelebilecek çevresel sorunlar ile ilgili çıkarımlarda bulunulmuştur.

### 1.1. Veri ve Yöntem

Çalışmada, CORINE arazi kullanım-örtüsü verileri (CORINE, 2019) kullanılmıştır. Bu veriler, Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency) tarafından, Avrupa çevresi hakkında nesnel, zamanında ve hedefli bilgi sağlamak amacıyla oluşturulan arazi örtüsü verileridir. CORINE arazi örtüsü verileri, uydu görüntülerinin manuel vektörizasyon ile elde edilmektedir. Türkiye'de ilk olarak 2000 ve 2006 yıllarına ait arazi örtüsü verileri üretilmiş, saha sonra, 2012, 2018 ve geriye dönük olarak da 1990 yılı arazi kullanım-örtüsü veri seti üretilmiştir. Manuel vektörizasyon, uzun zaman almakta, kullanıcı kabiliyetine bağlı üretilmekte, farklı kullanıcı verilerinin birleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Bu nedenle özellikle 2000 ve 2006 yılı Türkiye arazi örtüleri, ülkenin her yerinde aynı hassasiyette yapılmamış, ayrıca aynı arazi örtüsü farklı sınıflarla da tanımlanabilmiştir. Bu olumsuzluklar, 2012 ve 2018 yılında giderilmiş, 1990 yılı arazi örtüsü de bu hassas veri üretimi ile tamamlanmıştır. Buna rağmen, 2012 ve 2018 yılı verileri, ayrıntılı uydu görüntülerinde yararlanılması ve daha önceki arazi örtüsü altlıklarına göre inşaa edildiğinden daha doğru özellik göstermektedir. 1990 yılı verisi ise, daha düşük çözünürlüklü görüntülerden üretilmiştir. Bu nedenle, beş farklı dönemi karakterize eden bu veriler karşılaştırılma açısından yetersizlikler barındırorsa da bu türden veri temini ve üretiminin zorluğu, CORINE verilerinin kullanımını zorunlu kılmıştır.

Çalışmada, arazi örtüsü değişiminin, iklim değişikliğine potansiyel etkisi araştırıldığından, arazi örtüsü sınıfları yeniden gruplandırılmıştır (Tablo 1). Bu amaçla, tarım olanı olan dikili alanları (zeytinlik, incirlik, fıstıklık vb) ağaçlık alan içerisine alınmıştır. Benzer şekilde, yeşil alanlar, ağaçlık alan içerisinde değerlendirilmiştir. Sulanabilir ekilebilir alanlar içerisinde kuru tarım alanları ile sera alanları ayrı ayrı gösterilmiştir. Bu iki sınıf arasında iklim açısından farklı özellikler göstermektedir. Aynı şekilde karışık tarım alanları (2.4.2.) da belirtilen yıllarda sulanan ve sulanmayan karışık tarım alanı olarak belirtilmiş ve iklimsel açıdan farklı iki sahaya ayrılmıştır. Fakat diğer yıllarda bu iki alt sınıf birleştirilmiştir. Bu nedenle sera alanları (yapay alanları) ile sulanabilir karışık tarım alanları (mevsimlik su yüzeyleri) tarım alanı içerisinde değerlendirilmiştir.

Arazi örtüsü değişimleri, 30\*30 dakikalık kareler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu grid hücrelerinin ortalama alanı 1858 (1701 ile 2016 km<sup>2</sup> alan arası) km<sup>2</sup>'dir. Buna rağmen, özellikle deniz kenarlarında ve sınır bölgelerinde bu alanlar değişmektedir. Bu sahalardaki oranlar, karelerin Türkiye sınırı içerisindeki alanına göre yapılmıştır.

Genel arazi kullanımına ait verilerin analizi yapılırken dönemler arası oluşan trendin ne yönde olduğunun tespit edilmesinde birçok istatistiki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en yaygın olanı Mann-Kendall ve Sen yöntemleridir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan sınıflar ve CORINE araz örtüsü sınıfları.**Table 1.** Classes used in the study and CORINE land cover classes.

Kod	CORINE sınıfı	Bu Çalışma Sınıfı	Kod	CORINE sınıfı	Bu Çalışma Sınıfı
111	Sürekli Şehir Yapısı	Yapay Alan	242	Karışık Tarım Alanları	Tarım Alanı
112	Kesikli Şehir Yapısı	Yapay Alan	2421	Sulanmayan Karışık Tarım	Tarım Alanı
1121	Kesikli Şehir Yapısı	Yapay Alan	2422	Sürekli Sulanan Karışık tarım	Tarım Alanı
1122	Kesikli Kırsal Yapı	Yapay Alan	243	Doğal Bitki Örtüsü .ile Bulunan Tarım Alanl.	Mera-Çayır Alanı
121	Endüstriyel veya Ticari Alanlar	Yapay Alan	244	2.4.4. Ormanla Karışık Tarım Alanları	Ağaçlık Alan
122	Karayolları, Demiryolları ve ilg.al	Yapay Alan	311	Geniş Yapraklı Ormanlar	Ağaçlık Alan
123	Limanlar	Yapay Alan	312	İğne Yapraklı Ormanlar	Ağaçlık Alan
124	Havalanları	Yapay Alan	313	Karışık Ormanlar	Ağaçlık Alan
131	Maden Çıkarım Sahaları	Yapay Alan	321	Doğal Çayırliklar	Mera-Çayır Alanı
132	Boşaltım Sahaları	Yapay Alan	322	Fundalıklar	Mera-Çayır Alanı
133	İnşaat Sahaları	Yapay Alan	323	Sklerofil Bitki Örtüsü	Ağaçlık Alan
141	Yeşil Şehir Alanları	Ağaçlık Alan	324	Bitki Değişim Alanları	Mera-Çayır Alanı
142	Spor ve Eğlence Alan	Yapay Alan	331	Sahil,Kumsal,Kumluk	Mera-Çayır Alanı
211	Sulanmayan Ekileb.Al	Tarım Alanı	332	Çıplak Kayalıklar	Çıplak Kayalık
2111	Sulanmayan Ekilebilir Alan	Tarım Alanı	3321	Çıplak Kaya	Çıplak Kayalık
2112	Sulanmayan Sera	Tarım Alanı	3322	Çok Yukarılarda Çıplak Kaya	Çıplak Kayalık
212	Sürekli Sulanan Alanlar	Dönemlik Su Yüzeyleri	333	Seyrek Bitki Alanları	Mera-Çayır Alanı
2121	Sulanan Alan	Dönemlik Su Yüzeyleri	334	Yanmış Alanlar	Mera-Çayır Alanı
2122	Sürekli Sulanan Eilebilir Alan, sera	Dönemlik Su Yüzeyleri	335	3.3.5. Buzul ve Kalıcı Kar	Kar Örtüsü
213	Pirinç Tarlaları	Dönemlik Su Yüzeyleri	411	Bataklıklar	Su Yüzeyi
221	Üzüm Bağları	Tarım Alanı	421	Tuz Bataklığı	Su Yüzeyi
222	Meyve Bahçeleri	Ağaçlık Alan	422	Tuzlalar	Yapay Alan
2221	Sulanmayan Meyve Bahçesi	Ağaçlık Alan	511	Su Yolları	Su Yüzeyi
2222	Sürekli Sulanan Meyve Bahçesi	Ağaçlık Alan	512	Su Kütleleri	Su Yüzeyi
223	Zeytinlikler	Ağaçlık Alan	521	Kıyı Lagünleri	Su Yüzeyi
231	Meralar	Mera-Çayır Alanı	522	Nehir Ağızları	Su Yüzeyi
241	Sürekli Ürünlerle Birlikte Bulunan Senelik Ürünler	Tarım Alanı	523	Nehir ve Okyanus	Su Yüzeyi

Mann-Kendall eğilim testi belli dönemleri içeren veri setti içerisindeki değişimlerin her bir verinin bir önceki ve bir sonraki durumunun açıklanması ile belirlenmektedir. Bu analizde her bir verinin kendinden önceki tüm veriler arasındaki değişimi dikkate alınmaktadır. Bu nedenle çalışmada bu istatistik yöntemden faydalanılmıştır (Karakuş & Güler, 2022; Sönmez & Somuncu, 2016).

Bilindiği gibi, herhangi bir istatistiksel analizde, evrene ait parametrelerle çalışılmak istense de bu mümkün olmaz ve örneklemelere başvurulur. Örneklem büyüklüğü (n) ne kadar büyük olursa, evrene ait parametrelere yaklaşma olasılığı artmaktadır. Bununla birlikte, bazı durumlarda veri yokluğu-yetersizliği gibi kısıtlamalar ortaya çıkmakta, bu bir analiz için minimum örneklem büyüklüğünü gündeme getirmektedir. Mann-Kendall analizi için, farklı minimum örneklem büyüklükleri belirlenmiştir.

Örneğin, Gilbert (1988) tarafından minimum örneklem büyüklüğü 10 olarak önerilmiş, başka bir çalışmada 8 değerinin de kullanılabileceği belirtilmiştir (Yue, Wang, 2004). Minimum örneklem büyüklüğü için 3 ve 4 gibi değerlerin de kullanılabileceği bilgisi yer almaktadır (URL, 2024a, 2024b). Bu çalışmada, n sayısı olarak 5 alınmıştır.

Alansal değişimin eğiliminin belirlenmesi amacıyla farklı yöntemler bulunmakla beraber (regresyon, korelasyon), Mann-Kendall sıra korelasyon testi uygulanmıştır. Bu seçimde, veri sayısının (n=5) düşük olması etkili olmuştur. Ayrıca, arazi örtüsü verileri düzenli periyotlarla alınmamıştır (10, 6, 6 yıl aralıkları). Bu da parametrik olmayan yöntemlerin kullanılmasını gerektirmiştir.

Mann-Kendall eğilim analizinde ilk olarak S değeri hesap edil-

mekte (Eşitlik 1), serinin  $n$  sayısına göre hesap edilen varyans (Eşitlik 2) değeri ile belli kurallara göre (eşitlik 3) ZMK değeri belirlenmekte (Eşitlik 3) ve elde edilen ZMK değerleri standart normal dağılıma göre değerlendirilmektedir.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n i_{jrt}(x_j - x_k) \quad (1)$$

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

$$Z_{MK} = \frac{S + m}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad (3)$$

$m = 1$  eğer  $S < 0$   
 $m = 0$  eğer  $S = 0$   
 $m = -1$  eğer  $S > 0$

Elde edilen veriler,  $p < 0.01$  seviyesinde anlamlı ise şiddetli artma ya da azalma,  $p < 0.05$  seviyesinde ise anlamlı azalma ya da artma,  $p < 0.1$  ise azalma ya da artma,  $p \geq 0.1$  ve  $p \geq 0.5$  ise durağan durum olarak değerlendirilmiştir.

## 2. Bulgular

### 2.1. Türkiye’de Genel Arazi Örtüsü Dağılışı

Türkiye’nin genel arazi kullanımı farklılaşmasına bakacak olursak, 1990 ve 2018 yılları arasında, 28 yıllık bir devrede ülkedeki arazi örtüsünde net bir değişim görülebilmektedir. Ebetteki aşağıdaki tablo grafik ve haritalarda ara dönemlere ait değişim verilerini de görebilirsiniz. Bu çalışmada gösterilmek istenen 28 yıllık devrede arazi örtüsü değişiminde hangi kullanım türlerini artığı hangilerinin gerilediği veya yerini hangi kullanıma bıraktığıdır. Bu bakış açısıyla arazi değişiminin neden olacağı iklimsel etkiler daha net ortaya konabilmektedir. Çalışmamızda 2000 – 2006 – 2012 ve 2018 dönemlerindeki arazi örtüsü değişimleri de verilmiş olup ekstrem değişimler ele alınmıştır. Ancak ayrıntılı düzeyde ele alınmayıp. Alındığında ise çalışmamızın amacından sapacağını düşündüğümüzden ve tek bir çalışmada tüm bunların anlatılmayacak kadar uzun olacağından bu konuyla ilgili çalışma yapmak isteyen araştırmacılara da öncül bir veri verilmiş olacaktır<sup>4</sup>.

Türkiye 1990 yılı ve 2018 yılı genel arazi kullanımına baktığımızda Türkiye de 1990 yılında kara alanlarının (76 947 100 ha)<sup>5</sup> %40,38’ni tarım alanları oluştururken, 2018 yılında bu oran %4,1 lik bir artış ile %42,04 olmuştur. Bu durumu iyi anlaşılması için Tarımsal arazi kullanım türlerine bakmamız ve kendi içindeki kullanım türlerinin değişimini de ele almamız gerekmektedir. Ama kısaca Türkiye’de 28 yıllık bir dönemde tarım

**Tablo 3.** Türkiye’de genel arazi kullanım alanlarını ve değişim eğilimleri.

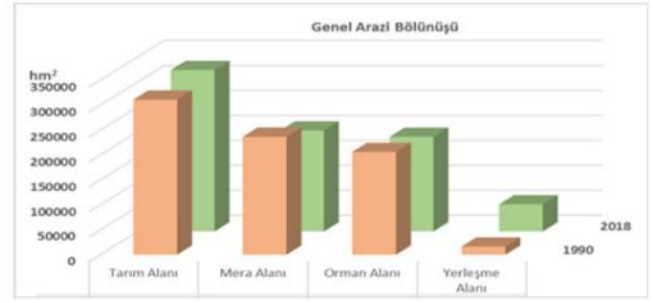
**Table 3.** General land use areas and change trends in Türkiye.

	Mann Kendal	Çıplak Kay.		Mera-Çayır A.		Mev. Su Yüz.		Ağaçlık A.		Su Yüz.		Tarım A.1		Yapay Alan	
	ED	Say	%	Say	%	Say	%	Say	%	Say	%	Say	%	Say	%
Şiddetli anlamlı artma	>2.576	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.8	0	0	0	0
Anlamlı artma	>1.96	24	6	13	3.3	13	3.3	60	15.1	81	20.4	19	4.8	97	24.4
Artma	>1.654	47	11.8	30	7.6	30	7.6	48	12.1	61	15.4	38	9.6	42	10.6
Durağan Artma	>1	33	8.3	71	17.9	71	17.9	64	16.1	77	19.4	63	15.9	53	13.4
Durağan Artma	>0	186	46.9	89	22.4	89	22.4	119	30	109	27.5	88	22.2	74	18.6
Durağan Azalma	<0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Durağan Azalma	<-1	71	17.9	56	14.1	56	14.1	48	12.1	14	3.5	65	16.4	8	2
Azalma	<-1.654	23	5.8	70	17.6	70	17.6	24	6	9	2.3	61	15.4	4	1
Anlamlı azalma	<-1.96	12	3	54	13.6	54	13.6	16	4	12	3	52	13.1	0	0
Şiddetli anlamlı azalma	<-2.576	1	0.3	14	3.5	14	3.5	18	4.5	31	7.8	11	2.8	119	30
		397	100	397	100	397	100	397	100	397	100	397	100	397	100

<sup>4</sup>Arazi kullanım değişiminin nedenleri araştırılırken dönem bazında rakamları ifade etmek yetmeyeceği gibi bu değişime etki eden özellikle dönemin sosyal, ekonomik, politik birçok etkenin etkisi altında gerçekleştiği göz önüne alarak tüm bunları yorumlaması gerekmektedir. Yani çalışma gördüğü kadar basit olmayıp bu konuyu araştırın bilim insanlarına da en içtenlikle başarı diliyoruz.

<sup>5</sup>Bu alana deniz ve göl su yüzeyi alanları eklenmemiştir.

<sup>6</sup>Aklınıza yemyeşil çayırlar gelmesin; bu alanlar içinde yanmış alanlar, tuzlalar, çıplak kayalıklar bataklıklar gibi alanlarda bu kısma eklenmiştir.



**Şekil 1.** Türkiye 1990 ve 2018 genel arazi kullanımı (Kaynak: Corine).  
**Figure 1.** Türkiye 1990 and 2018 general land use (Source: Corine).

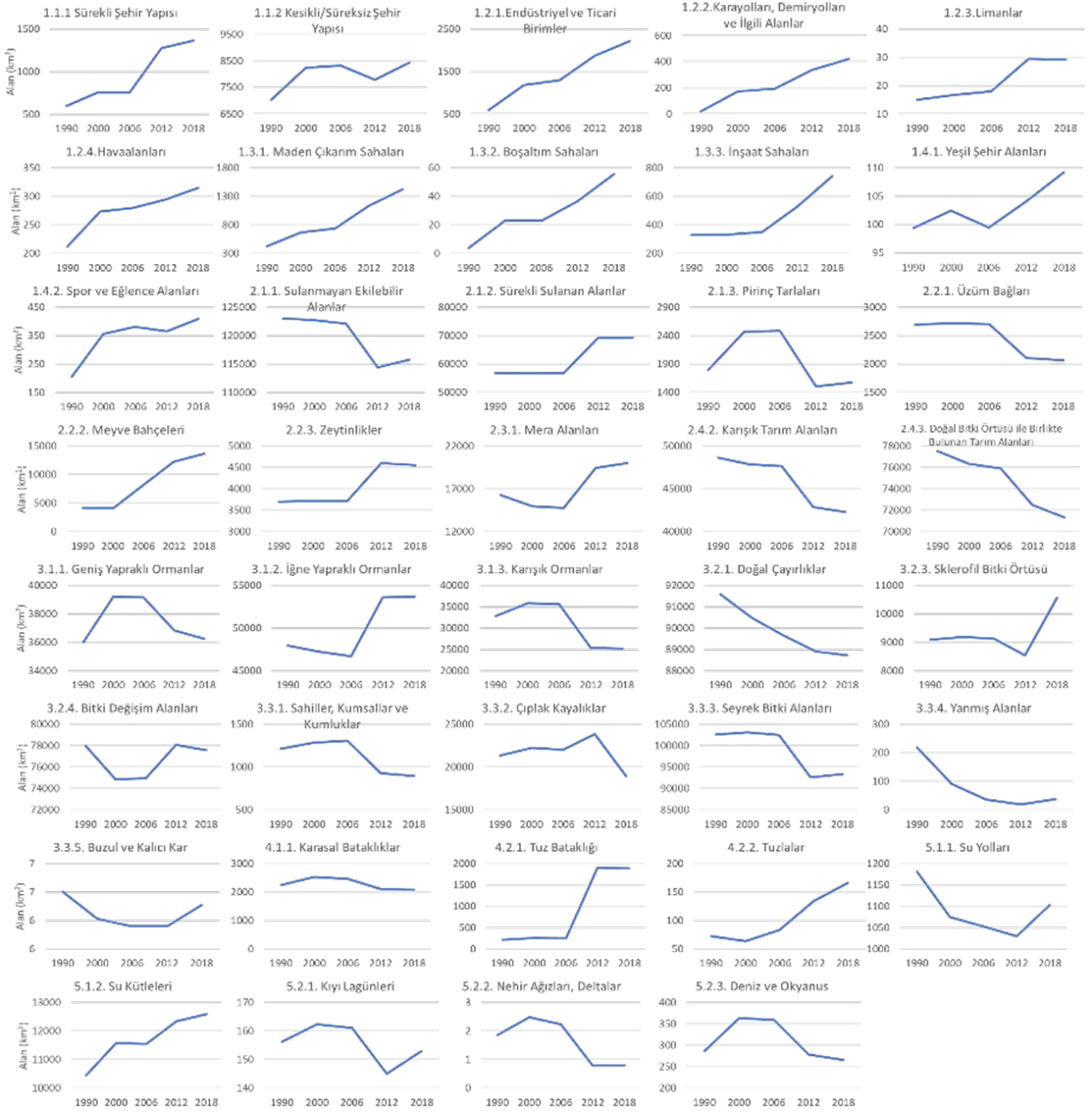
**Tablo 2.** Türkiye’de genel arazi kullanım alanlarını ve değişimi (ha).  
**Table 2.** General land use areas and changes in Türkiye (ha).

Alan Adı	Toplam alan (1990)	Toplam alan (2018)	Ülkenin yüzde % (1990)	Ülkenin yüzde % (2018)	Değişim Yüzde %
Tarım Alanı	31068330	32346480	40,38	42,04	4,1
Mera Alanı	23646200	20227990	30,73	26,29	-14,5
Orman Alanı	20596050	18949470	26,77	24,63	-8,0
Yerleşme Alanı	1636520	5423160	2,13	7,05	231,4

alanlarında 1 278 150 ha’lık bir alansal artış gerçekleşmiştir (Şekil 1-2- Tablo 2).

Türkiye’deki mera alanlarına baktığımızda<sup>6</sup> aynı durum orman alanları içinde söz konusudur. Orman alanları 1990 yılında kara alanlarının %26,77’sini oluştururken, 2018 yılında bu oran %2,14 lik bir gerileme ile %24,63 olmuştur. Bu durum Türkiye’de 28 yıllık bir dönemde mera alanları gibi orman alanlarının da gerilediğini bize göstermektedir. Orman alanları 1.646.580 ha’lık bir alansal gerilemeye maruz kalmıştır (Grafik 1-2, Tablo 2-3, Şekil 1).

Yerleşme alanı olarak ifade ettiğimiz alanlarda (sürekli şehir yapıları, kesikli/süreksiz şehir yapıları, endüstriyel ve ticari alanlar, ulaşım ile ilgili alanlar, maden çıkarım sahaları, boşaltım, inşaat, yeşil şehir ile spor ve eğlence alanları) Türkiye de 1990 yılında kara alanlarının %2,13’ünü yerleşme (yapay) alanları oluştururken, 2018 yılında bu oran %231,4 lük bir artış ile %7,05 olmuştur. Türkiye’de 28 yıllık bir dönemde yerleşme alanlarında 3 786 640 ha’lık bir alansal artış gerçekleşmiştir (Şekil 1-2, Tablo 2-3)



**Şekil 2.** CORINE arazi örtülerinin Türkiye’de 1990-2018 yılları arasındaki alansal değişimi.

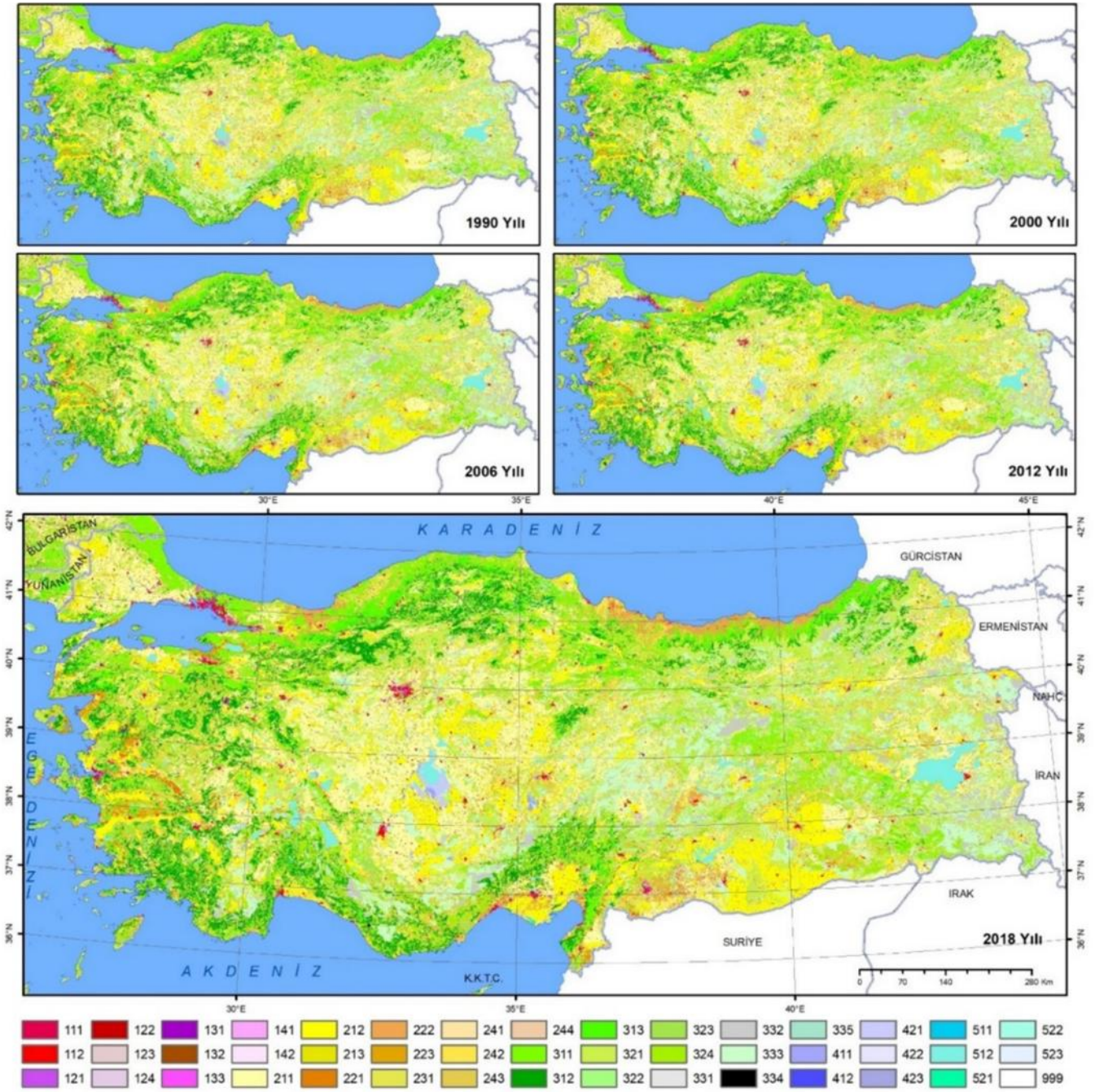
**Figure 2.** Areal change of CORINE land covers in Türkiye between 1990-2018.

Bu rakamlar içinde her ne kadar kırsal yerleşmelerin alanları bulunsun da biz rahatlıkla Türkiye’de 1990 yılından 2018 yılına kadar vahşi bir şehirleşmenin gerçekleştiğini söyleyebiliriz (Şekil 1-2 ve Tablo 1-2-3). Şehirleşme dolaylı olarak mera ve orman alanlarının azalmasına neden olmuştur. Bu şehirleşmeye bağlı gerçekleşen alansal büyüme ilk olarak kendi etrafındaki tarımsal arazileri yutmuştur (Özcanlı vd., 2018; Özcanlı & Güzel, 2018). Başta şehir etrafındaki tarım arazileri şehirleşmiş daha sonra tarım alanlarını çevreleyen mera ve orman alanları da tarım alanlarına dönüşmüştür (Şekil 2-3, Tablo 2)

Değişimi daha net bir şekilde ortaya koyacak olursak doğal alanlar olarak niteleyebileceğimiz orman ve mera alanları; şehirleşme ve tarım alanlarının işgaline uğramıştır. Bu durum aşırı artan nüfus ve bu nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla

olsa da bize bazı olumsuz getirilerinin de olacağını söylemek, bizim için zor bir tahmin değildir.

Aşağıda eğilim analizleri sonucu elde edilen ve her arazi kullanımını için ayrı ayrı açıklanacak olan bütün analiz yorumları bölge bölüm veya il ölçeğinde olacak şekilde yorumlanmıştır. Bu yorumların altlığı makalenin daha iyi anlaşılması açısından okuyucuya mera alanları veya orman alanlarında örnek olarak anlamlı azalma yada artma olmuştur dendiğinde şekil 1 deki ve tablo 3’teki verilere ve haritaya bakarak takip etmeleri konunun anlaşılması açısından kolaylık sağlayacaktır. Çünkü ileriki sayfalarda bölge, bölüm, il bazlı bir anlatımda analiz haritaları ile şekil 3 deki haritanın sanki biliniyormuşçasına yorum ve analizleri yapılacaktır.



Şekil 3. Türkiye'de 1990-2018 yılları arasında CORINE arazi örtüsü değişimi (Açıklamalar 2 nolu grafik'te bulunan başlık rakamları).

Figure 3. CORINE land cover change in Türkiye between 1990 and 2018 (Explanations are the title figures in graph 2).

### 2.1.1. Tarımsal alanlarının değişimi

Türkiye'de tarım alanlarının değişim eğilimi ve tarım alanlarının alansal büyüklüklerini gösteren şekil 4 deki haritaya bakıldığında, a haritasında Türkiye'de tarım alanlarının büyüklüğünün hemen hemen aynı kaldığı görülmektedir. Harita üzerindeki grafiklere de dikkatle bakıldığında tarım alanları genel olarak artış göstermemiş hatta Türkiye'nin genel bir bölümünde sabit kalmıştır. Örneğin İç Anadolu bölgesinde tarım alanları hemen hemen sabit kalmış. Doğu Anadolu bölgesinin bütün bölümlerinde tarım alanları sabit kalmış, Ege bölgesinde kıyı bölgeler hariç diğer bölgenin iç kesimlerinin bazı yerlerinde azalmalar görülmüştür. Akdeniz bölgesinde de nispeten tarım alanlarının alansal büyüklüğü sabit kalmıştır.

Coğrafi bölgeler bazında tarım alanlarının büyüklüğüne bakılarak mekânsal analizine geçmeden önce dikkat edilmesi gereken

bir husus, tarım alanları sabit kalmış görünse de bu aynı zamanda bir çelişkiyi ifade etmektedir. Mesela tarım alanları sabit kalmış gibi görünmesine rağmen sanki hiç sanayi alanı hiç şehirselle alan artmamış gibi de görülmektedir. Çünkü analizler sonucu elde edilen haritada Doğu Anadolu bölgesinde, İç Anadolu bölgesinde, Batı Karadeniz ve Orta Karadeniz bölümünde tarım alanlarının sabit kaldığı görülmektedir. Yani bu durum 1990'ndan itibaren sanki hiç nüfus artışının gerçekleşmediği nüfus artışına bağlı olarak yapılaşmanın meydana gelmediğini de göstermektedir.

Bu görünüm bize şunu en iyi ifade eden durumdur. Yani aslında yapay alan dediğimiz alanlar da artış göstermiş, hatta tarım alanları üzerine doğru olsa da tarım alanları diğer arazi kullanım faaliyet alanlarını işgal ederek kendi alansal büyüklüğünü korumuştur. Yani aslında çayır - mera alanları ve orman alanlarından alan kaybı olduğunu bize göstermektedir.

### 2.1.1.1. Tarım alanlarının Mann Kendall eğilim analizi (Harita B)

Mann Kendall eğilim analizine baktığımızda ise yukarıdaki tarımsal alan büyüklükleri ve yoğunluğu açıklamalarının aksine bir durum ortaya çıkmıştır. Çünkü bu analiz diğer parametrelerin (tarım alanları, yapay alanlar, çayır ve mera alanları, orman alanları, sulak alanlar) bir birine olan eğilimlerine göre bir analiz yaptığımızdan dolayı her parametrenin aslında 1990'dan 2018 yılına kadar olan artış ve azalış eğilimlerini istatistik olarak göstermektedir.

Koyu kırmızı eksi çizgiler şiddetli azalma eğilimi, açık kırmızı eksi çizgiler anlamlı azalma eğilimi, normal kısa kırmızı çizgiler azalma eğilimi olduğunu göstermektedir.

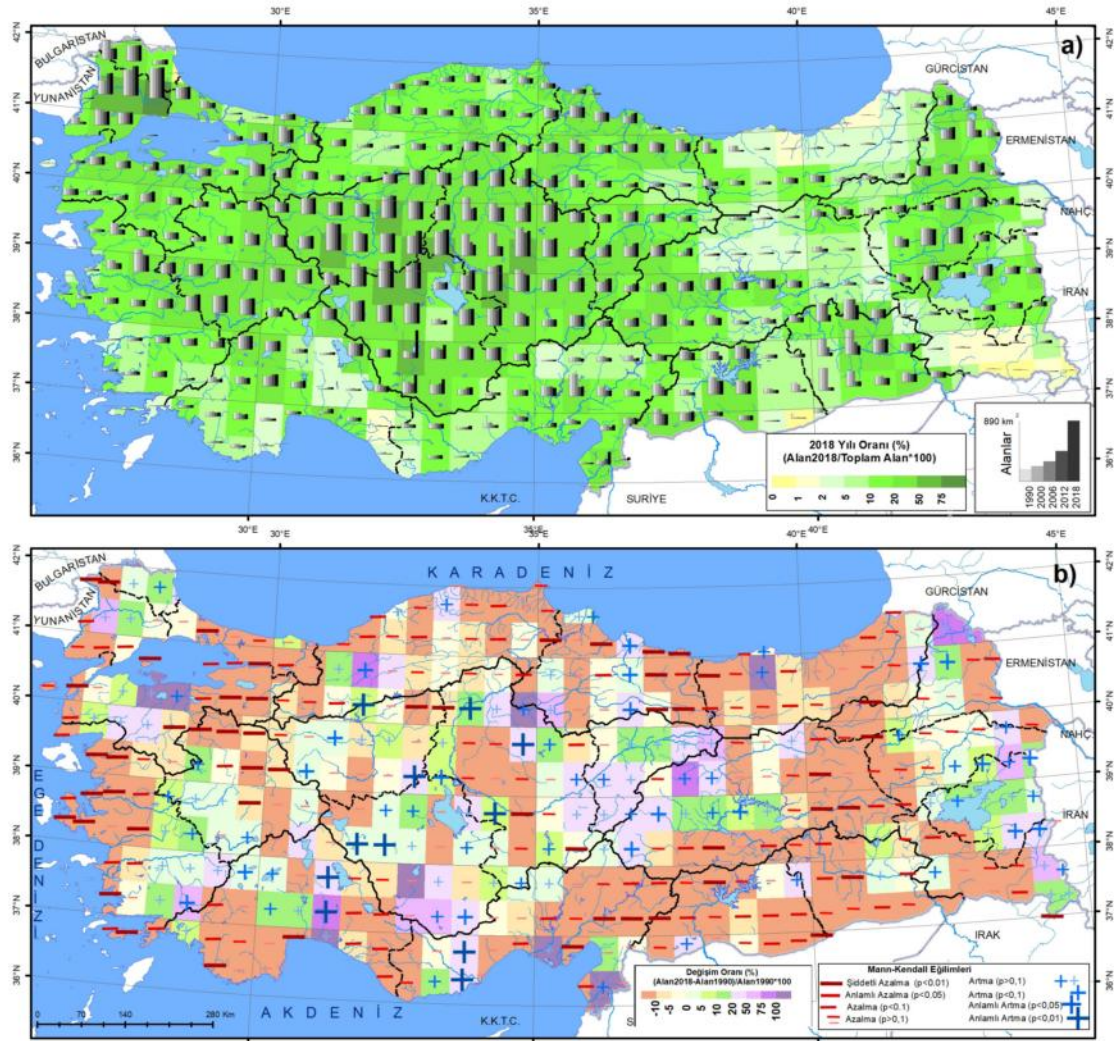
Açık mavi arttırlar ise bize artma eğilimi biraz daha koyu mavi artı işareti artma eğilimi daha koyu mavi artılar ise her bir karelaç içinde şiddetli artma eğilimi olduğunu bize göstermektedir. P değeri 0,1 ile 0,001 arasındaki değerler arasında kademelenmiştir.

Bu işaretler tarım alanlarının 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018'deki değişim eğilimlerini göstermektedir. B haritasına dik-

kat edildiğinde Türkiye genelinde yukarıda anlatılanların dışında bazı istisnai durumlar dışında tarımsal alan büyüklüğünü korumuştur ama Mann Kendall eğilim analizine bakıldığında özellikle Marmara bölgesi'nin Çatalca-Kocaeli bölümünde tarım alanlarının azalma eğiliminde olduğu dikkatleri çekmektedir. Özellikle Gelibolu yarım adasındaki tarım alanlarına bakıldığında şiddetli, anlamlı azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür.

Yine aynı şekilde Marmara bölgesinde özellikle Edirne ve Kırklareli arasındaki tarım alanlarının da şiddetli azalma eğilimi sergilediği görülmüştür. Marmara bölgesinin diğer bölümlerine baktığımızda yani özellikle Çatalca bölümünde orman alanlarıyla kaplı olan yıldız dağları, Pınarhisar, Saray, Demirköy arasındaki tarım alanlarının anlamlı artış gösterdiği görülmüştür. Bu aslında dikkate değer bir saptamadır. Çünkü bu alanların eskiden orman alanları ile kaplı alanlar olduğu unutulmamalıdır.

Ege bölgesinin neredeyse tamamında tarım alanları azalma eğiliminin, şiddetli azalma eğiliminde olduğu görülmektedir ve her bir karelaçta tarımsal alan oranı eksi 5 ya da sıfırlara da yaklaşmaktadır. İç Ege bölümünün Kıyı Ege bölümüyle sınırları arasında ise bazı kısımlarında tarım alanlarında artma eğilimi görülürken, Kıyı Ege bölümünün kıyı bölümünün tamamında şiddetli azalma söz konusudur.



**Şekil 4.** a) Türkiye'de 1990-2000-2006-2012-2018 yıllarında tarımsal alan büyüklüğü ve oranı, b) Türkiye'de 1990 ile 2018 tarımsal alanların değişim oranı ve eğilimleri (+ -) (Mann-Kendall).

**Figure 4.** a) Agricultural area size and ratio in Türkiye in 1990-2000-2006-2006-2012-2018, b) Rate of change and trends of agricultural areas in Türkiye between 1990 and 2018 (+ -) (Mann-Kendall).



### 2.1.2. Ağaçlık alanların değişimi

Türkiye'de ağaçlık alanlarının değişim eğilimi ve ağaçlık alanlarının alansal büyüklüklerini gösteren şekil 5 deki haritaya bakıldığında harita üzerinde görülen sütun grafiklerde Türkiye'de ağaçlık alanlarının büyüklüğünün hemen hemen aynı kaldığı görülmektedir. Harita üzerindeki grafiklere dikkatle bakıldığında ağaçlık alanları genel olarak artış göstermemiş hatta Türkiye'nin genel bir bölümünde sabit kalmıştır. Harita üzerindeki grafiklerde Orta Karadeniz bölümünün kıyı kuşağının doğu kesiminde ve Doğu Karadeniz bölümünün kıyı kuşağının batı kesiminde ağaçlık alanlarda artış görülmektedir. Şekil 5'teki a haritasında 1990 yılından 2018 yılına kadar olan dönemler halindeki grafiklerde Türkiye'de ağaçlık alanlarının değişiminin az olduğunu göstermektedir.

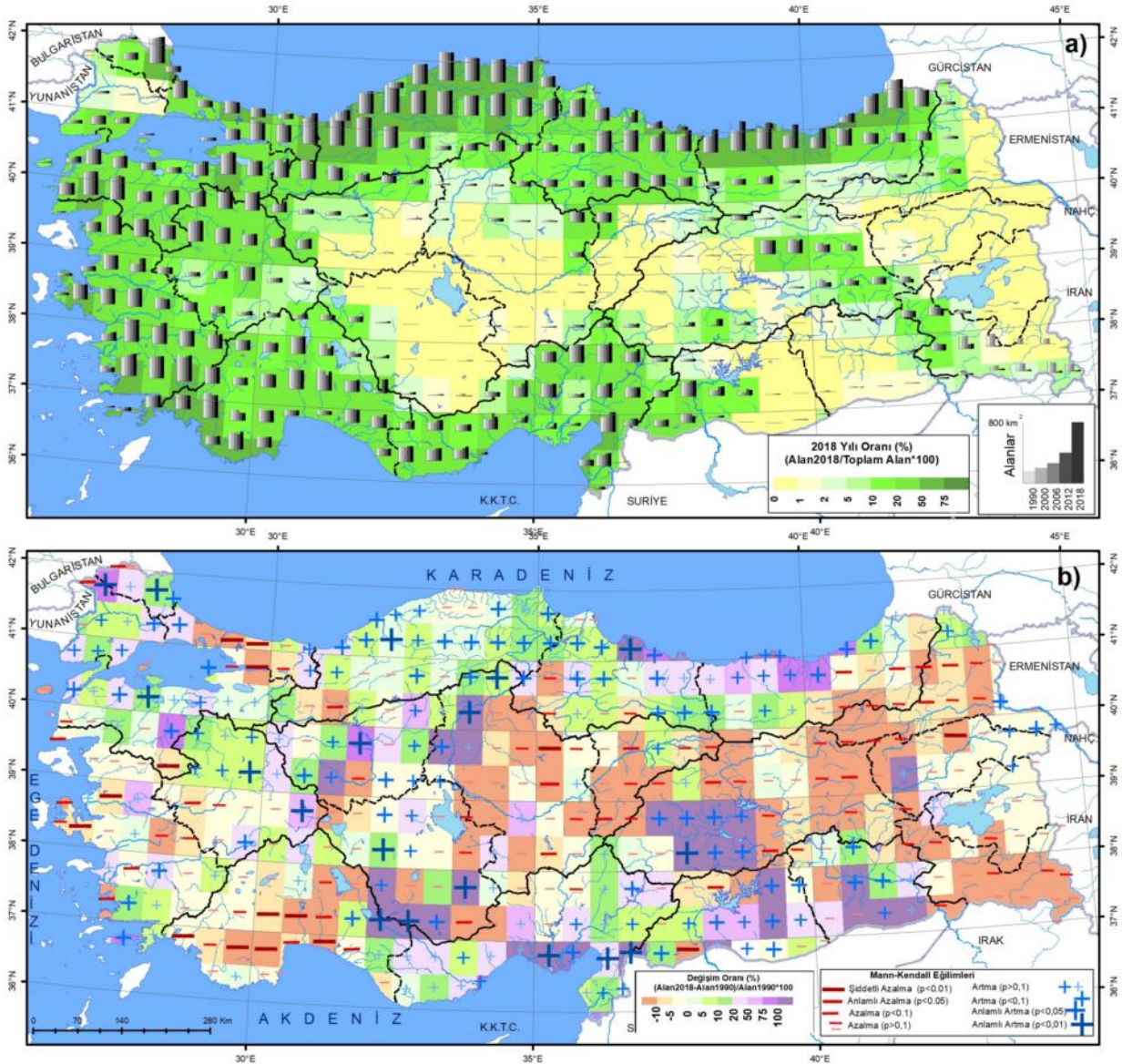
Şekil 5'teki a nolu harita, aynı zamanda ağaçlık alanlarının yoğunluğunu da gösteren bir haritadır. Yeşil ve koyu yeşil olan alanlar ağaçlık alanının her bir kareyaj içinde yüzde elliden fazla alan kapladığını, koyu yeşil olan alanlar ise her bir kareyaj içinde

ağaçlık alanının yüzde %75'ten yüksek olduğunu göstermektedir.

#### 2.1.2.1. Ağaçlık alanların Mann Kendall eğilim analizi (Harita B)

Man-kendall eğilim analizi sonucu elde edilen b'deki eğilim değişim haritasına baktığımızda ağaçlık alanlarının Marmara bölgesinde özellikle Çatalca Kocaeli bölümünde şiddetli azalma eğiliminde olduğu, Güney Marmara bölümünün dağlık kesimlerinde ise artma yönlü değişim eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca Marmara bölgesinin Kıyı Ege ve İç Ege bölümü ile sınır kesimlerinde ağaçlık alanlarının anlamlı azalma ve azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Türkiye geneline ağaçlık alanlarının değişim eğilimine bakıldığında Marmara, Ege, Akdeniz bölgelerinin özellikle kıyı kesimlerinde şiddetli azalma eğilimi görülürken, bu bölgelerin iç kısımlarında ise artma eğiliminin egemen olduğu görülmüştür.



Şekil 5. a) Türkiye'de 1990-2000-2006-2012-2018 yıllarında ağaçlık alanlarının büyüklüğü ve oranı, b) Türkiye'de 1990 ile 2018 ağaçlık alanlarının değişim oranı ve eğilimleri (+ -) (Mann-Kendall).

Figure 5. a) The size and ratio of forest areas in Türkiye in 1990-2000-2006-2012-2018, b) Rate of change and trends (+ -) of forest areas in Türkiye between 1990 and 2018 (Mann-Kendall).

### 2.1.3. Mera ve çayır alanlarının değişimi

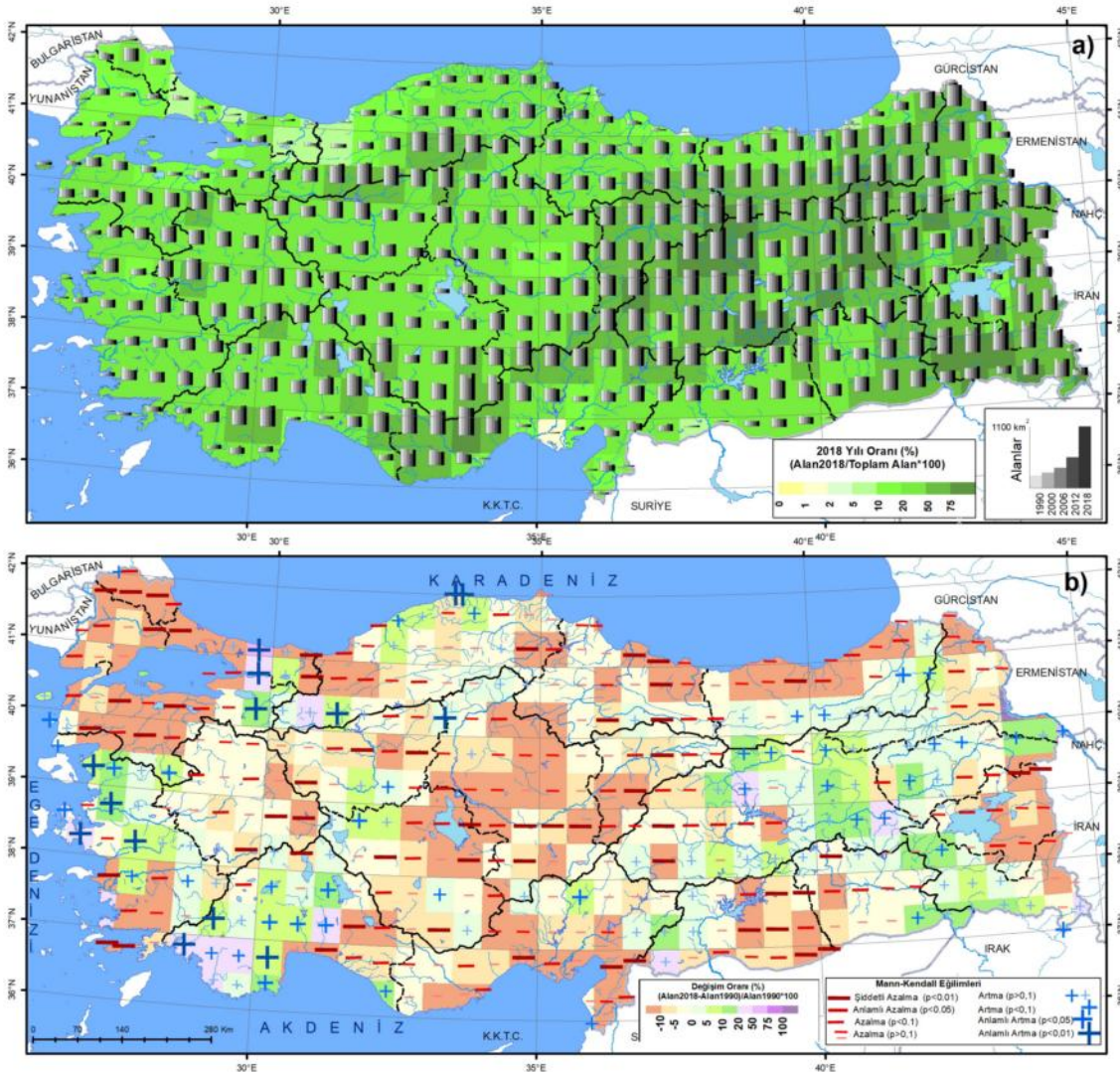
Türkiye'de mera ve çayır alanlarının değişimi ve alansal büyüklüklerini gösteren şekil 6'daki haritaya bakıldığında a haritasının üzerinde görülen sütun grafiklerde Türkiye'de mera ve çayır alanlarının 1990 yılından 2018 yılına kadar genel olarak alansal büyüklüğünü koruduğu görülmektedir. Harita üzerindeki grafiklere de dikkatle bakıldığında mera ve çayır alanlarının Marmara bölgesinde genel olarak 1990 yılına göre bölgenin Yıldız (Istranca) Dağları bölümünde alansal bir kaybın olduğu görülmektedir. Şekil 6'daki a haritasında karelaçlar içindeki alansal büyüklüğü gösteren sütun grafiklerde Türkiye'de genel bir alansal kaybı olmadığı görülse de aslında bu alanların farklı arazi kullanımlarına kayması da söz konusudur. Ayrıca a haritasında dikkati çeken bir alan Van Gölü doğu kesiminde mera ve çayır alanlarının 1990 yılındaki alanlarının azalmasıdır.

#### 2.1.3.1. Mera ve çayır alanlarının Mann Kendall eğilim analizi (Harita B)

Mann-Kendall eğilim analizi sonucu elde edilen b'deki değişim eğilimi haritasına baktığımızda mera ve çayır alanlarının Marmara bölgesinde özellikle Çatalca-Kocaeli ve Yıldız Dağları bölümünde mera ve çayır alanları şiddetli azalma eğiliminde,

Ergene bölümünde azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Güney Marmara bölümünün genelinde mera ve çayır alanlarının şiddetli azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Güney Marmara ve Kocaeli bölümünün doğal sınırını teşkil eden Bilecik ve Samanlı Dağları çevresinde şiddetli artma eğiliminde olduğu görülmektedir (bu alanlar ormanlarla kaplıdır.)

Akdeniz bölgesinin Antalya bölümünde mera ve çayır alanları Teke Yarımadası ve ard kısmında artma, Ege bölgesi sınırlarına yaklaştıkça şiddetli artma eğilimi görülmektedir. Antalya körfezi kıyı kesiminde ve kuzeydeki Eğridir gölü ve çevresinde şiddetli azalma eğilimindedir. Ayrıca Seydişehir'in bulunduğu Suğla Gölü ve çevresindeki dağlık alanlarda da şiddetli azalma eğilimi olduğu görülür. Akdeniz bölgesinin Adana bölümünün genelinde mera ve çayır alanları azalma, anlamlı azalma ve şiddetli azalma eğilimindedir. Bu bölümün kuzeyinde bulunan Dibek ve Binboğa dağlarında mera ve çayır alanları artma eğilimindedir. Türkiye'de mera ve çayır alanları tarımsal arazi kullanım alanlarının çerperinde bulunduğu tarımsal aktiviteye bağlı olarak işgale uğramaktadır. Bu alanların zamanla tarım alanlarına dönüşmesine bağlı olarak mera ve çayır alanları Türkiye'de genel olarak daha yüksek ve dağlık alanlara doğru girişim yapmaktadır.



Şekil 6. a) Türkiye'de 1990-2000-2006-2012-2018 yıllarında mera ve çayır alanlarının büyüklüğü ve oranı, b) Türkiye'de 1990 ile 2018 mera ve çayır alanlarının değişim oranı ve eğilimleri (+ -) (Mann-Kendall).

Figure 6. a) The size and ratio of pasture and meadow areas in Türkiye in 1990-2000-2006-2006-2012-2018, b) Rate of change and trends of pasture and meadow areas in Türkiye between 1990 and 2018 (+ -) (Mann-Kendall).

### 2.1.4. Su yüzey alanların değişimi

Türkiye'de su yüzey alanlarının değişim eğilimi ve su yüzey alanlarının alansal büyüklüklerini gösteren şekil 7'deki haritaya bakıldığında a haritasında Türkiye genelinde her bir karelaç içindeki su yüzey alanlarının oranı %1'in altında olduğu Marmara bölgesinin Ergene ve Güney Marmara bölümlerinde su yüzey alanlarının %5 ile %10 arasında olduğu görülmektedir. Güney Marmara bölümünde Kuş Gölü, İznik Gölü ve Ulubat göllerine tekabül eden bu alanlar ve çevresi aynı zamanda Türkiye'nin de sulak alanlarca en zengin kesimini oluşturmaktadır. Bölgenin Ergene bölümünde ise Keşan ve güneyinde sulu tarım alanlarının (özellikle pirinç) yoğunluğundan ileri gelmektedir.

Akdeniz bölgesinde Antalya bölümünün kuzeyinde yer olan göller yöresi su yüzey alanlarının yüksek olduğu kesim olarak haritada görülmektedir. İç Anadolu bölgesinde Tuz Gölü ve çevresinde su yüzey alanlarında artış olduğu görülmekle beraber bu alanlarda son yıllarda yoğun sulamalı tarım alanlarının da artışının payı vardır.

Doğu Anadolu bölgesinin Yukarı Fırat bölümünde Barajların yapılmasına bağlı olarak oluşan baraj gölleri bu kesimde su yüzey alanlarının artışını sağlamıştır. Bölgenin Van Gölü bölümünde de Van Gölü'nün etkisine bağlı olarak su yüzey alanları artış göstermiştir. Aynı durum Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Orta Fırat bölümü içinde geçerli olup Fırat nehri üzerine yapılmış barajların oluşturmuş oldukları baraj gölleri su yüzey alanlarının artışa neden olmuştur.

#### 2.1.4.1. Su yüzey alanlarının Mann Kendall eğilim analizi (Harita B)

Mann-Kendall eğilim analizi sonucu elde edilen b'deki eğilim değişim haritasına baktığımızda; su yüzey alanlarının Türkiye'nin genelinde artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durumun başlıca nedeni Türkiye'de özellikle 1990'lı yıllardan sonra sulu tarım alanlarının artışına yönelik projelerdir. Bu projeler kapsamında ülkenin tarımsal verimliliği yüksek olan alanlarına barajlar yapılması baraj yapılamayan alanlarda yer altı sularını kullanıma geçilmesine bağlı olarak su yüzey alanlarında genel bir artış söz konusu olmuştur.

Marmara bölgesinde özellikle Çatalca Kocaeli ve Yıldız Dağları bölümünde su yüzey alanları şiddetli artma eğiliminde, Ergene bölümünde artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Güney Marmara bölümünün genelinde mera ve çayır alanlarının şiddetli artma eğiliminde iken sulak alanlarda azalma eğilimi dikkatleri çekmektedir.

Ege bölgesinin kıyı kesiminin kuzeyinde anlamlı artma, güneye inildikçe artma eğiliminin hakim olduğu görülmektedir. İç Ege bölümünü tamamında doğudan batıya doğru şiddetli artma, anlamlı artma ve artma eğilimi görülmektedir.

Akdeniz bölgesinin Antalya bölümünde su yüzey alanları Teke yarım adası ve ard kısmında artma, Ege bölgesi sınırlarına yaklaştıkça azalma eğilimi görülmektedir. Antalya körfezi kıyı kesiminde azalma eğilimi kuzeydeki Egridir gölü ve çevresinde azalma eğilimi görülmektedir. Ayrıca Beyşehir gölü ve çevresinde de artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Akdeniz böl-

gesinin Adana bölümünün genelinde su yüzey alanları anlamlı artma ve şiddetli artma eğiliminin olduğu alanlar bulunmaktadır.

Güneydoğu Anadolu bölgesinde Orta Fırat bölümünde anlamlı artma ve şiddetli artma eğiliminin olduğu alanlar bulunmakla beraber Harran ovasının güneyinde şiddetli azalma eğiliminin olduğu alanlarda bulunmaktadır. Bölgenin Dicle bölümünde Diyarbakır Havzası'nın batısında su yüzey alanları şiddetli artma eğiliminde iken Mardin Eşiği ve güneyinde su yüzey alanlarında azalma ve anlamlı azalma eğiliminin olduğu görülmüştür.

Doğu Anadolu bölgesinin Yukarı Fırat bölümünde azalma alanları görülse de genel olarak su yüzey alanları artma eğilimindedir. Bu bölgenin Van Gölü bölümünün tamamında su yüzey alanları anlamlı azalma ve azalma eğilimindedir. Bölgenin Yukarı Murat bölümünde su yüzey alanları artma eğiliminde, Erzurum-Kars bölümünde artma eğilimindedir. Hakkari bölümünde su yüzey alanları şiddetli azalma ve anlamlı azalma eğiliminin hakim olduğu görülmektedir.

Karadeniz bölgesinin Doğu Karadeniz bölümünde kıyı kesimlerinin büyük bir bölümünde şiddetli azalma eğilimleri görülürken, ard kısımdaki dağlık alanlarda artma eğilimlerinin olduğu görülmektedir. Bölgenin Orta Karadeniz bölümünün genelinde artma ve anlamlı artma eğiliminin egemen olduğu görülmektedir. Batı Karadeniz bölümünün Küre dağları bölümünde su yüzey alanları anlamlı artma eğilimi görülürken Marmara bölgesine yakın kısımlarında su yüzey alanları şiddetli artma eğilimi sergilemektedir.

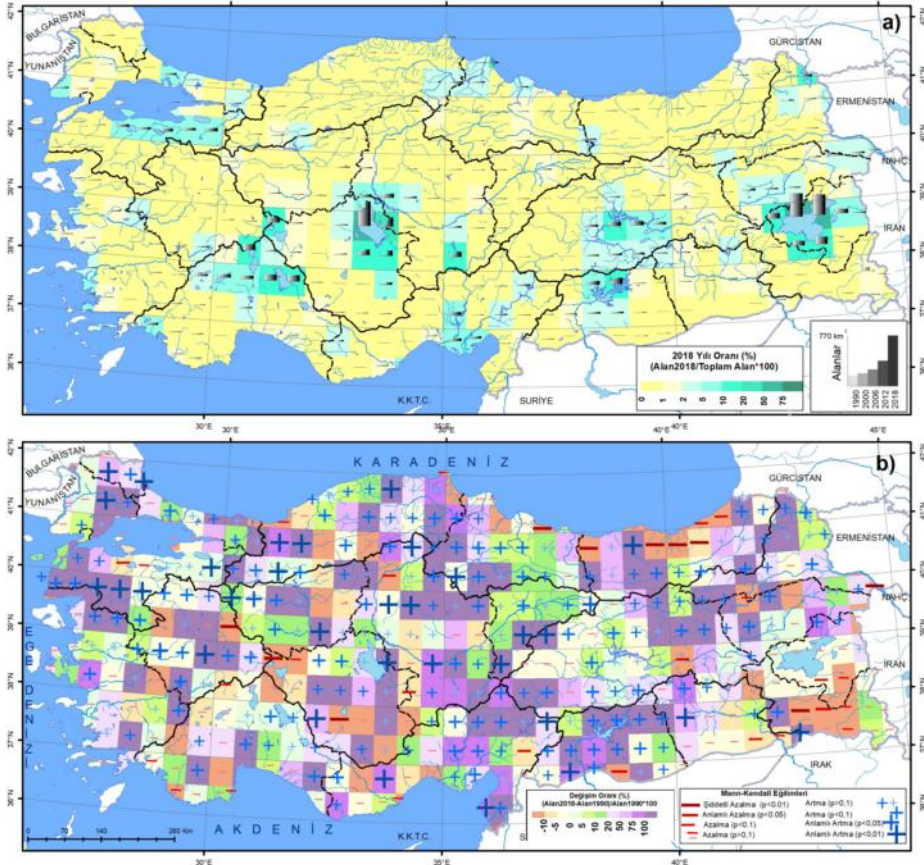
#### 2.1.5. Yapay alanların değişimi

Türkiye'de şekil 8'deki haritada 1990, 2000, 2006, 2012, 2018 dönemlerinin her bir karelaç içindeki yapay alanların büyüklüklerini gösteren grafiklerde Türkiye'nin hemen hemen bütün bölgelerinde yapay alanların 1990 yılına göre artışlar sergilediği görülmektedir. Bu artışlar bazı bölgelerde 1990 yılına göre daha fazla bir şekilde de gerçekleşmiştir. Bu durum aslında yukarıda ayrı başlıklar altında değinilen diğer arazi kullanım değişimlerine neden olan arazi kullanım değişiminin de yapay alanlar olduğunu bize göstermektedir. Türkiye'de yapay alanların alansal genişlemesi aslında bir domino taşı etkisi yaparak diğer arazi kullanımlarının da bir biri üzerine doğru girift yapmasını tetiklemiştir.

Yapay alanların Marmara bölgesinde özellikle Çatalca- Kocaeli yarımadasında ve İzmit Körfezi çevresinde 1990 ile 2018 yılları arasında çok hızlı bir şekilde artış göstermiştir. Bu kesimlerde her bir karelaç içindeki yapay alanların oranı %20 ile %50 arasındadır. Marmara bölgesinin Güney Marmara bölümü kıyı kesiminde bu oran %5 ile %10 arasında değişmektedir. Bölgenin Ergene bölümünde özellikle Tekirdağ ve Çorlu çevresinde yapay alanların oranı her bir karelaç içinde %10' yaklaşmaktadır. Bu durum oransal olarak düşük görülse de aslında diğer arazi kullanımlarının olması gereken orana göre çok çok yüksektir.

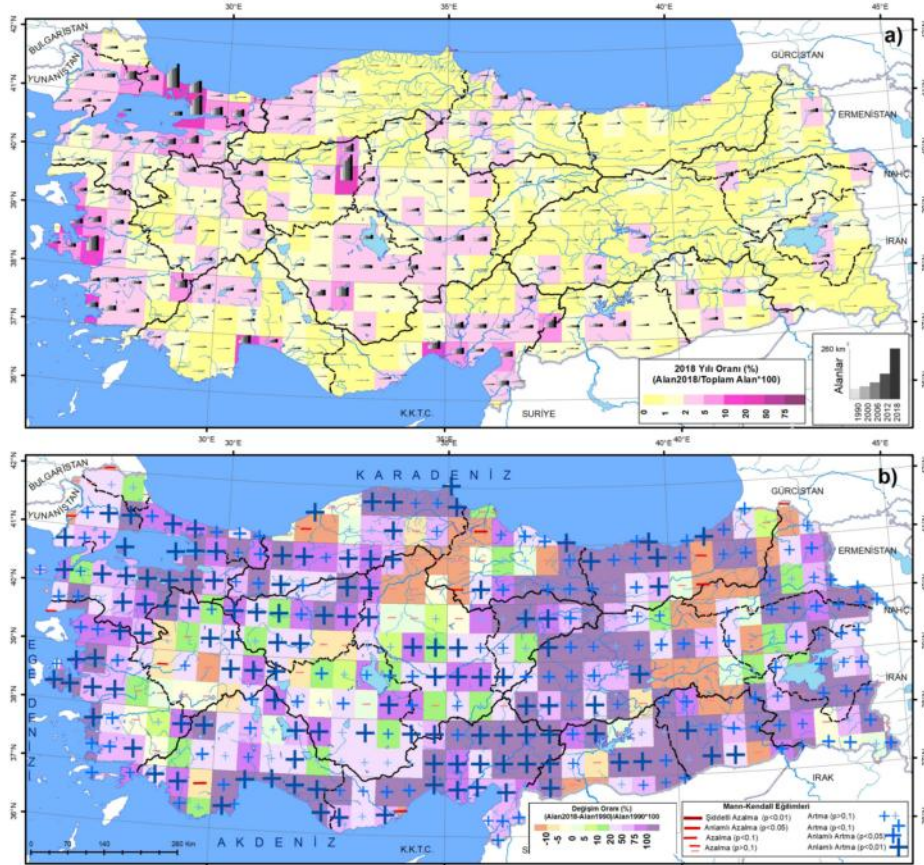
#### 2.1.5.1. Yapay alanlarının Mann Kendall eğilim analizi (Harita B)

Mann-Kendall eğilim analizi sonucu elde edilen şekil 8 b'deki



Şekil 7. a) Türkiye’de 1990-2000-2006-2012-2018 yıllarında su yüzey alanlarının büyüklüğü ve oranı, b) Türkiye’de 1990 ile 2018 su yüzey alanlarının değişimi oranı ve eğilimleri (+ -) (Mann-Kendall).

Figure 7. a) The size and ratio of water surface areas in Türkiye in 1990-2000-2006-2006-2012-2018, b) Rate and trends (+ -) of change of water surface areas in Türkiye between 1990 and 2018 (Mann-Kendall).



Şekil 8. a) Türkiye’de 1990-2000-2006-2012-2018 yıllarında yapay alanlarının büyüklüğü ve oranı, b) Türkiye’de 1990 ile 2018 yapay alanlarının değişim oranı ve eğilimleri (+ -) (Mann-Kendall).

Figure 8. a) The size and ratio of artificial areas in Türkiye in 1990-2000-2006-2006-2012-2018, b) Rate of change and trends (+ -) of artificial areas in Türkiye between 1990 and 2018 (Mann-Kendall).

eğilim değişim haritasında Türkiye'nin bütün coğrafi bölgele-  
rinde şiddetli artma eğiliminin olduğu görülmektedir.

şekil 8 b'daki haritada Marmara bölgesinin tamamında anlamlı  
artma ve şiddetli artma eğiliminin egemen olduğu görülmek-  
tedir (Marmara denizindeki adalar dahil). Bölgenin nüfus yo-  
ğunluğunun az olduğu bölümü olan Yıldız (Istranca) Dağları  
bölümünde bile yapay alanların artma eğiliminde olduğu gö-  
rülmemektedir. Bölgenin Yunanistan ve Bulgaristan sınırlarında  
yapay alanlarda azalma eğilimi görülmektedir.

Ege bölgesinin kıyı kesiminin kuzeyinden güneyine kadar yapay  
alanlarda anlamlı artma ve şiddetli artma eğilimi görülürken,  
bölümün Menteşe yöresinde azalma eğilimi görülmektedir. Böl-  
genin İç Ege bölümünün batı kesiminde özellikle Uşak, Afyon ve  
Kütahya'nın yer aldığı kesimde yapay alanlar şiddetli artma eği-  
limindedir. Bu bölümün batı kesiminde ise yapay alanlar azalma  
eğilimi göstermektedir.

Akdeniz bölgesinin Antalya bölümünde Antalya Körfezi kıyı şe-  
ridinin tamamında şiddetli artma, Antalya şehri ve kuzeyine gi-  
dildikçe artma ve anlamlı artma eğiliminin egemen olduğu  
görülmemektedir. Bölümün Teke Yarımadası batısında da şiddetli  
artma eğiliminin olduğu görülmektedir. Teke Yarımadası'nın  
orta kesiminde anlamlı azalma eğilimi dağlık bir saha olmasın-  
dan kaynaklanmaktadır. Bölümün Adana bölümüne bakıldı-  
ğında bölümün tamamında şiddetli artma eğiliminde olduğu  
görülür.

Güneydoğu Anadolu bölgesinde Orta Fırat bölümünde Gazian-  
tep, Şanlıurfa ve Adıyaman çevresinde şiddetli artma eğilimi  
Suriye sınırına yakın kesimlerde artma ve anlamlı artma eğilimi  
görülmemektedir. Bölgenin Dicle bölümünde şiddetli artma ve an-  
lamlı artma eğilimi görülmektedir.

İç Anadolu bölgesinin orta Kızılırmak ve Yukarı Kızılırmak bö-  
lümünde şiddetli artma ve artma eğilimleri görülürken Orta  
Kızılırmak bölümünün kuzey kesiminde azalma eğilimleri hâ-  
kimdir.

### 3. Arazi Kullanım Değişiminin Olası İklim Değişimine Etkisi

İnsanlık için hayati öneme sahip olan arazi, özellikle son 50 yılda  
görülmemiş değişimle karşı karşıyadır. Arazi kullanım değişimi,  
iklim değişikliğini tetiklerken, iklim değişimi de insanlığa eks-  
trem hava olaylarından, kıtlık ve göçe kadar geniş ve kapsamlı  
zararlar verebilmektedir. Türkiye'de 1990 yılından 2018 yılına  
kadar tarım, ağaçlık, mera ve çayır, su yüzeyi ve yapay alanlarda  
büyük değişimler meydana gelmiştir. Bu durum sera gazı emis-  
yonlarının artışına, yüzey ışınlamalarına ve sıcaklık birikimlerine  
neden olmaktadır. Bunlar iklim değişiminin başlıca antropojenik  
tehditleri arasında yer almaktadır. Arazi kullanım değişimi at-  
mosferdeki sera gazı birikiminin fosil yakıtların kullanılmasın-  
dan sonra başlıca ikinci nedenidir (Friedlingstein & vd., 2020;  
IPCC, 2014). Yapılan çalışmalarda doğal ormanların tarım alan-  
larına dönüşmesi o alandaki karbon emisyon oranının %30 kadar  
arttıracağı hesaplanmıştır (Shibabaw & vd., 2023). Küresel  
çapta yapılan çalışmalarda 2010 ile 2021 yılları arasında arazi  
kullanım değişimi sonucunda atmosfere yıllık 636 milyar ton  
miktarında karbon salınımı gerçekleşmiştir. Türkiye'de ise 6.078  
milyar ton salınım gerçekleşmiştir (Jones vd., 2023). Arazi yü-  
zeyindeki bitki örtüsünün değişimi ve yapay alanlar doğal top-

rak yapısını bozarak yüzeyin su, güneş ışığı emilimini ve ışıma-  
sını etkilemektedir. Arazi yüzeyindeki bu değişiklikler sıcaklık,  
nem, yağış gibi iklim elemanlarını etkileyerek yerel iklim deği-  
şikliklerine de neden olmaktadır (Taylor vd., 2017; Wu vd.,  
2011).

Marmara bölgesinde yukarıdaki arazi kullanım değişim bulgu-  
larında 1990 yılından 2018 yılına kadar, ağaçlık alanlarında an-  
lamlı azalma, mera ve çayır alanlarında azalma ve yapay  
alanlarda bölgenin genelinde şiddetli artma eğilimleri olmuştur.  
İklimsel olarak bölgede yapılan çalışmalarda bitki büyüme  
mevsiminde gerçekleşen yağış miktarlarının azaldığı, özellikle  
Güney Marmara bölümünde buharlaşma şiddetinin arttığı gö-  
rülmemiştir. Bölge genel olarak ekstrem hava olaylarının görülme  
sıklığının arttığı bir alan haline gelmiştir. Bölgede aynı zamanda  
yapay alanların vahşi artış beraberinde geniş ölçekli ormansız-  
laşmayı getirmiştir. Bu durum bölgesel ve küresel yağışı önemli  
oranda azaltarak, insanların geçim kaynaklarını ve bağımlı ol-  
dukları doğal kaynakları olumsuz etkileyecektir.

Ege bölgesindeki arazi kullanım eğilimi özellikle Kıyı Ege bölü-  
münde yapay alanların şiddetli artış eğiliminde ve ağaçlık alan-  
larının ise şiddetli azalma eğiliminde olması, son yıllarda bölge  
ikliminde yaz sıcaklıklarının artmasının, kış ve ilkbahardaki ya-  
ğışların azalmasının nedeni de olabilir. Bu durum aynı zamanda  
bölgede gerçekleşen orman yangını sıklığını da arttırmıştır. Böl-  
gede yapılan iklim çalışmaları yıldan yıla yağış miktarında ya-  
şanan yağış düzensizliklerini de konu etmektedir. Bölgedeki  
yıllık ve aylık yağış dağılımında büyük değişiklikler olmaya baş-  
lamıştır. Bu düzensizlikler özellikle bölgedeki çiftçileri ekim ve  
hasat zamanını ayarlamada olumsuz etkileyecektir (Elibüyük &  
Yılmaz, 2012).

Akdeniz bölgesinde özellikle kıyı şeridinde olan yapay alanlar-  
daki şiddetli artma tarım alanlarına, mera ve çayır alanlarına  
ve orman alanlarında değişimlere neden olmuştur. İklimsel ola-  
rak Akdeniz bölgesinde gerçekleşen kış yağışlarının azalması,  
şiddetli hava olaylarının sıklığında meydana gelen artış ve son  
olarak bölgede gerçekleşen orman yangınlarındaki sayısal artış  
bölgedeki beşeri etkinin de bir sonucu olarak görülebilir<sup>8</sup>. Aynı  
şekilde bölgenin iç kesimlerinde (yüksek alanlar) eskiden görü-  
len kar yağışlı gün sayısında azalmalar olduğu gibi kar örtüsün-  
nün bile oluşmadığı yılların sayısında da artışlar söz konusudur.  
Bölgede ilkbahar mevsiminin başlangıcının giderek erkenleştiği,  
yaz mevsimi uzadığı ve sonbahar mevsiminin de geç geldiği bir  
iklim görüntüsüne doğru bir değişim sergilemektedir. Bölgede  
mevsim bozulumu kurak dönemde uzamasını beraberinde  
getirecektir (Elibüyük & Yılmaz, 2012).

Genel olarak Türkiye'de yapay alanlarda gerçekleşen şiddetli  
artma özellikle metropol şehirlerde yerel iklimleri değişimine  
neden olmuştur. Bu şehirlerde özellikle ilkbahar ve yaz mevsimi  
gece en düşük hava sıcaklıkları, istatistiksel ve klimatolojik açı-  
dan ısınma eğilimi içindedir. Yağışlarda Türkiye'nin büyük bir  
kesiminde her on yılda yaklaşık %3 azalmıştır. Özellikle Akdeniz  
yağış rejimi'nin egemen olduğu bölgelerde, özellikle kış toplam  
yağışlarında belirgin bir azalma eğilimi gerçekleşmiştir. Bu  
azalma eğiliminden en fazla Marmara, Ege, Akdeniz, ve Güney-  
doğu Anadolu bölgeleri etkilenmiştir (Türkeş vd., 2016).

Yapay alanlardaki hava sıcaklığı civar kırsal alanlardan daha yük-  
sek olduğu zaman meydana gelen şehir Isı Adaları başta tarım-  
sal faaliyetler olmak üzere doğal koşullara bağlı birçok ekonomik

<sup>7</sup> <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions> Erişim: 06.24.2022

<sup>8</sup> Akdeniz bölgesinde, iklim değişikliğine bağlı olarak yıllık yağış miktarında azalma ve aşırı yağış olaylarında ise artış görülüyor. Kentleşme ise, 2001 ve 2017 yılları arasında Akdeniz kentlerinde ısının 0,3 derece ile 0,9 derece artmasına neden oldu (bakınız, YILMAZ, E., (2017). Türkiye'nin Bazı Şehirlerindeki Isı Adası Özellikleri. Türkiye Coğrafyası Araştırmaları (pp.177-204), Ankara: Pegem Yayınevi)

faaliyeti olumsuz etkilemektedir<sup>9</sup>. Türkiye’de arazi kullanım değişimi aynı zamanda yağış sıklığı, yoğunluğu ve modellerini de değiştirmiştir. Bu değişiklikler Türkiye’nin coğrafi bölgelerine göre farklılık göstermektedir. Türkiye’de özellikle kıyı bölgeleri, nehir deltaları ve sulak alan ekosistemleri iklim değişimine daha hassas bir özelliğe sahiptir (Çalışkan vd., 2012).

#### 4. Sonuç

Türkiye’de tarım alanlarının 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait tarımsal alan büyüklüğü ve oranını gösteren a nolu harita ile Türkiye’de 1990 ve 2018 tarımsal alanda değişim oranı ve eğilimlerini gösteren Mann Kendall analizine bağlı olarak yapılmış haritalara genel olarak bakıldığında Türkiye genelinde tarım alanlarının genişliklerinin sabit kaldığı görülmüştür. Ancak Mann Kendall eğilim analizine bağlı olarak Türkiye’nin büyük kısmında tarım alanlarının azalma eğilimi içinde olduğu, özellikle kıyı kesimlerinde şiddetli azalma eğiliminde olduğu saptanmıştır (Tablo 3).

Bu azalmalar bize tarım alanlarının aslında diğer arazi kullanımına bağlı olarak işgal edildiği ya da diğer arazi kullanımına bağlı olarak değiştiği veya tarım alanlarının da aslında genişliklerini koruyarak diğer arazi kullanım öğelerini işgal ettiğini bize göstermektedir.

Yani tarım alanları Karadeniz bölgesinde orman alanlarını işgal etmiş, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde mera ve çayır alanlarının işgal etmiş, Akdeniz bölgesinde orman alanlarını işgal etmiştir.

Ege bölgesinde çayır ve mera alanları orman alanlarını, bölgenin kıyı kesiminde yapay alanlar tarım alanlarını, çayır ve mera alanları ve orman alanlarını işgal etmiştir. İç Anadolu bölgesinde ise genel itibarıyla tarım alanları mera alanlarına doğru yönelişi görülmektedir.

Arazi kullanım türlerinde değişimlerin olması özellikle yapay alanların orman alanlarına ve çayır-mera alanlarına doğru yayılması, iklim değişikliğine de neden olmaktadır. Bu durumun sonucu olarak bazı alanlarda seller, fırtınalar, sıcak hava dalgaları gibi aşırı hava olayları meydana gelmektedir. Bu hava olayları tarımsal üretime ve hayvancılığa zarar vermektedir. Bu zararlar sonucu büyük kayıplar yaşanmaktadır.

Bu kayıpların önüne geçilebilmesi için tarım alanlarının tarıma elverişli olan topraklarında tutulması gerektiği eğilimli veya orman veyahut tarım için elverişsiz çayır ve mera alanlarının tarım alanlarına dönüştürülmesi engellenmelidir. Çünkü belli bir denge sağlayan orman alanları ve çayır, mera alanlarının yüzeyinde, yüzeysel sıcaklığı tutma dengesini bozmaktadır. Çünkü sulanmaya bağlı olarak yetiştirilen bitkinin sıcaklığı emme kapasitesine bağlı olarak yerel ölçekte iklimsel değişimlere neden olabilmektedir.

Aynı şekilde tarım alanlarında meydana gelen değişikliklere bağlı olarak meydana gelen iklimsel değişikliklerle birlikte tarımsal verimlilik üzerinde etkili olan sıcaklık, yağış miktarı değişmektedir. Deniz seviyesine yakın bölgelerde veya düz alanlarda yapılan kırsal ekonomik aktivitenin verimliliği ile yamaçtaki veyahut çayır ve mera alanlarındaki yapılan tarımsal

aktivitenin verimliliği aynı olmamaktadır.

Bütün bu etkiler göz önüne bulundurulduğunda tarımsal alanların yer değiştirilmesi, iklim değişikliğine de neden olmaktadır. Bu da gıda üretimini ve gıda kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Yani insanlığın temel gereksinimlerinden beslenme ve su ihtiyacını karşılayabilmesi için öncelikle kolay ekilebilir alanlarda verimli tarım alanlarını sürdürülebilir bir şekilde kullanılması ve şehirleşmeye bağlı olarak yapılaşmanın bu alanlardan uzak tutulması sağlanmalıdır.

Güneydoğu Anadolu bölgesinde de ağaçlık alanlarının artma eğilimi sergilediği görülmektedir. Bu durum Orman Genel Müdürlüğü’nün çalışmalarının bir sonucu olduğu gibi, aslında bu bölgede genel olarak özellikle 2000’li yıllardan sonra dikili tarım alanlarının artış olmasından ileri gelmektedir. Bölge genelinde bu yıllarda itibaren fıstık, zeytin ve badem gibi dikil tarım ürünlerinin yetiştirilmesi devlet tarafından desteklenmiş. Buna bağlı olarak bu tarım ürünlerinin alanlarında önemli artışlar olmuştur.

Türkiye’de su yüzey alanlarında 1990’dan günümüze tarımsal faaliyetlere bağlı olarak önemli artışlar meydana gelmiş ancak bu artışların daha çok yapay su yüzey alanlarının artışına bağlı olduğu görülmektedir. Şekil 7’deki a ve b haritalarına bakıldığında aslında doğal su yüzey alanlarında azalma eğiliminin baskın olduğu yapay su yüzey alanlarında artma eğiliminin olduğu net olarak görülmektedir.

Çalışmada Türkiye’de son 30 yıllık süreçte gerçekleşen sosyal ve ekonomik değişimlerin arazi kullanım türlerine olan etkisinin genel son bir görünümü ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Ne yazık ki Türkiye’deki kentleşme ve tarım politikaları nedeniyle sorunların büyüme potansiyeli önümüzdeki dönemlerde de devam edecektir.

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

**Yazar Katkısı/Author contribution:** Çalışma tasarımı ve konsepti M.Ö. ve E.Y. tarafından yapılmıştır. Veriler E.Y. tarafından toplanmış, analiz edilmiştir. Harita, tablo ve grafikler M.Ö. tarafından yorumlanmıştır. İlk yazım kısmı M.Ö. tarafından yapıldıktan sonra E.Y. tarafından okunmuş ve geliştirilmiştir. Son okuma ve düzeltmeler M.Ö. ve E.Y. tarafından yapılmıştır. *The study was designed and conceptualised by M.Ö. and E.Y. Data were collected and analysed by E.Y. Maps, tables and graphs were interpreted by Ö. After the first writing part was done by Ö., it was read and developed by E.Y.. Final reading and corrections were made by Ö. and E.Y.*

**Etik Kurulu Onayı/ Ethics Committee Approval:** Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

**Teşekkür ve Katkı Belirtme/ Acknowledgements:** Yazarlar, katkılarından dolayı hakemlere ve Editörlere teşekkürlerini sunar. *The authors would like to thank the referees and the Editors for their contributions.*

<sup>9</sup>Toprak, tarım, altyapı, ormanlar, insan sağlığı, ekosistemler ve biyolojik çeşitlilik vb.

## Kaynakça

- Avcı, Z. U., & Kuşak, L. (2010, Kasım 24-26). *Mekânsal planlamada yeni Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri tekniklerinin kullanımı*. TUJK'2010 Mekânsal Planlamada Jeodezi Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- Barati, A. A., Zhoolideh, M., Azadi, H., Lee, J. H., & Scheffran, J. (2023). Interactions of land-use cover and climate change at global level: How to mitigate the environmental risks and warming effects. *Ecological Indicators*, 146, 109829. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109829>
- Bayar, R. (2003). Arazi kullanımı-nüfus ilişkisi: Anamur örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1(1), 97-116. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000023](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000023)
- Bayar, R., & Karabacak, K. (2017). Ankara ili arazi örtüsü değişimi (2000-2012). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 15(1), 59-76. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000181](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000181)
- Corburn, J. (2009). Cities, climate change and urban heat island mitigation: Localising global environmental science. *Urban studies*, 46(2), 413-427. <https://doi.org/10.1177/0042098008099361>
- Türkoğlu, N., Çalışkan, O., Çiçek, İ., Yılmaz, E. (2012). Şehirleşmenin biyoklimatik koşullara etkisinin Ankara ölçeğinde incelenmesi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*. <https://core.ac.uk/download/pdf/268072719.pdf>
- Demir, A. (2009). Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 37-54. [https://doi.org/10.1501/Csaum\\_0000000013](https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000013)
- Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ., & Sönmez, S. (2008, Ekim 16-17). *Türkiye'de doğal ortam bozulmasına Antroposen açısından bakış*. TÜCAUM V. Ulusal Coğrafya Sempozyumu (16-17 Ekim 2008) Bildiriler Kitabı, 317-328. [http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/sem5\\_32.pdf](http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/sem5_32.pdf)
- Elibüyük, M., & Yılmaz, E. (2012). Türkiye'de sıcaklık mevsimlerinin ana morfolojik ünitelere göre değişimi 1: Ovalar ve havzalar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 10(2), 165-193. [https://dergipark.org.tr/en/pub/aucbd/issue/44467/551177](https://dergipark.org.tr/en/pub/aucbd/issue/44467/551177Erdoğan, S. (2020). Enerji, çevre ve sera gazları. Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10(1), 277-303. https://doi.org/10.18074/ckuiibfd.670673)
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., W. Jones, M., Andrew, R.M., Hauck, J., Olsen, A., Peters, G.P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Canadell, J., Ciais, P., Jackson, R.B., Alin, S., Aragão, L.E.O.C., Arneeth, A., Arora, V., R. Bates, N.,... & Zehle, S. (2020). Global carbon budget 2020. *Earth System Science Data Discussions*, 12(4) (2020), 3269-3340. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>
- Gao, M., Xu, R., Huang, J., Su, B., Jiang, S., Shi, P., & Jiang, T. (2023). Increase of carbon storage in the Qinghai-Tibet Plateau: Perspective from land-use change under global warming. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137540. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137540>
- Güre, M., Özel, M. E. ve Özcan, H. (2009). Corine arazi kullanımı sınıflandırma sistemine göre Çanakkale ili. *HR.Ü.Z.F. Dergisi*, 13(3), 37-48.
- Huang, X., Huang, J., Wen, D., & Li, J. (2021). An updated MODIS global urban extent product (MGUP) from 2001 to 2018 based on an automated mapping approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95, 102255. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102255>
- IPCC, 2014 *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team] (2014)*, R.K. Pachauri, L.A. Meyer (Eds.), Climate Change 2014: 10.1016/S0022-0248(00)00575-3 (Vol. 218, Issue 2) [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_Front\\_matters.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_Front_matters.pdf)
- Jones, C., McConnell, C., Coleman, K., Cox, P., Falloon, P., Jenkinson, D., & Powlson, D. (2005). Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of organic carbon in soil. *Global Change Biology*, 11(1), 154-166. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00885.x>
- Kadioğlu, M. (2007). *Küresel iklim değişimi ve Türkiye*. Güncel Yayıncılık AŞ. <https://eskisakarya.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3937.pdf>
- Koo, K. A., & Park, S. U. (2022). The effect of interplays among climate change, land-use change, and dispersal capacity on plant redistribution. *Ecological Indicators*, 142, 109192. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109192>
- Lee, H. S., Trihamdani, A. R., Kubota, T., Iizuka, S., & Phuong, T. T. (2017). Impacts of land use changes from the Hanoi Master Plan 2030 on urban heat islands: Part 2. Influence of global warming. *Sustainable Cities and Society*, 31, 95-108. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.015>
- Mathew, A., Khandelwal, S., & Kaul, N. (2017). Investigating spatial and seasonal variations of urban heat island effect over Jaipur city and its relationship with vegetation, urbanization and elevation parameters. *Sustainable Cities and Society*, 35, 157-177. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.013> Haklar ve içerik edinin
- Mercan, Ç. (2020). Yer yüzey sıcaklığının termal uzaktan algılama görüntüleri ile araştırılması: Muş ili örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(2), 42-49. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1261765>
- Mukhopadhyay, P., & Revi, A. (2012). Climate change and urbanization in India. In Dubash, N. (Ed.). *Handbook of Climate Change and India: Development, Politics and Governance* (pp.327-340). (2011 1st ed.). Routledge. eBook Published 15

- March 2012, eBook ISBN 9780203153284  
<https://doi.org/10.4324/9780203153284>
- Mumtaz, F., Tao, Y., de Leeuw, G., Zhao, L., Fan, C., Elnashar, A., & Wang, D. (2020). Modeling spatio-temporal land transformation and its associated impacts on land surface temperature (LST). *Remote Sensing*, 12(18), 2987. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/18/2987>
- Özcanlı, M. (2014). Kazdağları Milli Parkı'nda tarımsal faaliyetlerin arazi örtüsü değişimine etkisi (1975-2005). *The Journal of Academic Social Science Studies*, 25(19), 339-356. DOI: <http://dx.doi.org/10.9761/JASSS2317>
- Özcanlı, M. & Güzel, A., (2015). Şanlıurfa şehrinin alansal gelişiminin çevresindeki tarım arazilerine etkisi. *Turkish Studies - International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 10(6) 723-744. <http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.7890>
- Özcanlı, M. & Özçağlar, A., Özgen, N., & Benek, S., (2018).Diyarbakır şehrinin alansal gelişimi ve tarım arazileri üzerindeki etkileri. *Asos Journal The Journal of Academic Social Science*, 64(64), 479-506. DOI : [10.16992/ASOS.13294](https://doi.org/10.16992/ASOS.13294)
- Özdeş, M. (2023). Küresel iklim değişikliği ve çevresel değişimlerin etkisi altında arazi değişim biliminin ortaya çıkışı: Kurak ve yarı kurak ekosistemlerde arazi değişimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 21(2), 368-403. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1198890>
- Özgen, N. & Özçağlar, A. (2017). Bismil ilçesinde tarımsal arazi kullanımı ve planlamaya yönelik kararlar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 15(1) , 77-107. DOI: [10.2139/ssrn.3533965](https://doi.org/10.2139/ssrn.3533965)
- Özgen, N. (2017). Beşeri coğrafyada bilimsel bilgi ve metodolojik uygulamalar üzerine bir değerlendirme. *FLSF Felsefe ve Sosyal Bilimler Dergisi*, (24), 195-221. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/flsf/issue/48632/618022>
- Özgen, N., & Coşkun, S. (2020). *Davranışsal Coğrafya*. Pegem Akademi Yayıncılık.
- Polat, Y., Yanıkoğlu, A., & Çetin, H. (2017). İklim değişikliğinin sivrisinek kaynaklı hastalıklar üzerine etkisi. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi-C Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 6(2), 86-94. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/372415>
- Selçuk, S. F., Cebeci, M. S., Köker, B., & Yılmaz, Z. (2021). Konya ili arazi kullanım/örtüsü değişim analizi. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 100-114. <https://doi.org/10.51552/peyad.1033847>
- Shen, P., Zhao, S., Ma, Y., & Liu, S. (2023). Urbanization-induced Earth's surface energy alteration and warming: A global spatiotemporal analysis. *Remote Sensing of Environment*, 284, 113361. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113361>
- Shibabaw, T., George, M. O. R., & Gärdenäs, A. I. (2023). The combined impacts of land use change and climate change on soil organic carbon stocks in the Ethiopian highlands. *Geoderma Regional*, 32, e00613. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00613>
- Sönmez, M. (2011). Adana şehrinin alansal gelişimi ve yakın çevresinin arazi kullanımında meydana gelen değişimler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (57), 55-69. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/issue/21224/227779>
- Tağıl, Ş. (2014). Edremit Körfezi'nin kuzey sahil bölgesinde peyzaj paterni ve arazi örtüsünün zamansal ve mekânsal değişimi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(31), 1-16. <https://doi.org/10.31795/baunsoyed.663881>
- Taştan, R., Özer, C., & Okcu, A. (2019). Vektörlerle Bulaşan Hastalıklar: İklim Değişikliği ve Küreselleşmenin Tetiklediği Yeni Tehdit. 2. Uluslararası SARS'dan COVID-19'a, Zoonotik Pandemi Salgınlarına Tek Sağlık Yaklaşımı Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar), 2189-2201.
- Taylor, P. G., Cleveland, C. C., Wieder, W. R., Sullivan, B. W., Dougherty, C. E., Dobrowski, S. Z., & Townsend, A. R. (2017). Temperature and rainfall interact to control carbon cycling in tropical forests. *Ecology Letters*, 20(6), 779-788. <https://doi.org/10.1111/ele.12765>
- Turan, İ. D., Dengiz, O., & Kaya, N. S. (2021). Arazi örtüsü/arazi kullanım değişimlerinin farklı zamanlı landsat uydu görüntüleri ile belirlenmesi: Çarşamba delta ovası örneği. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 141-152.
- Tümertekin, E., & Özgüç, N. (2022). *Ekonomik coğrafya kalkınma ve küreselleşme*. Çantay Kitabevi.
- Türkeş, M., Yozgatlıgil, C., Batmaz, İ., İyigün, C., Koç, E. K., Fahmi, F. M., & Aslan, S. (2016). Has the climate been changing in Türkiye? Regional climate change signals based on a comparative statistical analysis of two consecutive time periods, 1950-1980 and 1981-2010. *Climate Research*, 70(1), 77-93. [Doi: 10.3354/cr01410](https://doi.org/10.3354/cr01410)
- United Nations (2019). *Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: the 2018 Revision* United Nations, New York (2019) (ST/ESA/SER.A/421) World Urbanization Prospects 2018
- Yılmaz, E. (2019). Mobil ölçümlerle Ankara şehir ısı adası. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 17(2), 281-317. <https://doi.org/10.33688/aucbd.600933>
- Yılmaz, E. & Özcanlı, M. (2021). Van şehir gelişimi ile şehir ısı adası arasındaki ilişkiler ve sıcaklık değişimleri, *Van İnsani ve Sosyal Bilimler Dergisi*, (1), 40-60. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2298029>
- Yılmaz, E., (2017). Türkiye'nin bazı şehirlerindeki ısı adası özellikleri. Arslan, F. (Ed), *Prof.Dr. Mesut Elibüyük'e Armağan Kitabı, Türkiye Coğrafyası Araştırmaları*. (ss.177-205) Pegem Yayınevi.



- Yılmaz, E., (2018). Türkiye’de aylık yağış eğilimleri, yağış kaymaları ve yağış eğilim rejimleri (1971-2010). *Journal of Human Sciences*, 15(4), 2066-2092. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3419380>
- Zhou, W., Wang, J., & Cadenasso, M. L. (2017). Effects of the spatial configuration of trees on urban heat mitigation: A comparative study. *Remote Sensing of Environment*, 195, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.043>
- Wu, J., Luo, J., Zhang, H., Qin, S., & Yu, M. (2022). Projections of land use change and habitat quality assessment by coupling climate change and development patterns. *Science of The Total Environment*, 847, 157491. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157491>
- Wu, Z., Dijkstra, P., Koch, G. W., Peñuelas, J., & Hungate, B. A. (2011). Responses of terrestrial ecosystems to temperature and precipitation change: A meta-analysis of experimental manipulation. *Global Change Biology*, 17(2), 927-942. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2010.02302.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02302.x)



## Uluabat Gölü yüzey alanının zamansal değişim analizi üzerinden DSAS ve yapay sinir ağları modellerine göre gelecek tahminleri

Future predictions according to DSAS and artificial neural network models based on temporal change analysis of Uluabat Lake surface area

Sultan Murat Uzun<sup>a\*</sup> 

<sup>a</sup> Marmara Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.

ORCID: S. M. U. 0000-0003-2191-3936

### BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 09.05.2024  
Kabul/Accepted: 14.07.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Sulak alan değişimi  
DSAS  
Yapay Sinir Ağları (YSA)  
Uzaktan Algılama (UA)  
Uluabat Gölü

#### Keywords:

Wetland change  
DSAS  
Artificial Neural Networks (ANN)  
Remote Sensing (RS)  
Uluabat Lake

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(S. M. Uzun) murat.uzun@marmara.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1481187



#### Atıf/Citation:

Uzun, S. M. (2024). Uluabat Gölü yüzey alanının zamansal değişim analizi üzerinden DSAS ve yapay sinir ağları modellerine göre gelecek tahminleri. *Türk Coğrafya Dergisi* (86), 25-43.  
<https://doi.org/10.17211/tcd.1481187>

### ÖZ/ABSTRACT

Göller jeomorfolojik, hidrografik, klimatolojik ve antropojenik etkenlerle birçok özellik açısından değişimlere uğramaktadır. Bu çalışmanın amacı Uluabat Gölü'nün yüzey alanı ve kıyı çizgisi değişimini zamansal, mekânsal açıdan saptamak ve çeşitli tekniklerle farklı senaryolar kapsamında geleceğe dair öngörüler üretmektir. Çalışmada 1975-2020 arasında 5'er yıllık ile 2023 yılı ve 2022 yılındaki her aya ait birer Landsat uydu görüntüsü kullanılmıştır. Multispektral görüntüler üzerinden su indis analizleri ve eşik yöntemi ile göl yüzey alanı ve kıyı çizgisi çıkarımı yapılmıştır. Daha sonra gölde farklı değişimleri ve geleceğe dönük senaryoları üretmek için 1975-2023, 1985-2023 ve 2005-2023 dönemlerine Sayısal Kıyı Çizgisi Analiz Sisteminde (DSAS) yer alan NSM, SCE, EPR ve LLR istatistik analizleri uygulanmıştır. Dönem verileri temel alınarak Kalman Filter yöntemi ile 10 ve 20 yıllık göl yüzey alanı tahminleri 3 farklı senaryo kapsamında yapılmıştır. Uzun dönem ve aylık kıyı değişimi, DSAS analizleri, batimetri verisi ve geçiş olasılıklarıyla toplamda 8 farklı kriter, Yapay Sinir Ağları (YSA) yönteminde analiz edilmiş ve göl yüzey alanı tahminleri tekrar üretilmiştir. Bulgular, gölün yüzey alanının 1975'den 2023'e % 20 azaldığı ve güney kesimdeki deltada 3000 m'lik kıyı ilerlemesinin olduğunu göstermektedir. YSA modelinde 2023'e göre göl yüzey alanının 2033 yılında % 8, 2043 yılında ise % 13,6 küçüleceği tahmin edilmiştir.

Lakes undergo changes in terms of many characteristics due to geomorphological, hydrographic, climatological and anthropogenic factors. The aim of this study is to determine the temporal and spatial changes in the surface area and shoreline of Lake Uluabat and to produce predictions for the future under different scenarios with various techniques. In the study, Landsat satellite images were used at 5-year intervals between 1975 and 2020, and one Landsat satellite image for each month in 2023 and 2022. Water index analyses and threshold method were used to infer lake surface area and shoreline on multispectral images. Then, NSM, SCE, EPR and LLR statistical analyses in the DSAS tool were applied for the periods 1975-2023, 1985-2023 and 2005-2023 to produce different changes in the lake and future scenarios. Based on the period data, 10 and 20-year lake surface area estimates were made within the scope of 3 different scenarios with the Kalman Filter method. Long-term and monthly coastal change, DSAS analyses, bathymetry data and transition probabilities, 8 different criteria in total, were analysed in Artificial Neural Networks (ANN) method and lake surface area estimates were reproduced. The findings show that the surface area of the lake decreased by 20% from 1975 to 2023 and there is a 3000 m shore advance in the delta in the southern part. The ANN model predicts that the lake surface area will shrink by 8% in 2033 and 13.6% in 2043 compared to 2023.

## Extended Abstract

### Introduction

Many lakes in the world and Turkey have been undergoing changes in different dimensions in recent years (Li vd., 2018; Liu vd., 2019; Ataol & Onmuş, 2021; Küçük & Sarp, 2021; 2021; Sakaoğlu & Çepni, 2022). The changes that occur do not only affect the water budget of the lake, but also the surface water presence. At the same time, lakes, which are diverse in terms of flora and faunistics, are also affected ecologically. Basin-based hydrographic, edaphic, floristic changes in different origins of the lake and its immediate surroundings are also affected by these changes regionally in terms of socio-economic aspects. All these changes may cause damage to natural functioning processes, ecological elements and human activities. For this reason, the determination of temporal, spatial water surface, shoreline and vegetation changes in lakes within the scope of wetlands by using GIS and UA techniques of satellite images reveals very important data. In this study, the water surface area and shoreline change of Uluabat Lake, which is within the Ramsar wetland convention, between 1975 and 2023 were analysed and the lake surface area was modelled for 2033 (10 years) and 2043 (20 years) according to various scenarios using different methods.

### Data and Method

In this study, Landsat satellite images of 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 and 2023 were obtained to determine the surface area and shoreline of Uluabat Lake. Then, NDWI, MNDWI and WRI analyses were applied to each satellite image and water surface was extracted. Then, the same process was applied to the satellite images downloaded monthly for the year 2023. The obtained data were re-analysed in ArcGIS software, and the lake surface area data for the period and year were quantitatively examined. Shorelines were extracted with the threshold method over the lake surface area. Then, shorelines were analysed in terms of temporal and spatial change with NSM, SCE, EPR and LRR statistics in DSAS tool. In this context, the analyses were examined as 1975-2023, 1985-2023 and 2005-2023 periods. Shorelines and lake surface area for the years 2033 and 2043 were predicted within the scope of 3 different scenarios using the Beta feature and Kalman Filter model in the DSAS tool over the analysed period data. Artificial Neural Networks model was used to produce multi-criteria and more realistic predictions of lake surface area and shoreline. Annual shoreline change, monthly shorelines, bathymetry data, scenario prediction data and transition probabilities were entered into the model. The lake surface area data of Uluabat Lake for the years 2033 and 2043 were predicted by ANN analysis based on basic correlations, transition probabilities and interlayer bias data.

### Results

In different studies examining ecological changes in terms of Uluabat Lake, wetland, lake surface change, flora and phanunistics, it is stated that the water availability decreased and inorganic matter input affected the lake and wetland area. In this study, unlike the previous study, the water surface area of the lake surface area in certain periods from 1975 to 2023 was

examined and the trend analysis was found to be in the direction of decrease. While the lake surface area was 138.7 km<sup>2</sup> in 1975, it decreased by 27.9% to 110.8 km<sup>2</sup> in 2023. At the same time, the change in the lake surface area causes a change in the shoreline. The main reason for the decrease in the surface area is that the materials brought by Mustafakemalpaşa Stream, which feeds the lake, create delta, reeds and marshland on the southern shore of the lake. When factors such as the fact that the lake surface area is 1/100 of the basin area, the slope in the drainage basin, the altitude difference, the total accumulation of flow accumulation and the bathymetric condition of the lake are considered, the reasons for the decrease are revealed. According to the NSM statistics, an average of 504.4 m shore advance was determined in the 1975-2023 period, 280.3 m in the 1985-2023 period and 53.1 m in the 2005-2023 period. According to the LLR statistics, the average shoreline change was 8.6 m/year in the 1975-2023 period, 5.8 m/year in the 1985-2023 period and 2.9 m/year in the 2005-2023 period. This situation reveals that the change in the lake has decreased towards the recent past. Especially the dams built on the rivers in the basin of the lake have affected the change in siltation. In the study, it was determined that the lake experienced seasonal and monthly surface area changes during the year. In this respect, it was determined that the lake water surface area peaked in March with 125.05 km<sup>2</sup> and reached the lowest level in August with 110.9 km<sup>2</sup>.

In the study, the lake shoreline and surface area of the years 2033 and 2043 were predicted with 3 different scenarios with the Kalman Filter model based on DSAS analyses based on the periods 1975-2023, 1985-2023 and 2005-2023. Since the obtained findings are based on the trend tendency of the past data, it is predicted that the lake surface area will undergo maximum shrinkage in scenario 1, while scenario 3, which is based on recent data, predicts that more micro-scale changes will be experienced. An Artificial Neural Network model was created by using forecasts based on different temporal data, bathymetric state of the lake, shorelines, monthly-seasonal changes data and transition probabilities of all data. According to the ANN model, the lake surface area was estimated as 101.65 km<sup>2</sup> in 2033 and 95.66 km<sup>2</sup> in 2043. The data show that the water availability of the lake will continue to decrease in the near future, especially the delta and reedbed area formed by Mustafakemalpaşa Stream will continue to expand in the southern part of the lake.

### 1.Giriş

Farklı oluşum kökenlerine, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olan göller dünyanın önemli kara içi yüzeysel su varlıklarını oluşturmaktadır (Hoşgören, 2011; Woolway vd., 2020). Kendi drenaj ağı ya da dış drenaj vasıtası ile akarsularla ilişkili yapısı, floristik ve faunistik potansiyeli, antropojenik kullanımı, küresel iklim değişikliğine karşı direnç durumu açısından göller birçok değişim işleyişine sahiptir (Luo vd., 2022; Sikder vd., 2023). Göllerin atmosferik, yüzey ve yer altı hidrografik unsurlarla beslenme durumu, klimatolojik koşullar ve değişkenlikleri, havzası içerisinde diğer doğal ortam koşulları ile ilişkisi, yüzeysel su değişimlerinde rol oynayan doğal faktörlerdir (İzırak, 1990; Hoşgören, 1994; Turoğlu, 2017; Woolway vd., 2020; Zhao vd.,

2022; Riggs vd., 2023). Son yıllarda antropojenik etkenlerin doğrudan ve dolaylı olarak göllerin doğal değişim sistematığına etkisi, değişimin dinamik süreçlerinin dışına çıkmasına sebep olmaktadır (Bombino vd., 2022; Khandelwal vd., 2022). Son 50 yıllık dönemde dünyada ve Türkiye’de birçok göl farklı boyutlarda değişime uğramaktadır (Messenger vd., 2016; Altan Aydın & Doğu, 2018; Yang vd., 2022; Sikder vd., 2023). Meydana gelen bu değişimler, göllerin yüzeysel varlığına ve su bütçesine etki etmektedir. Aynı zamanda, flora ve faunistik açıdan çeşitlilik gösteren göllerin ekolojik olarak da etkilenmesine neden olmaktadır (Zuzek vd., 2003). Hidrografik, jeomorfolojik, edafik, floristik değişimlere uğrayan göl ve yakın çevreleri, bu değişimlerden sosyoekonomik açıdan da bölgesel olarak etkilenmektedir (Liu vd., 2019).

İklim değişikliği, aşırı ve plansız kullanımlar, doğal dinamik süreçler nedeniyle, dünyada Aral Gölü (Klein vd., 2014), Urmiye Gölü (Khorshiddoust vd., 2022) ve Çad Gölü’nde (Alfa vd., 2008), Türkiye’de Tuz Gölü (Aydın vd., 2020), Eğirdir Gölü, (Göncü vd., 2017), Seyfe Gölü (Yurteri & Kurttaş, 2021), Eber-Akşehir Gölleri (Bahadır, 2013; Kale, 2018), Burdur Gölü (Kaya & Kaplan, 2021; Alevkayalı vd., 2023) ve Marmara Gölü gibi göl su kaynakları yok olma tehlikesi içerisinde (Li vd., 2018; Liu vd., 2019; Ataol & Onmuş, 2021; Küçük & Sarp, 2021; Khandelwal vd., 2022; Sakaoğlu & Çepni, 2022). Bu durum, göl ve diğer su kaynakları özelinde meydana gelen değişimlerden yola çıkarak değerlendirildiğinde, değişim analizlerinin su, havza ve diğer ölçekli yönetim planlarında uygulanması gerekliliğini ortaya koymaktadır (Bombino vd., 2022). Son yıllarda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri ve yapay zekâ araçları kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışma, göllerin zamansal, alansal değişimlerini ele almaktadır (Duru, 2017; Dereli & Tercan, 2020; Albarqouni vd., 2022; Alevkayalı vd., 2023; Dinç, 2023; Kaya vd., 2023; Şenol vd., 2023). Bu kapsamda farklı çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri kullanılarak yapılan göl, baraj, gölet ve diğer su kütleleri değişim analizleri CBS ve UA tekniklerinin en çok kullanıldığı alanlardan biridir (Darwish vd., 2017; Ataol, vd., 2019; Nassar vd., 2019; Hu & Wang, 2020; Song vd., 2021; Akdeniz & İnam, 2023; Grotolli, 2023; Murray vd., 2023; Tağıl vd., 2023). Bu çalışmalar, hassas ekolojiye ve ekosistemlere sahip su kütlelerinde meydana gelen değişimlerin, geçmişten günümüze saptanmasını, mevcut problemleri konumsal bilgi açısından değerlendirerek, gelecek için faydalı verilerin ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır.

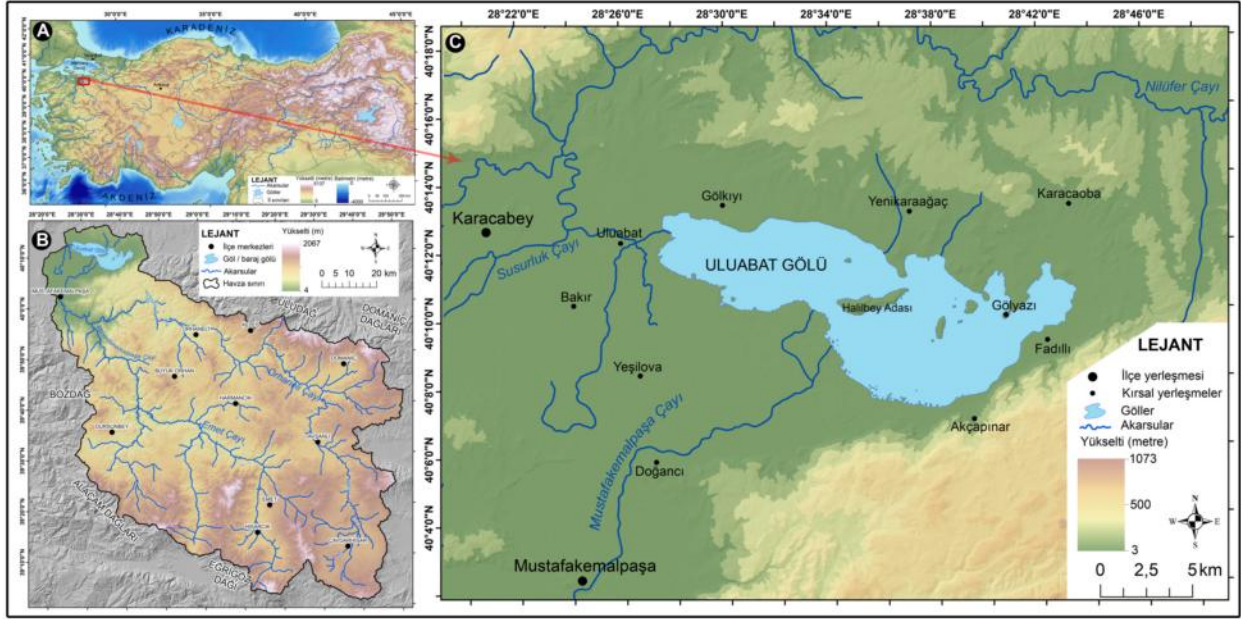
Göller, hidrografik, floristik ve ekolojik olarak sulak alan kapsamında yer alır. Bu bakımdan özellikle sığ göllerin birçoğu çok hassas yapıya sahiptir (Kuleli vd., 2011; Davidson & Finlayson, 2018). Ekosistem işleyişi, faunistik açıdan birçok canlıyı sürekli ve geçici barındırma potansiyeli, üretken ve dinamik yapısı gibi özelliklerinden dolayı, sulak alanlar doğal süreçler açısından oldukça önemli sahalardır (Maltby & Barker, 2009; Ataol & Onmuş, 2021). Sulak alan koruması açısından öncelikli kriterleri belirleyen Ramsar sözleşmesine göre, Türkiye’de uluslararası öneme sahip sulak alan, 200’e yakın bir sayıdadır. Ancak, bu sözleşme kapsamında 14’ü koruma altındadır. Son yıllarda, iklim değişikliği, kuraklık, yanlış ve plansız su kullanımı nedeniyle, sulak alanların bir kısmında hidrografik, jeomorfolojik, floristik ve faunistik sorunların oluştuğu tespit edilmiştir (Sakaoğlu & Çepni, 2022). Özellikle sığ yüzeysel sularda azot, fosfor ve inorganik madde yüklerinin artması mikrobiyal çoğalmanın

yanı sıra ötrofikasyonu da etkilemektedir (Davidson & Finlayson, 2018). Mikrobiyal değişimlerle oluşan alg ve diğer su bitkilerinin artışı, su seviyesi, bütçesi ve kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır (Elmacı vd., 2010). Sonuç olarak, meydana gelen tüm bu değişimler, doğal işleyiş süreçleri, ekolojik unsurları ve beşeri faaliyetleri olumsuz yönde etkileyecektir. Bu nedenle, CBS ve UA tekniklerinden faydalanarak uydu görüntüleri üzerinden sulak alan kapsamındaki göllerde zamansal, alansal su yüzeyi, kıyı çizgisi ve vejetasyon değişimi belirlenerek önemli sonuçlar elde edilmektedir (Aksoy vd., 2019). Geçmişten günümüze elde edilen bulguların farklı tekniklerle gelecek açısından modellenmesi ise göl, su, sulak alan koruma ve yönetimi kapsamında yol gösterici bulgular sunmaktadır. Bu çalışmada, Ramsar sulak alan sözleşmesi içerisinde bulunan Uluabat Gölü’nün, 1975-2023 yılları arasındaki su yüzey alanı ve kıyı çizgisi değişiminin analiz edilmesi, farklı yöntemler kullanılarak oluşturulan senaryolarla, 2033 (10 yıllık) ve 2043 (20 yıllık) yılları için göl yüzey alanının modellenmesi amaçlanmıştır.

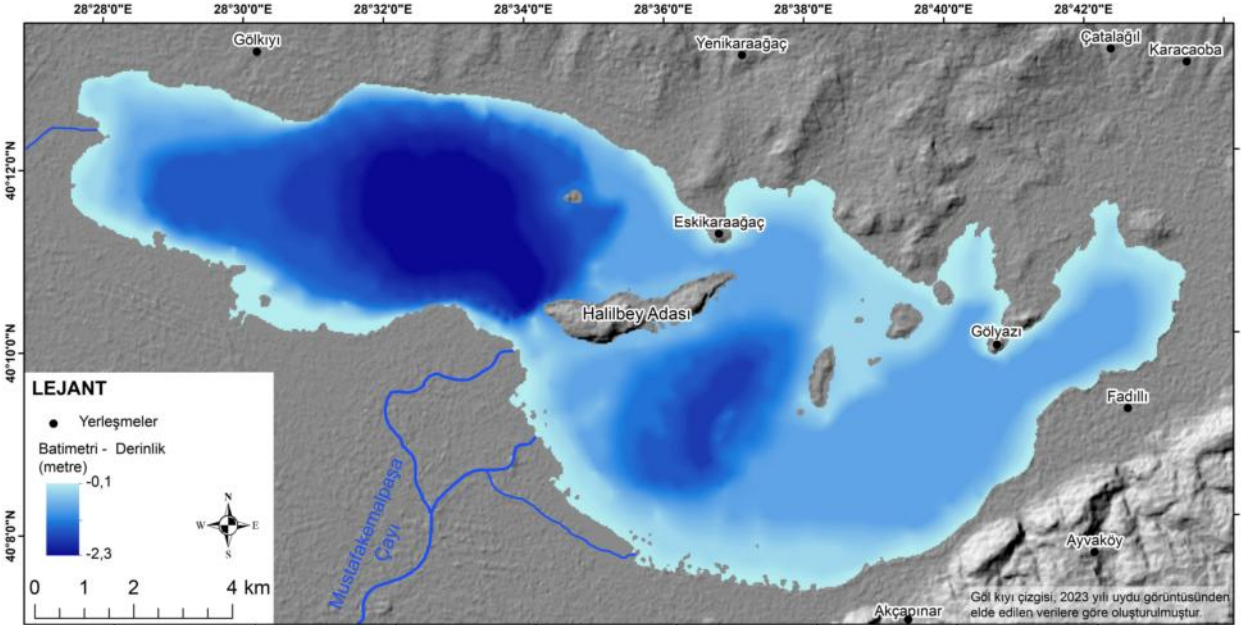
### 1.1. Çalışma Alanı

Çalışma sahasını oluşturan Uluabat Gölü, Türkiye’nin batısında, Marmara Bölgesi’nin güney kesiminde, Karacabey depresyonu içerisinde, Bursa ili sınırları dahilinde yer almaktadır. Gölün doğusunda Uludağ kütlesi ve uzantısındaki muhtelif yükseltiler, Bursa Ovası eşiği, batısında Susurluk Havzası, Karacabey Ovası ve Manyas Gölü, güneyinde Mustafakemalpaşa Çayı, Emet Çayı ve Orhaneli Çayı havzaları, kuzeyinde Nilüfer Çayı havzası yer almaktadır. Göl belirtilen konumlar dahilinde coğrafi koordinat sistemine göre 40°7’0”–40°14’0”kuzey enlemleri ile 28°27’0”–28°45’0” doğu boylamları arasında bulunmaktadır (Şekil 1). Göl alanı, sazlık, bataklık sahalardan oluşan sulak alan sahası ile birlikte tektonik oluşumlu olarak meydana gelmiş Karacabey depresyonunun doğu kanadı tabanına yerleşmiştir (Mater vd., 2003). Gölün 2023 yılı uydu görüntülerinden elde edilen verilerine göre yüzey alanı 110,8 km<sup>2</sup>, gölün KB-GD doğrultusundaki maksimum genişliği 20,5 km, GB-KD uzanımlı genişliği ise 9,4 km’dir. Uluabat Gölü’nün deniz seviyesinden yüksekliği 3 m’dir. Gölü besleyen temel hidrografik unsur Mustafakemalpaşa Çayı iken gölün gideğeni kuzeybatı kesiminde Uluabat Çayı vasıtasıyla Susurluk Çayı’dır (Şekil 1). Gölün drenaj alanı 10.623 km<sup>2</sup> olup, gölün derinliği meteorik su varlığı ve diğer hidrografik unsurların değişkenliğine göre yıl içerisinde 1 – 3 m arasındadır (Şekil 2).

Uluabat Gölü’nün oluşumu tektonik olarak meydana gelen çö-küntü depresyonu ile alakalıdır (Hoşgören, 1994; Turoğlu vd., 2002). Bu noktada Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonunun, Marmara Bölgesi’nde meydana getirdiği 3 kollu çö-küntü ovalarının güneyindeki Karacabey depresyon tabanında yer alır (Mater vd., 2003). Oluşum kökenine göre göl, tektonik köken kapsamında sınıflandırılmaktadır (Hoşgören, 1994). Bazı araştırmacılara göre, Marmara Denizi güney drenaj havzasını oluşturan Kocasu Çayı ve kollarının taşıdığı alüvyonların, belirtilen tektonik kökenli depresyonunun doğu yakasında sedde oluşturmasıyla meydana gelmiş bir göl olarak tanımlanmaktadır (Kazancı & Görür, 1997; Kazancı vd., 1998). Belirtilen oluşum varsayımında, bölgeyi etkileyen neo-tektonik hareketlerin yanı sıra meydana gelen kaide seviyeleri ile flüvyal süreçlerin etkisinin temel rol oynadığı üzerinde durulmaktadır (Kazancı vd., 1998). Tüm bu açıklamalar altında, Uluabat Gölü, tektonik kökenli dep-



Şekil 1. A) Çalışma alanının Türkiye'deki konumu, B) Uluabat Gölü Havzası C), Uluabat Gölü çevresinin topografya haritası.  
Figure 1. A) Location of the study area in Turkey, B) Basin of Uluabat Lake, C) Topographic map of Uluabat Lake its surroundings.



Şekil 2. Uluabat Gölü'nün batimetri-derinlik haritası (DSİ ve Aksoy vd., 2016'nın çalışmasından faydalanılarak üretilmiştir).  
Figure 2. Bathymetry-depth map of Uluabat Lake

resyonda meydana gelmiş alüvyal set gölü olarak nitelendirilse de genel kabul gören yaklaşım, gölün tektonik kökenli olmasıdır (Hoşgören, 1994; Mater vd., 2003).

Uluabat Gölü, güney-güneydoğusundan kuzeye doğru akış gösteren Orhaneli Çayı ve Emet Çayı'nın birleşmesiyle meydana gelmiş Mustafakemalpaşa Çayı ile beslenmektedir. Uluabat Gölü, akarsu beslenme havzasının yaklaşık 1/100 kadar bir büyüklüğe sahiptir. Bu durum gölü besleyen akarsuların akış, akım ve sediment taşıma ile havzanın eğim durumu düşünüldüğünde gölde birikim alanlarının, sazlık-bataklık sahalarının olması ve geçmişten günümüze değişim durumu açısından öncü bilgiler sunmaktadır (Tağil, 2007). Göl kıyılarının büyük bölümü sazlık, bataklık alanlarla kaplı olup hidrofite bitkilerin yoğun olduğu ekosistem varlığı mevcuttur (Salihoğlu & Karaer, 2004). Gölde, alansal olarak en geniş ada Halilbey Adası olup toplam 8 ada

bulunmaktadır. Göl kıyıları ve yakın çevresinde temel arazi kullanımını tarımsal faaliyetler oluşturmaktadır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Araştırmanın temel veri kaynaklarını, Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) alınan 1:25.000 ölçekli topografya paftaları ve Tablo 1'de özellikleri belirtilen Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'ndan (United States Geological Survey, USGS) temin edilen Landsat uydu görüntüleri oluşturmaktadır (Tablo 1). Ayrıca, saha ve konu kapsamındaki bulgular ve arazi çalışmalarından elde edilen veriler araştırma kapsamında kullanılan diğer veri kaynakları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, tüm analizler ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve özellikleri.**Table 1.** Satellite images used in the study and their characteristics.

Tarih	Uydu ve Sensör	Çözünürlük (DPI)	Bulutluluk (%)	Tarih	Uydu ve Sensör	Çözünürlük (DPI)	Bulutluluk (%)
18.06.1975	Landsat 2-MSS	90	6	7.01.2022	Landsat 9-OLI-TIRS	30	12,94
09.07.1980	Landsat 2-MSS	60	0	5.02.2022	Landsat 9-OLI-TIRS	30	3,71
1.07.1985	Landsat 5-TM	30	0	25.03.2022	Landsat 9-OLI-TIRS	30	9,29
31.07.1990	Landsat 5-TM	30	0	10.04.2022	Landsat 9-OLI-TIRS	30	3,45
29.07.1995	Landsat 5-TM	30	0	12.05.2022	Landsat 9-OLI-TIRS	30	0,24
2.07.2000	Landsat 7-ETM	30	0	5.06.2022	Landsat 8-OLI-TIRS	30	0,58
8.07.2005	Landsat 7-ETM	30	1	23.07.2022	Landsat 8-OLI-TIRS	30	0,17
23.08.2010	Landsat 7-ETM	30	4	16.08.2022	Landsat 9-OLI-TIRS	30	0,95
20.07.2015	Landsat 8 OLI-TIRS	30	0,29	9.09.2022	Landsat 8-OLI-TIRS	30	0,12
1.07.2020	Landsat 8 OLI-TIRS	30	0,07	3.10.2022	Landsat 9-OLI-TIRS	30	3,57
23.07.2023	Landsat 9 OLI-TIRS	30	0	11.11.2022	Landsat 9-OLI-TIRS	30	1,77
				22.12.2022	Landsat 9-OLI-TIRS	30	0,85

Çalışmada ilk olarak, topografya haritalarından Uluabat Gölü ve yakın çevresine ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve drenaj ağı üretilmiştir. Çalışmanın analizler aşamasında kullanılacak olan Landsat uydu görüntüleri bazıları üzerinde ön işleme ve görüntü düzeltme işlemleri kapsamında, ortorektifleştirilme ve geometrik düzeltme yapılmıştır. İndeks analizlerinde kullanılacak olan uydu görüntülerinin sayısal değerleri (Digital Number, DN) ve yansıma değerleri düzeltilerek, radyometrik açıdan kullanıma uygun hale getirilmiştir. Daha sonra 1975, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 ve 2023 yıllarına ait ve 2022 yılı içerisindeki her ay için belirlenen multispektral uydu görüntülerine su indisleri uygulanmıştır (Hakkou vd., 2018). Çalışmada kullanılan indisleri, Normalize Su Farkı İndeksi (Normalized Difference Water Index-NDWI), Modifiye Edilmiş Normalize Su Farkı İndeksi (Modifiye Normalized Difference Water Index-MNDWI) ve Su Oranı İndeksi (Water Rate Index-WRI) oluşturmaktadır. İndis analizlerinde aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$NDWI = \frac{(P_{green} - NIR)}{(P_{green} + NIR)} \quad MNDWI = \frac{(P_{green} - P_{SWIR2})}{(P_{green} + P_{SWIR2})} \quad WRI = \frac{(P_{green} + P_{red})}{(P_{NIR} + P_{SWIR2})}$$

Formüllerde geçen bant 3, yeşil ( $P_{green}$ ); bant 4, kırmızı ( $P_{red}$ ); bant 5, yakın kızılötesi (NIR) ve bant 7, ikinci kısa dalga kızılötesi ( $P_{SWIR2}$ ) verilerini ifade etmektedir (Tucker, 1979; Gao, 1996; McFeeters, 1996; Xu, 2006; Shen & Li, 2010). Çalışmada Landsat 2 ve 5'e NDWI, Landsat 7, 8, 9'a NDWI, MDWI ve WRI indeks analizleri uygulanmıştır (Yılmaz, 2023). NDWI, MDWI ve WRI değerleri, 1 ile -1 arasında değişmektedir. Çalışmada, 0,01 ve daha fazla değer içeren alanlar, su yüzeyi olarak kabul edilmiş ve eşik analizi (threshold) ile su yüzeyi ve kıyı çizgisi çıkarımı otomatik olarak yapılmıştır (Singh vd., 2015; Hossain vd., 2021). Otomatik olarak uygulanan eşik analizinde ikili eşikleme işlemi uygulanmaktadır. İkili eşikleme işleminde kıyı şeridi piksellerinden uzakta birkaç izole piksel oluşturulmakta, dağınık ve izole edilmiş pikselleri ayırtmak için bu pikselleri en yaygın komşu

sınıfla filtreleme uygulaması yapılmaktadır (Pardo-Pascual vd., 2012). Otomatik olarak çıkarımı yapılan raster veriler, vektör veriye dönüştürülerek alansal (göl yüzeyi) ve çizgisel (kıyı çizgisi) datarlar oluşturulmuştur.

İndis analizleri, ardışık dönemler için belirlenen yıllardaki uydu görüntülerine ve yıllık değişimin saptanması için 2022 yılı kapsamında aylık veri ortaya koyan uydu görüntülerine uygulanmıştır. Birbirini takip eden dönemler arasında meydana gelen kıyı değişiminin alansal analizi, ArcGIS Geoprocessing-Union aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, dönemsel göl kıyısı erozyon ve birikim sahaları tespit edilmiştir.

Uluabat Gölü yüzey alanının geleceğe dönük modellenmesi, geçmiş verilerin dönemsel olarak incelenmesini gerektirir. Bu sebeple, göl kıyılarındaki farklı değişimleri ortaya koymak için 1975-2023, 1985-2023 ve 2005-2023 dönemleri temel alınmıştır. Belirlenen dönemlerdeki kıyı çizgileri, ArcGIS yazılımında eklenti olarak kullanılan Sayısal Kıyı Çizgisi Analizi Sistemi (Digital Shoreline Analysis System, DSAS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Lazuardi vd., 2022). Belirlenen dönemlerde kıyı çizgilerinin zamansal, mekânsal ve kantitatif değişimleri için ortak temel çizgi (Baseline) belirlenmiş, trancets aralığı 30 m olacak şekilde düzenlenmiştir. DSAS'da yer alan, Kıyı Çizgisi Değişim Limiti (Shoreline Change Envelope, SCE), Net Kıyı Çizgisi Hareketi (Net Shoreline Movement, NSM), Son Nokta Oranı (End Point Rate, EPR) ve Doğrusal Regresyon Oranı (Linear Regression Rate, LRR) istatistik analizleri uygulanmıştır.

NSM, eski ve güncel kıyı çizgilerinin temel çizgi üzerinden mesafesini ölçerek analiz etmektedir (Himmelstoss vd., 2018; Kılar ve Çiçek, 2018). SCE, belirli bir ölçüm hattı üzerinden, incelenen bütün kıyı çizgileri arasındaki en büyük değişim mesafesini hesaplamaktadır (Himmelstoss vd., 2018; Kazı ve Karabulut, 2023). İki kıyı şeridi arasındaki toplam mesafenin işareti zaman-

sal olarak belirsiz olduğundan, SCE değeri her zaman pozitifdir. EPR, incelenen zaman ve kıyasal mekânda, eski ve yeni kıyı çizgisi değişim mesafesinin, incelenen zaman periyoduna bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Öztürk ve Uzun, 2023). EPR sonuçları, kıyı çizgisi değişiminin yıllık mesafesini, metre cinsinden vermektedir (Himmelstoss vd., 2021). Son olarak LRR, incelenen kıyı şeridinde ve zamanında, belli bir ölçüm profil hattındaki bütün kıyı şeritlerinin zamana bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Himmelstoss vd., 2018). LRR, doğrusal bir trend oraya koymakta ve belirsizlik değerini ele alarak kıyı çizgisi değişimindeki hatayı en aza indirerek hesaplama yapmaktadır (Kale vd., 2019).

Uluabat Gölü yüzey alanının modellenmesi için geçmiş dönemli kıyı çizgisi değişimlerinin ölçülmesi, DSAS'daki Beta özelliğinde yer alan Kalman Filter Modeli kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada, 1975-2023 yılları arasındaki göl yüzey ve kıyı değişimleri temel alınarak, senaryo 1, 1985-2023 yılları arasındaki değişimler temel alınarak, senaryo 2 ve 2005-2023 yılları temel alınarak, senaryo 3 oluşturulmuş ve bu senaryolardan 2033 (10 yıllık) ve 2043 (20 yıllık) yılları tahminleri üretilmiştir. Çalışmada, 3 döneme ait senaryoların oluşturulmasının nedeni, göl kıyısındaki uzun dönemli yoğun birikim, ötrafikasyon ve sedimentasyona dayalı değişimin geleceğe dönük yansımalarının tahmin edilmesidir. Ayrıca yakın dönemde göl kıyı değişimindeki durağanlaşmanın ve göl havzası içerisindeki hidrografik unsurlara antropojenik müdahalelerin geleceğe dönük etkisinin tahmin edilmesinde diğer nedenleri oluşturur.

Gelecek tahminlerinde kullanılan DSAS V5.1-Beta özelliği içerisindeki Kalman Filter Model analizi, geçmiş dönemli kıyı çizgileri temel alınarak uygulanmaktadır. Model, ilk incelenen kıyı çizgisi ile başlar, daha sonra her bir kıyı şeridi kesişiminin analizini mekânsal ve kantitatif yaparak geleceğe dönük öngörüler ortaya koyar (Himmelstoss vd., 2018). Model, farklı zamanlara ait her kıyı şeridi için uygulanmakta, gözlemlenen kıyı şeridi konumları arasındaki hatayı en aza indirerek, LRR verisini temel alır ve zamansal değişimlerin verilerine göre modelleme yapmaktadır (Long & Plant, 2012; Palanisamy vd., 2024).

Gelecek kıyı çizgisi tahmini ve yüzey alanı tahminlerini ortaya koyan DSAS-Kalman Filter Modelinin önemli avantajları olmasına rağmen, deniz ya da göl kıyıların çok değişkenli yapısı, boyutsal, zamansal ve mekânsal olarak değişim hızının herhangi bir jeomorfolojik ya da antropojenik süreçte yeniden tanzim edilme ya da etkilenme ihtimalini modelleyebilmede % 100 başarılı değildir. Bu nedenle çalışmada, göl kıyı değişimini etkileyebilecek doğal ve beşerî faktörler belirlenmiş, aralarındaki korelasyon hesaplanmış ve Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network, YSA) modeli kullanılarak 2033 ve 2043 yıllarına ait göl yüzey alanı ve kıyı çizgileri öngörülerini tekrar üretilmiştir.

YSA'da, insanın nörolojik işlevişi ve öğrenmesi temel alınarak geliştirilen yapay öğrenme, girdi ve çıktılarının işlenmesi, etkileşimlerinin derecelendirilmesi, bağlantısal yapıların tekrar ve istatistiksel komut verilmesiyle sağlanmaktadır (Lippman, 1987). Kısaca, matematiksel modellerle insan beynini taklit ederek, doğal ortamı simüle eden yapay zekâ tabanlı bir yöntemdir (Kohonen, 1988; Livingstone, 2009). YSA, esnek ve parametrik olmayan modelleme aracı olarak

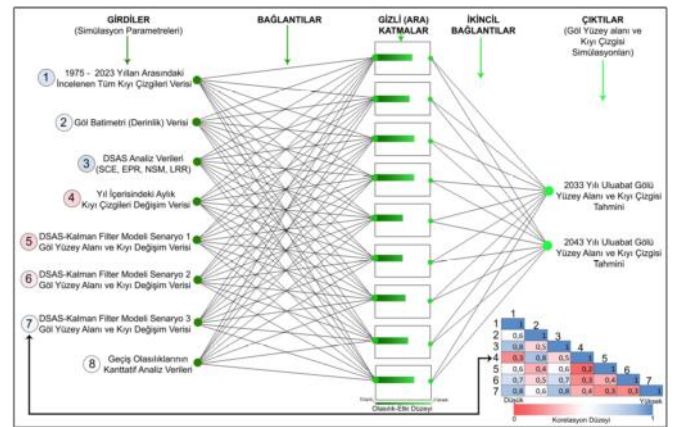
nitelendirilebilmektedir (Tang & Chi, 2005). Bir YSA yapısı, girdi katmanı, bağlantılar, ara katmanlar ve çıktı katmanından oluşmaktadır (Şekil 3). Nöronları yansıtan girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı birbirlerine hiyerarşik bir biçimde bağlanmaktadır. Farklı özellik ve alt kategorilere sahip giriş katmanındaki bilgiler, bağlantılar vasıtasıyla bir öğrenme kuralı ile gizli katmana iletilir. Gizli katmanda kantitatif olarak işlenen veriler, toplama fonksiyonundan sonra bağlantısal yapılarla eğitilir ve istenilen model sonucu çıktı katmanında ortaya konur (Livingstone, 2009).

Bu çalışmada ileri beslemeli YSA modeli kullanılmıştır. Modelin girdi verileri 8 ana ve 61 alt kriterden oluşmaktadır. Uluabat Gölü'nün 2033 ve 2043 yılına ait göl yüzey alanı ve kıyı çizgisi tahmin modelinin girdileri Şekil 3'te gösterilmiştir. Modeldeki geçiş olasılıkları, girdi verilerinin ana ve alt kriterleri üzerinden korelasyon analizi ile hesaplanmıştır. Elde edilen korelasyon katsayıları, YSA'daki geçiş olasılıkları verisinde kullanılmıştır (Şekil 3). YSA'da DSAS öngörülerini, kıyı çizgisi dönemlik ve aylık verileri ile diğer doğal unsurlar arasındaki ilişki bağlantılar vasıtasıyla ortaya konmuş, gizli katmada kantitatif olarak işlenmiş eğitilmiş ve bütün etken faktörlerle model iki farklı yıla ait sonuç (çıkıtı) ortaya koymuştur.

YSA'da toplam fonksiyonu, girdi ağırlıklarını, etkisini ve bir hücredeki net girdiyi hesaplamaktadır. Formül aşağıda verilmiştir. Buna göre;

$$NET = \sum_{i=1}^n W_{ij}X_i + B \quad yi = f(NET) = \frac{1}{1 + e^{-net}}$$

NET, hücredeki toplanan net girdinin tümünü;  $n$ , bir hücreye gelen toplam girdi sayısını;  $X_i$ , sinir hücresi girdi değerini;  $W_{ij}$ , ağırlık katsayılarını ve  $B$ , eşik değerini ifade eder (Livingstone, 2009). Çalışmadaki YSA içerisinde aktivasyon fonksiyonu ise toplam fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek hücre ve tahmin durumunu belirlemektedir. Bu işlemde yukarıda belirtilen  $f(NET)$  formülü kullanılmaktadır (Livingstone, 2009).



Şekil 3. Göl yüzey alanı ve kıyı çizgisinin gelecek tahmini için kullanılan Yapay Sinir Ağları modeli ve kriterlerin korelasyon matrisi.

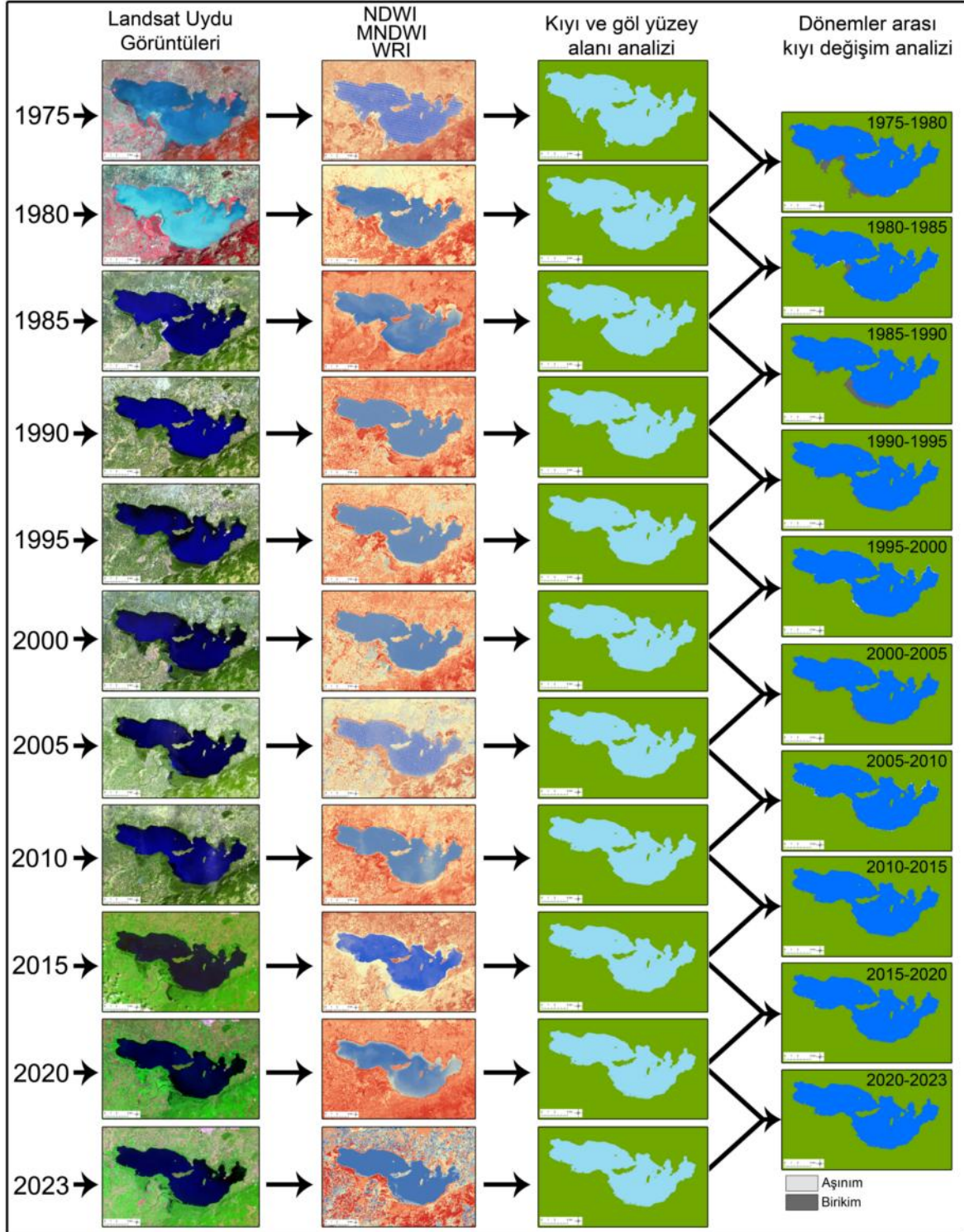
Figure 3. Artificial Neural Network model used for future prediction of lake surface area and shoreline and correlation matrix of criteria.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Uluabat Gölü'nün 1975-2023 Yılları Arasındaki Yüzey Alanı Değişimi

Uluabat Gölü'nün 1975-2023 yılları arasında belirlenen tarihlerde, çok bantlı Landsat uydu görüntülerinden elde edilen bulgulara göre, su yüzey alanı 1975 yılında 138,7 km<sup>2</sup> iken 2023 yılında 110,8 km<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir (Şekil 4 ve 5). Analiz verileri, 1975 yılından 2023 yılına kadar küçük artış dönemleri dışında su yüzey alanının azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir (Şekil 5 ve Tablo 2). Dönemler arası göl yüzey alanının değişim durumu incelendiğinde, en geniş alanlı değişimin

1975-1980 yılları arasında olduğu dikkat çekicidir (Şekil 6 ve Tablo 2). Göl yüzey alanında 1995-2000 ve 2005-2010 dönemlerinde dar alanlı olarak göl yüzey alanının genişlediği, diğer tüm dönemlerde ise azalma trendinin olduğu saptanmıştır (Şekil 5 ve 6). Son yıllarda, göl yüzeyi değişim miktarı dönemsel olarak % 1'e kadar inmiştir. Bu durum, Uluabat Gölü sulak alan yapısında gözlemlenen doğal limnolojik süreçler, sedimentasyon, ötrofikasyon olayları ile alakalıdır. Ancak, son yıllarda gölün drenaj havzasında yaşanan antropojenik müdahaleler, gölü besleyen su kaynaklarını etkilemiş ve gölün seviye değişimlerinde son 20 yıl durağanlaşma belirtileri gözlemlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Uluabat Gölü'nün Landsat uydu görüntüleri, indis analizleri, göl yüzey alanı ve dönemler arasındaki birikim ve aşınım sahaları.

Figure 4. Landsat satellite images of Uluabat Lake, index analyses, lake surface area and accumulation and erosion areas between periods.



Uluabat Gölü yüzey alanında ve kıyı çizgisinde 1975-2023 yılları arasındaki periyotlarda meydana gelen değişimler göl kıyısında aşınım ve birikim sahalarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Gölün limnolojik, batimetrik, göl havzasının jeomorfolojik, hidrografik ve floristik özellikleri ile gölün sulak alan yapısı, göl kıyılarında ötrafikasyona, fitoplankton gelişimine ve daha sonra floristik açıdan sazlık bataklık gelişimine oldukça elverişlidir. Bu durumun yanında gölü besleyen Mustafakemalpaşa Çayı'nın materyal taşınımı özellikle gölün güneyinde delta genişlemesine ve bu sahada yoğun bir sazlık alan oluşmasına neden olmuştur (Şekil 4).

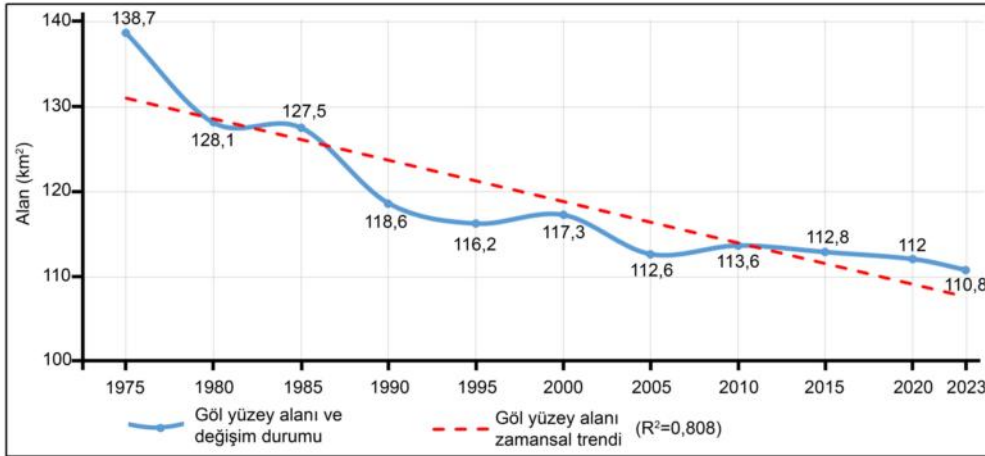
Dönemsel olarak göl kıyısında meydana gelen değişim incelendiğinde, sadece 1995-2000 ile 2005-2010 dönemlerinde kıyı aşınımı kıyı birikiminden fazla meydana gelmiştir. Diğer tüm dönemlerde kıyılarda meydana gelen değişimin büyük çoğunluğu kıyı birikimi şeklinde olmuştur (Şekil 6 ve Tablo 2). Bu durum sulak alan yapısındaki Uluabat Gölü'nün doğal dinamik süreçlerinin etkisinde olduğunu göstermektedir. 1975-1980 arasında Uluabat Gölü'nün özellikle güney-güneybatı kıyılarında 10 km<sup>2</sup>'den fazla kıyı birikimi meydana gelmiştir. (Şekil 4). 2005 yılında sonra göl kıyılarındaki birikim alanları dönemler arasında daima 1 km<sup>2</sup>'den daha az alanda gerçekleşmiştir (Şekil 6 ve Tablo 2). Göl kıyılarında meydana gelen kıyı birikimi sahaları

sucul ekosistemin ürünü olarak sazlık-bataklık alan özelliği taşımaktadır.

### 3.2. Uluabat Gölü Kıyı Çizgisi Değişimlerinin DSAS Aracı ile Analizi

Uluabat Gölü yüzey alanı değişimi aynı zamanda kıyı çizgisi ve kıyıdaki jeomorfolojik görünümünde değişmesine neden olmaktadır (Şekil 7). Meydana gelen kıyı çizgisi değişimleri dönemsel olarak 1975-2023, 1985-2023 ve 2005-2005 yılları arasında DSAS aracında yer alan istatistiklerle analiz edilmiştir (Şekil 8).

Uluabat Gölü'nün 1975-2023 yılları arasında çalışmada incelenen tarihlerdeki kıyı çizgileri üzerinden NSM, SCE, EPR ve LLR istatistikleri ile kıyı değişimi değerlendirilmiştir. NSM analizine göre, 1975-2023 yılları arasında Uluabat Gölü kıyı çizgisi ortalama 504,04 m, maksimum 3341,6 m ve minimum -870,9 m değişime uğramıştır (Tablo 3). Aynı dönemde SCE istatistiğine göre, kıyı çizgisinin ortalama 518,9 m, maksimum 3354 m ve minimum 10 m değişim olduğu saptanmıştır. EPR istatistiğine göre, Uluabat Gölü'nün kıyı çizgisinde ortalama 10,4 m/yıl, maksimum 69,4 m/yıl ve minimum -18,1 m/yıl değişim olduğu tespit edilmiştir. Uluabat Gölü'nün LLR analizine göre, kıyı çiz-



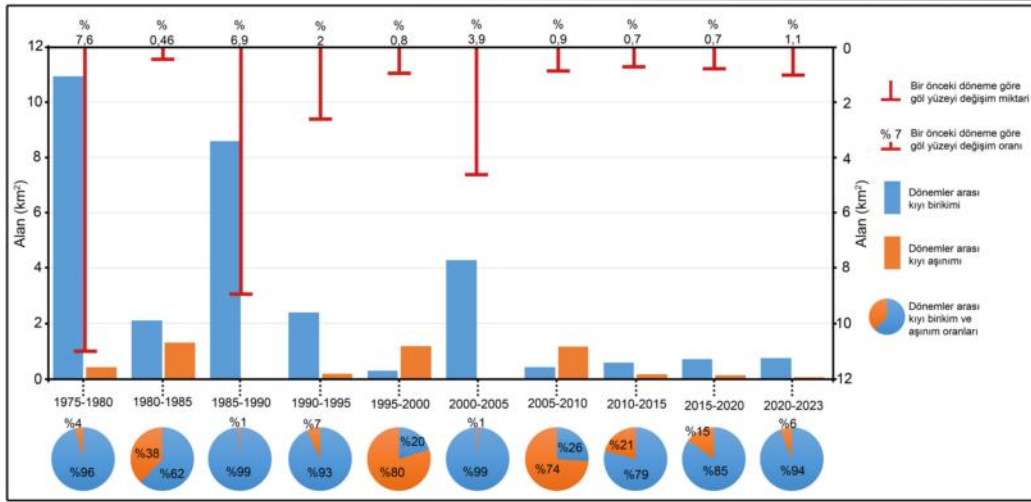
Şekil 5. Uluabat Gölü'nün 1975-2023 yılları arasındaki göl yüzey alanı verileri ve eğilimi.

Figure 5. Lake Uluabat lake surface area data and trends between 1975 and 2023.

Tablo 2. Uluabat Gölü 1975-2023 yılları arasındaki dönemlerde göl yüzeyi ve kıyı değişimlerinin sayısal verileri.

Table 2. Numerical data of lake surface and shore changes in Uluabat Lake for the periods between 1975 and 2023.

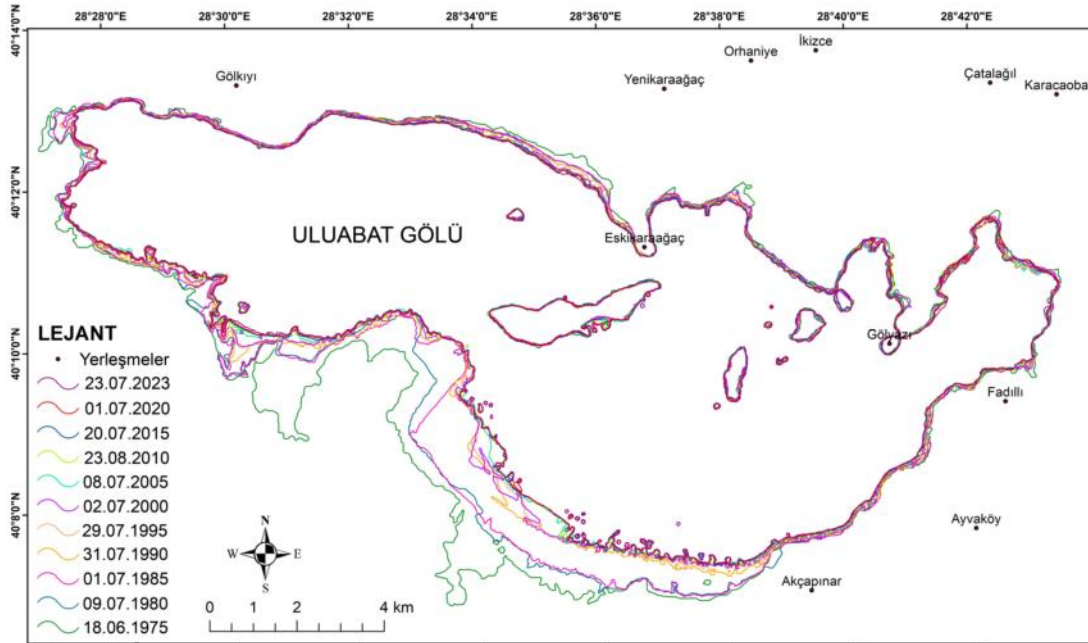
Dönemler	Dönemler arası göl yüzeyi değişimi (km <sup>2</sup> )	Göl yüzey alanı değişim durumu	Göl yüzey alanı değişim oranı (%)	Dönemler arası kıyı birikimi alanı (km <sup>2</sup> )	Dönemler arası kıyı erozyonu alanı (km <sup>2</sup> )	Dönemler arası kıyı birikimi oranı (%)	Dönemler arası kıyı erozyonu oranı (%)
1975-1980	10,542	Azalma	7,6	10,92	0,42	96	4
1980-1985	0,596	Azalma	0,46	2,1	1,31	62	38
1985-1990	8,911	Azalma	6,9	8,58	0,02	99	1
1990-1995	2,396	Azalma	2	2,38	0,18	93	7
1995-2000	1,025	Artış	0,8	0,29	1,18	20	80
2000-2005	4,635	Azalma	3,9	4,28	0,01	99	1
2005-2010	1,016	Artış	0,9	0,41	1,16	26	74
2010-2015	0,774	Azalma	0,7	0,58	0,15	79	21
2015-2020	0,819	Azalma	0,7	0,71	0,12	85	15
2020-2023	1,271	Azalma	1,1	0,73	0,04	94	6



Şekil 6. Uluabat Gölü'nün periyodik dönemler arasındaki değişim verilerin kantitatif değerleri.  
Figure 6. Quantitative values of change data of Uluabat Lake between periodic periods.

gisinde ortalama 8,6 m/yıl, maksimum 52,5 m/yıl ve minimum -6 m/yıl değişim verisi saptanmıştır (Tablo 3). Uluabat Gölü'nün 1975-2023 yılları arasındaki dönemlerde DSAS aracındaki tüm istatistiksel analiz verilerinin mekânsal dağılışı incelendiğinde, kıyı çizgisi değişiminin en yoğun olarak gölün güney-güneybatı kıyılarında yaşandığı gözlemlenmektedir (Şekil 8). Özellikle gölün en önemli hidrografik girdisini sağlayan Mustafakemalpaşa Çayı'nın getirdiği materyaller, 48 yıllık dönemde delta ge-

nişlemesine, sazlık ve bataklık alanların oluşmasına ve kıyı ilerlemesinin meydana gelmesine neden olmuştur. Delta alanının genişlemesi kıyıda 3000 metrenin üzerinde kıyı ilerlemesinin yaşanmasına ve göl yüzey alanının ötrafikasyon ve sedimentasyona uğradığını göstermektedir. 1975-2023 arası dönemde gölün kuzey kıyılarında ilerlemenin çok düşük seviyede kaldığı, muhtelif lokasyonlarda ise kıyı gerilemesinin olduğu saptanmıştır.



Şekil 7. Uluabat Gölü'nün incelenen yıllardaki kıyı çizgileri.  
Figure 7. Shorelines of Uluabat Lake in the years analysed.

Tablo 3. Uluabat Gölü kıyı çizgisi değişiminin NSM, SCE, EPR ve LRR analiz sonuçları (1975-2023).  
Table 3. Results of NSM, SCE, EPR and LRR analyses of Lake Uluabat shoreline change (1975-2023).

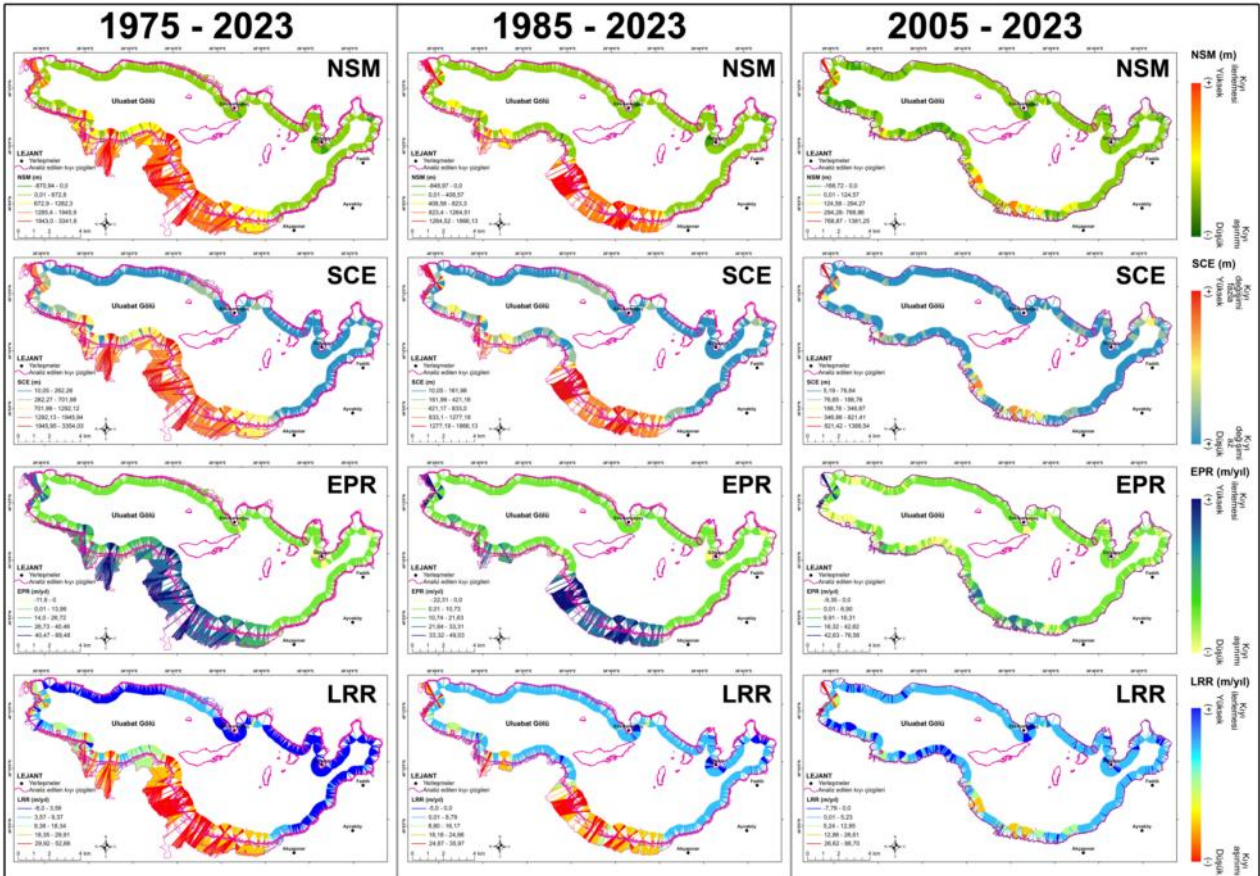
	NSM (m)			SCE (m)		
	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum
1975-2023	504,04	3341,6	-870,9	518,9	3354	10
1985-2023	280,2	1866,1	-848,9	300,5	1866,1	10
2005-2023	53,1	1381,2	-168,7	80,3	1388,5	5,1
	EPR (m/yıl)			LRR (m/yıl)		
	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum
1975-2023	10,4	69,4	-18,1	8,6	52,6	-6
1985-2023	7,3	49,1	-22,3	5,8	35,9	-5
2005-2023	2,9	76,5	-9,3	2,9	88,7	-7,7

3985-2023 yılları arasında, Uluabat Gölü kıyı çizgisinin NSM istatistiğine göre, ortalama 280,2 m, maksimum 1866,1 m ve minimum -848,9 m değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 3). SCE istatistiğine göre, Uluabat Gölü kıyı çizgisinin ortalama 300,5 m, maksimum 1866,1 m ve minimum 10 m değişim gösterdiği saptanmıştır. EPR istatistiğine göre, Uluabat Gölü'nün kıyı çizgisinde ortalama 7,3 m/yıl, maksimum 49,1 m/yıl ve minimum -22,3 m/yıl değişim olduğu tespit edilmiştir. LRR analizine göre, kıyı çizgisinde ortalama 5,8 m/yıl, maksimum 35,9 m/yıl ve minimum -5 m/yıl değişim verisi saptanmıştır (Tablo 3). Uluabat Gölü'nün 1985-2023 yılları arasındaki dönemde DSAS aracındaki tüm istatistiksel analiz verilerinin mekânsal dağılışı incelendiğinde, Mustafakemalpaşa Çayı ile doğusundaki Akçapınar arasında kıyı çizgisi ilerlemesinin meydana geldiği görülmektedir (Şekil 8). Belirtilen sahada sazlık-bataklık oluşumu gerçekleşmiş ve göl yüzey alanı daralmıştır. Ayrıca Mustafakemalpaşa Çayı deltasının batısı ile gölün gideğeni konumdaki sahada kıyı ilerlemesi yaşanmıştır. Gölün kuzey kıyılarında değişim boyutu 0,1-400 m arasında kıyı ilerlemesi şeklinde olduğu saptanmıştır.

2005-2023 döneminde Uluabat Gölü kıyı çizgisinin NSM istatistiğine göre, ortalama 53,1 m, maksimum 1381,2 m ve minimum -168,7 m değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 3). SCE istatistiğine göre, Uluabat Gölü kıyı çizgisinin ortalama 80,3 m, maksimum 1385,5 m ve minimum 5,1 m değişim gösterdiği saptanmıştır. EPR istatistiğine göre, Uluabat Gölü'nün kıyı çizgisinde ortalama 2,9 m/yıl, maksimum 76,5 m/yıl ve minimum -9,3 m/yıl değişim olduğu tespit edilmiştir. Uluabat Gölü'nün kıyı çizgisinde LRR analizine göre, ortalama 2,9 m/yıl, maksimum 88,7 m/yıl ve minimum -7,7 m/yıl değişim verisi saptanmıştır (Tablo 3). Uluabat Gölü'nün 2005-2023 arası dönemde

DSAS analiz verilerinin mekânsal dağılışı incelendiğinde, muhtelif göl kıyıları hariç kıyı değişim boyutunun son 18 yıllık süreç içerisinde stabil konuma geldiği anlaşılmaktadır (Şekil 8). Bu durumun oluşmasında göle kaynak sağlayan akarsu drenaj ağına yapılan baraj ve diğer antropojenik müdahalelerin etkili olduğu düşünülmektedir.

Uzun, orta ve kısa ölçekli dönemler olarak NSM, SCE, EPR ve LRR istatistikleri ile analiz edilen Uluabat Gölü kıyıları, belirtilen dönemler içerisinde kantitatif olarak polijenik bir değişim durumu göstermektedir. Uzun dönemde mesafe açısından özellikle gölün güney-güneybatı kıyılarındaki değişim ekstrem boyutlara ulaşmış, ancak son 18 yıllık dönemde göl yüzey alanı ve kıyı çizgisinin durağan değişim periyodunda olduğu tespit edilmiştir. Özellikle değişimin mekânsal dağılışı incelendiğinde, Mustafakemalpaşa Çayı'nın taşıdığı malzemeler bu alanda delta gelişimini hızlandırmış, akarsu ağı kısmı zamansal olarak değişmiş, bunun sonucunda Uluabat Gölü'nün bu kesiminde 3000 metrelik kıyı çizgisi ilerlemesi yaşanmıştır. Göl kıyılarındaki meydana gelen flüvyal birikim limnolojik olarak gölün bu kıyısında döngüsel bir jeomorfolojik değişim yaşanmasına sebep olmuştur. Böylece geniş alanda sazlık ve bataklık sahaları meydana gelmiştir. Ancak 48 yıllık uzun döneme nazaran son 18 yıllık dönemde göldeki yüzey alanı ve kıyı çizgisi değişimi oldukça durağanlaşmıştır. Gölün kuzey kıyılarındaki bütün dönemlerde gözlemlenen durağan kıyı çizgisi değişim döngüsü son 18 yıllık periyotta gölün bütün kıyılarındaki gözlemlenmektedir. Bu durumun meydana gelmesinde, gölü besleyen su kaynaklarına yapılan antropojenik müdahale, gölün Ramsar sulak alan sözleşmesi kapsamında korunması gibi faktörlerin etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8. Uluabat Gölü'nün belirlenen periyotlardaki NSM, SCE, EPR ve LRR istatistik analizleri.

Figure 8. NSM, SCE, EPR and LRR statistical analyses of Uluabat Lake in the determined periods.

### 3.3. Uluabat Gölü'nün Aylık Yüzeysel Alanı ve Kıyı Çizgisi Değişimi

Uluabat Gölü'nün bir yıl içerisindeki mevsimsel ve aylık yüzeysel alanı değişimi incelendiğinde, göl yüzeysel alanının, ocak ayında 113,53 km<sup>2</sup>, şubat'ta 113,3 km<sup>2</sup>, mart ayında 125,05 km<sup>2</sup>, nisan'da 116,38 km<sup>2</sup>, mayıs ayında 115,41 km<sup>2</sup>, haziran'da 112,43 km<sup>2</sup>, temmuz'da 111,23 km<sup>2</sup>, ağustos'ta 110,9 km<sup>2</sup>, eylül'de 111,76 km<sup>2</sup>, ekim'de 111,43 km<sup>2</sup>, kasım'da 111,82, km<sup>2</sup> ve aralık ayında 110,95 km<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9, 10 ve 11). Verilerden göl su yüzeyinin alansal açıdan pik değerlere mart ayında çıktığı, en düşük değerlerin ise hidrografik unsurlardaki buharlaşmaya bağlı olarak ağustos ayında gerçekleştiği saptanmıştır (Şekil 9-10).

Uluabat Gölü yüzeysel alanının bir yıl içerisindeki en yüksek ve en düşük yüzeysel alanı verisi arasında yaklaşık 15 km<sup>2</sup>'lik fark bulunmaktadır (Şekil 9 ve 10). Alansal açıdan belirtilen veri özellikle gölün güney kesiminde yoğunlaşmakla birlikte birçok kıyı sahasında bulunan sazlık-bataklık alanlardaki mevsimsel değişimin dinamik işleyiş durumundan kaynaklanmaktadır. Elde edilen bulgular özellikle göle girdi sağlayan Mustafakemalpaşa Çayı'nın oluşturduğu deltanın doğu kesiminde alansal değişimlerin yaşandığını göstermektedir (Şekil 10).

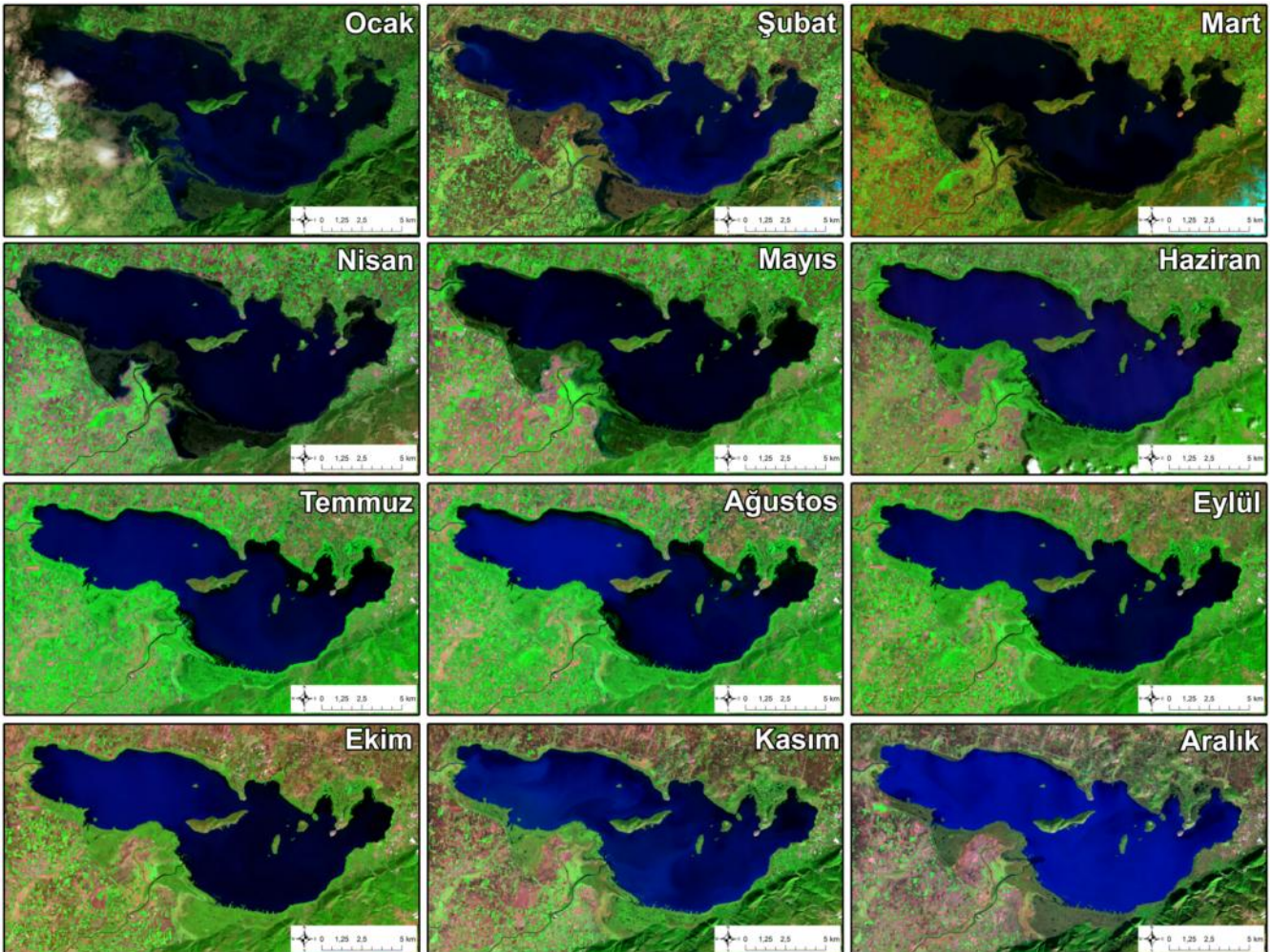
Yıllık modellenen değişim verisi üzerinden Uluabat Gölü yüzeysel alanının ortalama 113,68 km<sup>2</sup> olduğu saptanmıştır. Bu değer temel alındığında göl yüzeyi, 8 ay ortalamasının altında, 4 ay ise ortalama değer üzerinde alana sahiptir. Özellikle mart, nisan

ve mayıs aylarının ortalamasının üzerinde değere sahip olması, gölü besleyen akarsuların akım verileri ile paralellik göstermektedir (Şekil 11). Kış mevsiminde göl yüzeysel alanı 112,18 km<sup>2</sup> iken ilkbaharda 118,94 km<sup>2</sup>, yaz mevsiminde 111,52 km<sup>2</sup> ve sonbahar mevsiminde 111,67 km<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

### 3.4. Uluabat Gölü Kıyı Çizgisi ve Göl Yüzeysel Alanının DSAS Aracı Kalman Filter Özelliği ile 2033 ve 2043 Yıllarına Ait Modellemeleri

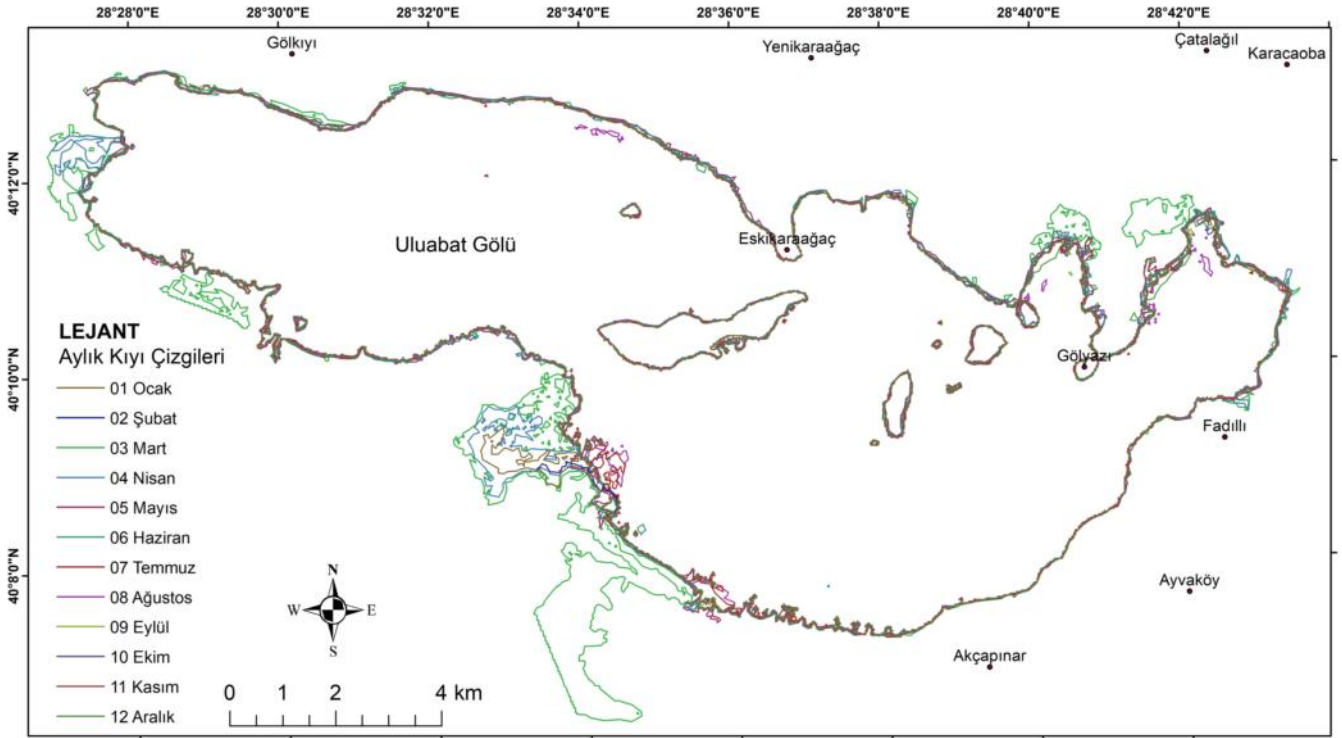
Uluabat Gölü yüzeysel alanı ve kıyı çizgileri 2033 ve 2043 yılları öngörülerek, üç farklı senaryo üzerinden modellenmiştir (Şekil 12). Model sonuçlarına göre 2033 yılı için Uluabat Gölü yüzeysel alanı, senaryo 1 kapsamında 101,74 km<sup>2</sup>, senaryo 2 tahminlerine göre 106,03 km<sup>2</sup> ve senaryo 3 tahminlerine göre 109,23 km<sup>2</sup> olacağı öngörülmektedir (Şekil 13). Aynı şekilde 2043 yılı Uluabat Gölü yüzeysel alanı, senaryo 1 tahminlerine 96,18 km<sup>2</sup>, senaryo 2 tahminlerine göre 102,11 km<sup>2</sup> ve senaryo 3 tahminlerine göre 107,17 km<sup>2</sup> olacağı öngörülmektedir (Şekil 13).

Senaryo 1 kapsamında Uluabat Gölü yüzeysel alanının 2033 ve 2043 yılları tahminleri incelendiğinde, özellikle Mustafakemalpaşa Çayı'nın oluşturduğu delta alanında, bu sahanın doğu ve batısında göl su yüzeyinin kara sahasına dönüşeceği öngörülmektedir (Şekil 12). Senaryo 1 modeli, 2033 yılı ve 2043 yılında göl yüzey alanının güney-güneybatı kesiminde mevcudiyetini kaybedeceğini ortaya koymaktadır. Senaryo 1'e göre gölün kuzey kıyılarında ise değişimin daha stabil olacağı, Gölyazı'dan



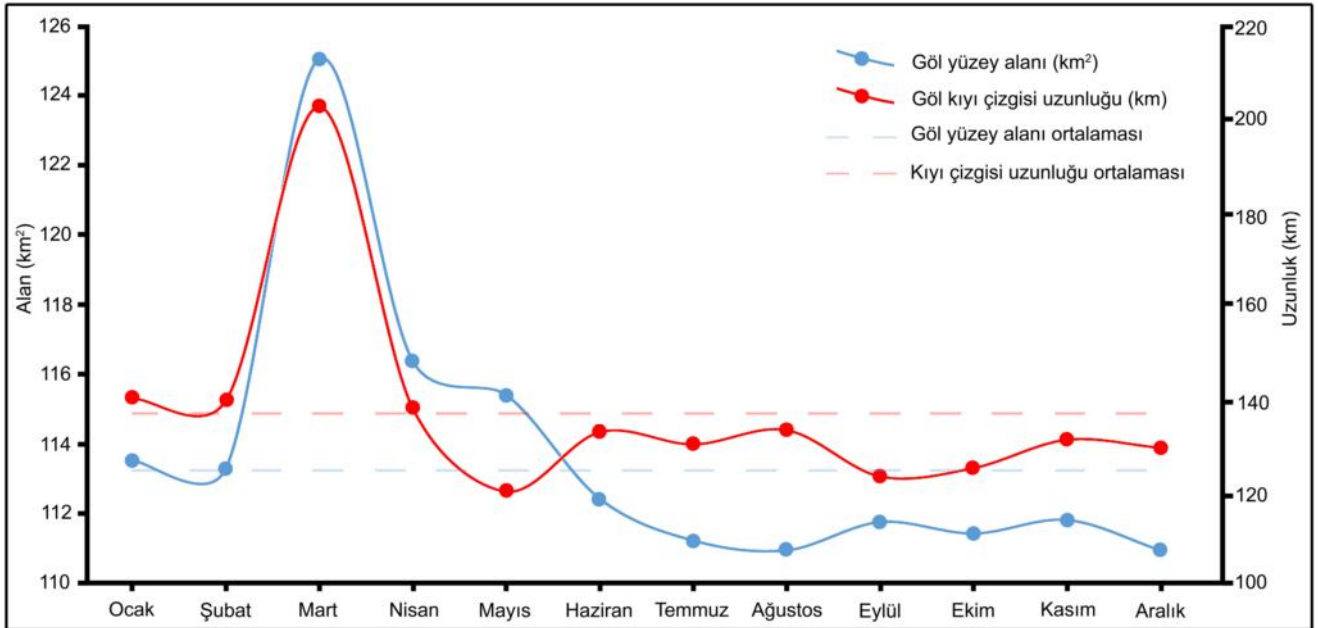
Şekil 9. Uluabat Gölü'nün 2022 yılı içerisindeki aylık Landsat uydu görüntüleri (bant kombinasyonu su yüzeyi için sınıflandırılmıştır).

Figure 9. Monthly Landsat satellite images of Lake Uluabat in 2022 (band combination classified for water surface).



Şekil 10. Uluabat Gölü'nün aylık kıyı çizgileri (2022).

Figure 10. Monthly shorelines of Uluabat Lake (2022).



Şekil 11. Uluabat Gölü'nün 2022 yılı içerisindeki yüzey alanı ve kıyı çizgisi uzunluğunun değişimi grafiği.

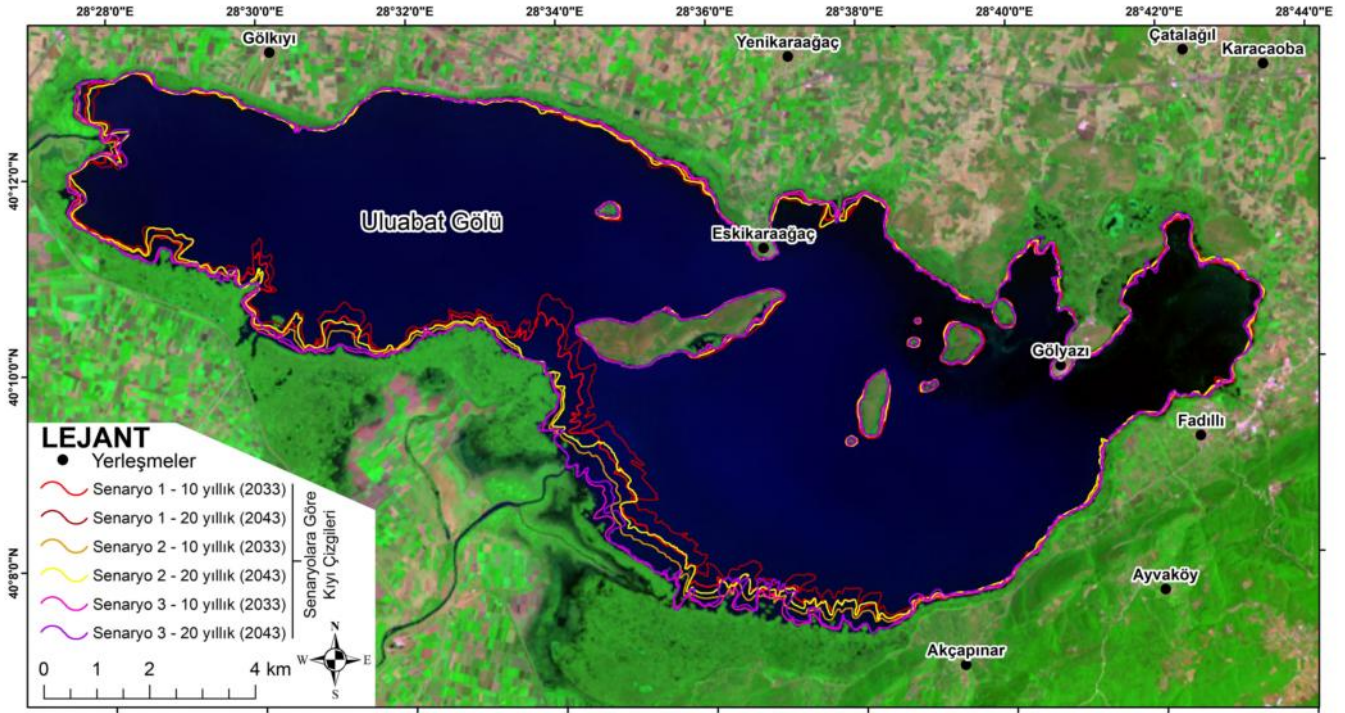
Figure 11. Graph of the change in surface area and shoreline length of Uluabat Lake in 2022.

doğuya doğru bazı alanlarda kara alanında su yüzeyine geçiş olacağı modellenmiştir. Senaryo 1 modeline göre 2033 yılında göl yüzeyi 9,06 km<sup>2</sup> alan kaybederek 2023 yılına göre % 8,1 oranında azalacağı, 2043 yılında ise 2023 yılına göre göl yüzeyi 14,6 alanı kaybederek % 13,2'lik oranda azalacağı tahmin edilmektedir.

Senaryo 2'ye göre Uluabat Gölü yüzey alanının 2033 ve 2043 yılları tahminleri incelendiğinde, göl yüzey alanının eğilim olarak azalacağı, bu azalmanın gölün güney kesimde kıyı ilerlemesi şeklinde olacağı saptanmıştır (Şekil 12). Özellikle Mustafake-malpaşa Çayı'nın taşıdığı alüvyonların son 40 yıllık dönemdeki genişleme durumu senaryo 2'ye göre devam edecek, delta ağzı

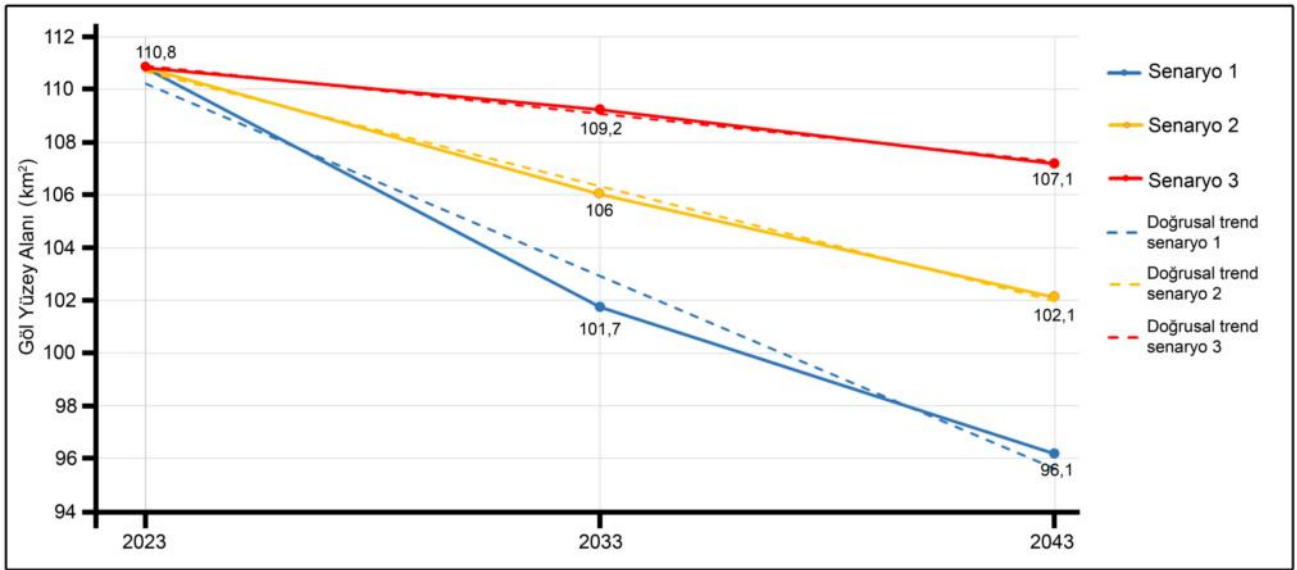
ile güneydoğu kesiminde sazlık-bataklık alanların artacağı öngörülmektedir. Senaryo 2 modeline göre 2023 yılından 2033 yılına kadar Uluabat Gölü yüzeyi 4,77 km<sup>2</sup> alan kaybederek % 4,3 oranında küçülecektir. Aynı şekilde modeline göre göl yüzeyi 2023 yılından 2043 yılına kadar 8,69 km<sup>2</sup> alan kaybedecek ve göl % 7,8 oranında küçülecektir.

Senaryo 3'e göre Uluabat Gölü yüzey alanının 2033 ve 2043 tahminleri incelendiğinde, diğer modellere göre değişimlerin dar alanlı olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 12). Bu durumun oluşmasında senaryo 3 modelinin temel aldığı zamansal veri aralığında (2005-2023) göl yüzey alanı ve kıyılarındaki değişimin oldukça durağan olması etkili olmuştur. Senaryo 3 modeline



Şekil 12. Uluabat Gölü'nün DSAS analizine göre su yüzeyi alanı ve kıyı çizgisinin 2033 ve 2043 yılı senaryoları.

Figure 12. Water surface area and shoreline of Uluabat Lake according to DSAS analysis for 2033 and 2043 scenarios.



Şekil 13. Senaryolara göre Uluabat Gölü yüzey alanı değişim grafiği.

Figure 13. Uluabat Lake surface area change graph according to scenarios.

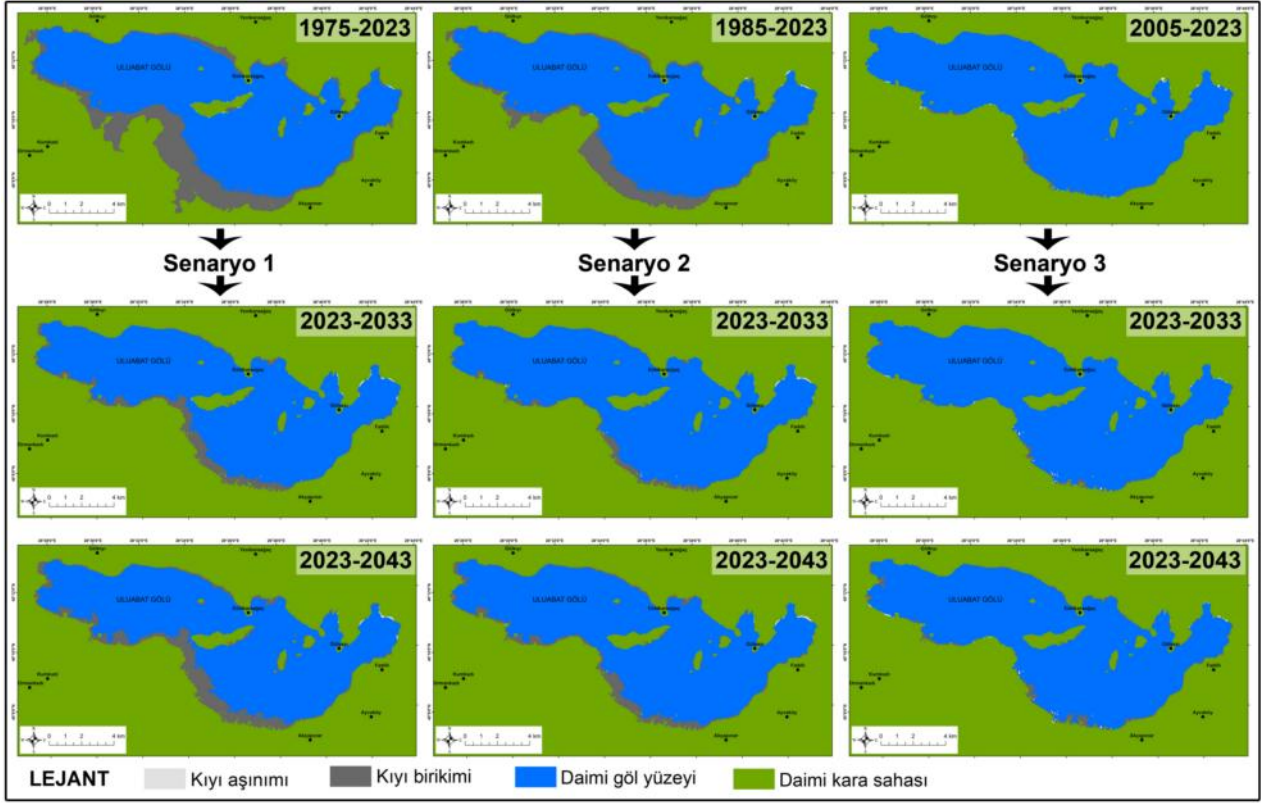
göre gölün güney-güneybatı kıyılarında kıyı ilerlemeleri olacağı tahmin edilmektedir. Senaryo 3'e göre 2023 yılından 2033 yılına kadar Uluabat Gölü yüzeyi 1,56 km<sup>2</sup> alan kaybederek % 1,4 oranında alansal olarak küçülecektir. Aynı şekilde senaryo 3 modeline göre göl yüzeyi 2023 yılından 2043 yılına kadar 3,63 km<sup>2</sup> alan kaybedecek ve göl % 3,2 oranında küçülecektir.

Senaryo 1 modeline göre 2023 yılından 2033 yılına Uluabat Gölü kıyılarında 9,14 km<sup>2</sup> kıyı birikimi, 0,21 km<sup>2</sup> kıyı aşınımı meydana gelmesi öngörülmektedir (Şekil 14 ve 15). Tahmin edilen değişimin % 98'ini kıyı birikimi, % 2'sini kıyı aşınımı oluşturması beklenmektedir. Senaryo 1'e göre 2023 yılından 2043 yılına kadar olan dönemde göl kıyısında 14,71 km<sup>2</sup> kıyı birikimi, 0,2 km<sup>2</sup> kıyı aşınımı olacağı tahmin edilmektedir. Göl kıyısında tahmin edilen 20 yıllık değişimin % 99'u kıyı birikimi, % 1'i ise

kıyı aşınımı şeklindedir (Şekil 15).

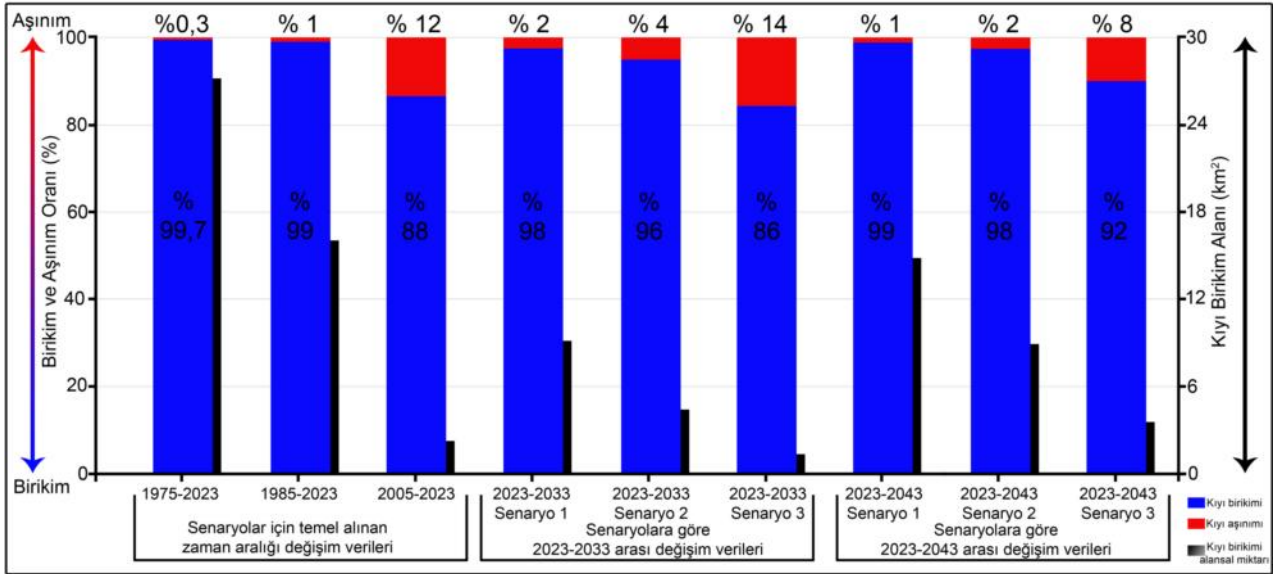
Uluabat Gölü kıyılarında senaryo 2 modeline göre 2023 yılından 2033 yılına kadar 4,7 km<sup>2</sup> kıyı birikimi, 0,21 km<sup>2</sup> kıyı aşınımı şeklinde jeomorfolojik değişim öngörülmektedir (Şekil 14 ve 15). Tahmin edilen değişimin % 96'sını kıyı birikimi, % 4'ünü kıyı aşınımının oluşturması beklenmektedir. Senaryo 2'ye göre 2023 yılından 2043 yılına kadar olan dönemde göl kıyısında 8,7 km<sup>2</sup> kıyı birikimi, 0,2 km<sup>2</sup> kıyı aşınımı olacağı tahmin edilmektedir. Bu modele göre göl kıyısında tahmin edilen 20 yıllık değişimin % 98'i birikim, % 1'i ise aşınım şeklindedir.

Senaryo 3'e göre göl kıyılarında, 2023-2033 zaman aralığında 1,45 km<sup>2</sup> kıyı birikimi, 0,23 km<sup>2</sup> kıyı aşınımı meydana gelmesi öngörülmektedir (Şekil 14 ve 15). 10 yıllık olarak tahmin edilen



Şekil 14. Uluabat Gölü'nün farklı senaryolar kapsamında göl yüzey alanı ve kıyısındaki değişim sahaları.

Figure 14. Areas of change in the lake surface area and shoreline of Uluabat Lake under different scenarios.



Şekil 15. Farklı dönemler ve senaryolar kapsamında Uluabat Gölü kıyısındaki değişimin sayısal boyutu.

Figure 15. Quantification of the change in the shore of Uluabat Lake under different periods and scenarios.

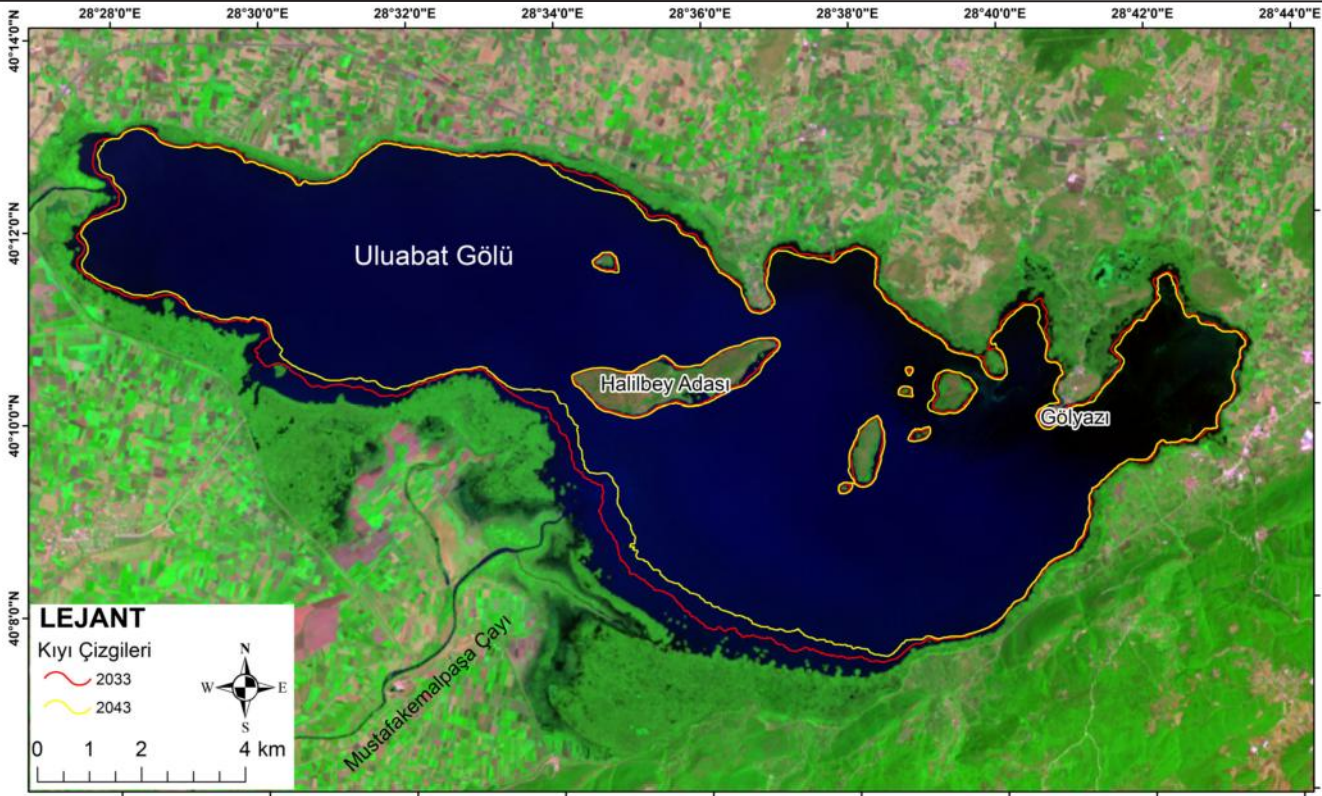
değişimin % 86'sını kıyı birikimi, % 14'ünü kıyı aşınımının oluştu- rması beklenmektedir Senaryo 3 modeline göre, 2023 yılından 2043 yılına kadar olan 20 yıllık dönemde göl kıyısında 3,62 km<sup>2</sup> kıyı birikimi, 0,29 km<sup>2</sup> kıyı aşınımı olacağı tahmin edilmektedir. Göl kıyılarında tahmin edilen 20 yıllık değişimin % 92'si birikim, % 8'i ise aşınım şeklindedir (Şekil 15).

### 3.5. Uluabat Gölü Kıyı Çizgisi ve Göl Yüzey Alanının Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi İle Geleceğe Dönük Modellenmesi

Uluabat Gölü yüzey alanının Yapay Sinir Ağları (YSA) ile oluşturulan modelinin 2033 yılı göl yüzey alanı 101,65 km<sup>2</sup> iken 2043 yılı göl yüzey alanı 95,66 km<sup>2</sup> olarak tahmin edilmiştir. YSA ön-

görülleri 2023 yılı göl yüzey alanı (110,8 km<sup>2</sup>) ile karşılaştırıldı- ğında, 2033 yılında göl yüzey alanının % 8 oranında, 2043 yılında ise % 13,6 oranında küçüleceği tespit edilmiştir. 2023 yılında 117,12 km olan göl kıyı çizgisi uzunluğu, YSA modeline göre 2033 yılında 91,6 km, 2043 yılında 90,5 km olacağı öngörülmü- ştür. Veriler gölün yüzeysel alanının daralması sonucu kıyıda- ki girinti çıkıntı yapısının azalacağını göstermektedir (Şekil 16). Özellikle gölün güney kesimindeki sazlık-bataklık alan ile kuzey- batısında bulunan gideğen sahası ve Gölyazı'nın KD ve KB kesimi- ndeki küçük koylarda girinti-çıkıntının azalacağı öngörülmektedir (Şekil 16).

YSA modeline göre Uluabat Gölü kıyılarında, 2023-2033 yılları



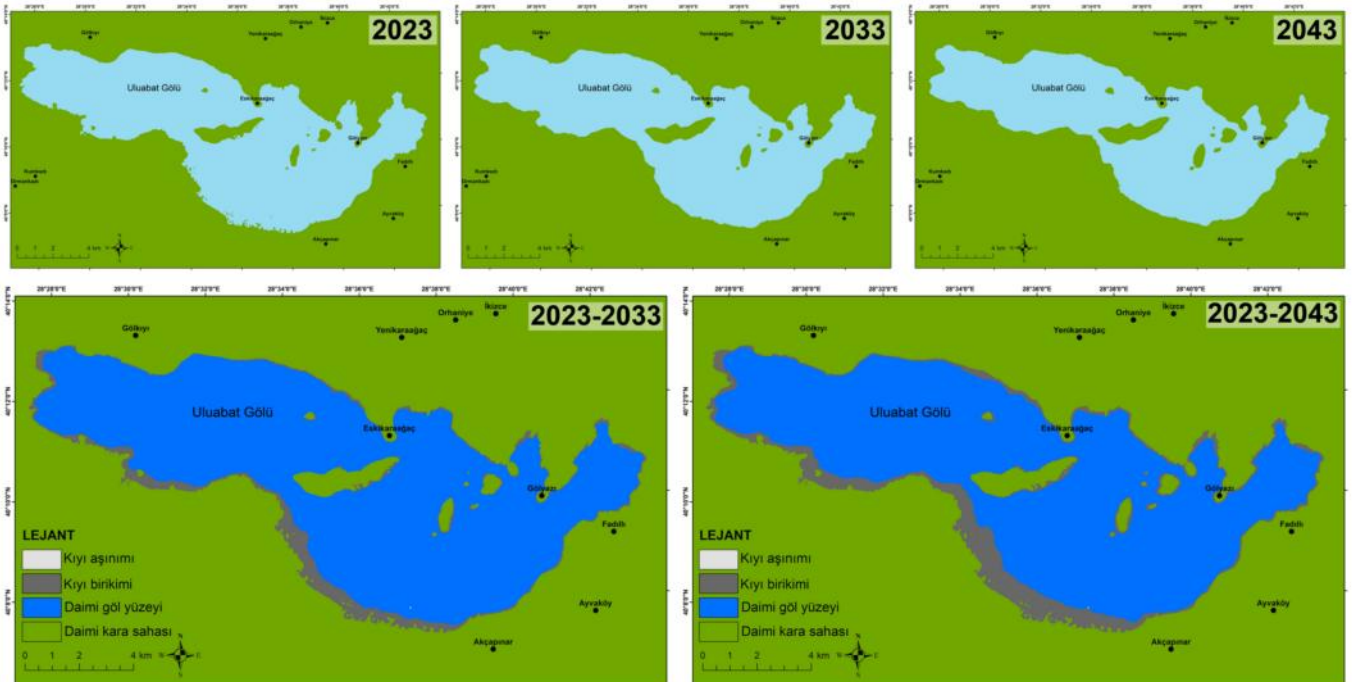
Şekil 16. Yapay Sinir Ağları (YSA) modeline göre Uluabat Gölü'nün 2033 ve 2043 yılları kıyı çizgisi tahmini.

Figure 16. Shoreline prediction of Lake Uluabat for the years 2033 and 2043 according to the Artificial Neural Network (ANN) model.

arasında 8,95 km<sup>2</sup>'lik kıyı biriminin, 0,003 km<sup>2</sup> kıyı aşınımının meydana geleceği tahmin edilmiştir. Bu dönemde kıyı birikim alanının büyük çoğunluğunun gölün güney kesiminde yoğunlaşacağı öngörülmektedir (Şekil 17). Özellikle Mustafakemalpaşa Çayı'nın oluşturduğu göl içi delta alanının KD ve KB kesiminde kıyı uzanımına paralel olarak genişleyeceği öngörülmektedir.

YSA modeline göre göl kıyılarında 2023-2043 yılları arası dö-

nemde, 15,1 km<sup>2</sup>'lik kıyı birikimi, 0,002 km<sup>2</sup>'lik kıyı aşınımının olacağı tahmin edilmektedir. Bu dönemde Mustafakemalpaşa Çayı'nın meydana getirdiği delta sahası çok kollu bir akışının sonucu olarak farklı alanlarda mikro deltaları da barındıracak, aynı zamanda gölün güney kesimindeki sazlık-bataklık alanlar genişleyecektir (Şekil 17). Özellikle Akçapınar – Mutafakemalpaşa Çayı deltası arasındaki kıyı şeridinde kıyı ilerlemesinin 1000 m'ye ulaşacağı öngörülmektedir.



Şekil 17. Yapay Sinir Ağları (YSA) modeline göre 2033 ve 2043 yılları için Uluabat Gölü yüzey alanı ve kıyı çizgisindeki değişimler.

Figure 17. Changes in Uluabat Lake surface area and shoreline for the years 2033 and 2043 according to the Artificial Neural Network (ANN) model.



#### 4. Tartışma ve Sonuç

Uluabat Gölü ile ilgili olarak sulak alan, göl yüzeyi değişimi, flora ve fanunistik açıdan ekolojik değişimlerin incelendiği farklı çalışmalarda, göl su varlığının azaldığı, inorganik madde girişinin göl ve sulak alan sahasını etkilediği belirtilmektedir (Mater vd., 2003; Tağıl, 2007; Sakaoğlu & Çepni, 2022). Ayrıca bazı çalışmalarda, gölün su yüzeyi varlığı ile sazlık-bataklık alanların değişime uğramasının, Ramsar Sözleşmesi kapsamında yer alan Uluabat Gölü'nde ekosistem işleyişi açısından sorunları, zamansal ve mekânsal olarak arttırdığı belirtilmektedir (Tağıl, 2007). Bu araştırmada ise önceki çalışmalardan farklı olarak, göl yüzey alanının 1975'den 2023 yılına kadar belirli periyotlardaki su yüzey alanı varlığı ile trend analizin azalma yönünde olduğu ancak günümüze yakın tarihlerde eğilimin stabil duruma geldiği saptanmıştır. Landsat uydu görüntülerinden NDWI, MNDWI ve WRI indis analizleri ile çıkarımı yapılan su varlığı 1975'de 138,7 km<sup>2</sup> iken 2023 yılında 110,8 km<sup>2</sup>'ye gerilemiştir. Göl yüzey alanı 48 yıllık dönemde % 27,9 küçülmüştür. Aynı zamanda göl yüzey alanının değişmesi kıyı çizgisi değişimine neden olmuştur. Gölü besleyen Mustafakemalpaşa Çayı'nın getirdiği malzemelerin gölün güney kıyısında delta, sazlık ve bataklık alan oluşturması yüzey alanının azalmasının temel nedenidir. Göl kıyı çizgisinin DSAS aracındaki istatistik analizleri, dönemsel olarak değişimlerde farklılıkların olduğunu ve son yıllarda gölde yüzey alanı daralmasının stabil duruma geldiğini göstermiştir. NSM istatistiğine göre, 1975-2023 dönemde ortalama 504,4 m, 1985-2023 döneminde 280,3 m ve 2005-2023 döneminde ortalama 53,1 m'lik kıyı ilerlemesi tespit edilmiştir. LLR istatistiğine göre, 1975-2023 döneminde ortalama kıyı çizgisi değişimi 8,6 m/yıl iken, 1985-2023 periyodunda 5,8 m/yıl ve 2005-2023 arasında 2,9 m/yıl olarak saptanmıştır. Çalışmadaki analizler, göldeki değişimin özellikle kıyı ilerlemesinin yakın geçmişte azaldığını ortaya koymaktadır. Özellikle gölün havzasındaki akarsular üzerine yapılan barajların oluşturduğu siltasyon, meydana gelen değişimi etkilemiştir. Çalışmada gölün yıl içerisinde mevsimlik ve aylık olarak yüzey alanı değişimleri yaşadığıda tespit edilmiştir. Bu bakımdan göl su yüzeyi alanının mart ayında 125,05 km<sup>2</sup> ile pik yaptığı, ağustos ayında ise 110,9 km<sup>2</sup> ile en az seviyeye geldiği saptanmıştır. Göl ve sulak alanlardaki doğal dinamik işleyiş, üretken yapı ile sulak alan florasının mevsimsel iklimik koşullara bağlı olarak farklılaşmasının, Uluabat Gölü'nde de değişimlere neden olduğu saptanmıştır. Bu durum, daha önce belirli periyotlar açısından yapılan incelemelerden farklı olarak, gölün yıl içinde dönemsel olarak değişim gösterdiğini de ortaya koymaktadır (Tağıl, 2007; Sakaoğlu & Çepni, 2022).

Çalışmada, 1975-2023, 1985-2023 ve 2005-2023 dönemlerindeki DSAS analizleri temel alınarak Kalman Filter modeli ile 2033 ve 2043 yıllarının göl kıyı çizgisi ve yüzey alanı 3 farklı senaryo ile tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgular geçmiş verilerin trend eğilimine dayandığı için göl yüzey alanının senaryo 1'de maksimum küçülmeye uğrayacağı, yakın dönemli verilerin temel alındığı senaryo 3'de ise daha mikro boyutlu değişimlerin yaşanacağını öngörmektedir. Farklı zamansal, mekânsal ve kantitatif verileri temel alan tahminler ile gölün batimetrik durumu, kıyı çizgileri, aylık-mevsimlik değişim verileri ile bütün verilerin geçiş olasılıkları kullanılarak Uluabat Gölü'nün geleceğe dönük YSA modeli oluşturulmuştur. YSA modeli ile göl yüzey alanının daha gerçekçi, öngörülebilir ve birçok unsuru temel alan verilerin kombinasyonundan göl yüzey alanı ve kıyı çizgileri tahmini yapılmıştır. YSA modeline göre, 2033 yılında

göl yüzey alanı 101,65 km<sup>2</sup>, 2043 yılında ise 95,66 km<sup>2</sup> olarak tahmin edilmiştir. Veriler, gölün su varlığının yakın zamanda azalmaya devam edeceğini, özellikle Mustafakemalpaşa Çayı'nın oluşturduğu delta ve sazlık alanın gölün güney kesiminde genişlemeye devam edeceğini göstermektedir. Bulgular, göl kıyılarının da jeomorfolojik, hidrografik, floristik açıdan değişimlere uğrayacağını, bu durumda antropojenik kullanımları etkileyebileceğini ortaya koymaktadır. Ramsar sözleşmesi kapsamında ülkemizdeki nadir alanlardan biri olan ve hassas bir ekolojik ortamı barındıran Uluabat Gölü'nde değişimin doğal işleyiş sürecinde kalması gelecek açısından oldukça önemlidir. Bu bakımdan geleceğe dönük tahminlerin göl, sulak alan, havza yönetimi ile üst ve alt ölçekli bütün planlamalarda dikkate alınmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

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

**Etik Kurulu Onayı / Ethics Committee Approval:** Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

#### Kaynakça

- Akdeniz, H. B. & İnam, Ş. (2023). Spatio-temporal analysis of shoreline changes and future forecasting: the case of Küçük Menderes Delta, Türkiye. *Jorunal Coast Conserv* 27, 34. <https://doi.org/10.1007/s11852-023-00966-8>
- Aksoy, E., Özsoy, G., Ulaş Karaata, E., Karaer, F., Kâtip, A., İleri, S., Onur, S., (2016). Ekosunder ve Gıs Teknikleri Kullanılarak Uluabat Gölü'nde Batimetrik Haritalama, 6. *UZAKTAN ALGILAMA-CBS SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2016)*, 5-7 Ekim 2016, Adana (ss.348-356).
- Aksoy, T. Sarı, S., Çabuk, A. (2019). Sulak Alanların Yönetimi Kapsamında Su İndeksinin Uzaktan Algılama İle Tespiti, *Göller Yöresi. GSI Journals Serie B: Advancements in Business and Economics*, 2 (1), <https://dergipark.org.tr/tr/pub/abe/issue/44024/528568>
- 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>
- 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>
- 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). Göl Seviye Değişimleri ve

- Nedenleri: Van Gölü Örneği, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, The Journal of Social Sciences Institute*, 41, 183-208.
- Ataol, M., Kale, M.M. & Tekkanat, İ.S. (2019). Assessment of the changes in shoreline using digital shoreline analysis system: a case study of Kızılırmak Delta in northern Turkey from 1951 to 2017. *Environmental Earth Science*, 78, 579. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8591-7>
- Ataol, M. & Onmuş, O. (2021). Wetland loss in Turkey over a hundred years: implications for conservation and management, *Ecosystem Health And Sustainability*, 7 (1), 1-13. <https://dx.doi.org/10.1080/20964129.2021.1930587>
- Aydın, F., Erilat, E., Türkeş, M. (2020). Impact of climate variability on the surface of Lake Tuz (Turkey), 1985–2016. *Reg Environ Change* 20, 68. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01656-z>
- Bahadır, M. (2013). Akşehir Gölü'nde Alansal Değişimlerin Uzaktan Algılama Teknikleri İle Belirlenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (28), 246-275. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/marucog/issue/475/3933>
- Bombino, G., Barbaro, G., D'Agostino, D., Denisi, P., Foti, G., Labate, A., Zimbone, S. M. (2022). Shoreline change and coastal erosion: the role of check dams. first indications from a case study in Calabria, Southern Italy, *CATENA*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106494>
- Darwish, K., Smith, S.E., Torab, M., Monsef, H., Hussein, O. (2017). Geomorphological Changes along the Nile Delta Coastline between 1945 and 2015 Detected Using Satellite Remote Sensing and GIS. *J. Coast. Res*, 33(4), 786-794. <http://dx.doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-16-00056.1>
- Davidson, N. C., & Finlayson, C. M. (2018). Extent, Regional Distribution and Changes in Area of Different Classes of Wetlands. *Marine and Freshwater Research* 69, 1525-1533. <http://dx.doi.org/10.1071/MF17377>
- Dereli, M. A., & Tercan, E. (2020). Assessment of Shoreline Changes using Historical Satellite Images and Geospatial Analysis along the Lake Salda in Turkey. *Earth Sci Inform* 13, 709-718. <https://doi.org/10.1007/s12145-020-00460-x>
- Dinç, G., (2023). Unveiling shoreline dynamics and remarkable accretion rates in Lake Eğirdir (Turkey) using DSAS. The implications of climate change on lakes. *Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 95, 95-108. <http://dx.doi.org/10.6092/1970-9870/10111>
- Duru, U. (2017). Shoreline change assessment using multi-temporal satellite images: a case study of Lake Sapanca, NW Turkey. *Environ Monit Assess* 189, 385. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6112-2>
- Elmacı, A., Topaç, F. O., Teksoy, A., Özençin, N., Başkaya, H. S., (2008). Uluabat Gölü Fizikokimyasal Özelliklerinin Yönetmelikler Çerçevesinde Değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(1), 149-157. <https://doi.org/10.17482/uujfe.34872>
- Gao, Bo-Cai (1996). NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 58 (3), 257–266. [http://dx.doi.org/10.1016/S00344257\(96\)00067-3](http://dx.doi.org/10.1016/S00344257(96)00067-3)
- Göncü, S., Albek, E. A., & Albek, M. (2017). Burdur, Eğirdir, Sapanca ve Tuz Gölleri Su Seviyelerinin Nonparametrik İstatistik Yöntemler ile Eğilim Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 555-570.
- Grottoli, H. Biaisque, M. Jackson, D. Cooper, J. A. (2023). Long-term drivers of shoreline change over two centuries on a headland-embayment beach. *Earth Surface Processes and Landforms published by John Wiley & Sons*, 1-21. <https://doi.org/10.1002/esp.5641>
- Hakkou, M., Maanan, M., Belhaba, T., El khalidi, K., El Ouai, D., Benmohammadi, A. (2018). Multi-decadal assessment of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation in Kenitra coast, Morocco. *Ocean & Coastal Management*, 163, 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.07.003>
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., Farris, A. S. (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide (No. 2018-1179). US Geological Survey.
- 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. <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>
- Hossain, S. Yasir, M. Wang, P. Ullah, S. Jahan, M., Hui, S., Zhao, Z., (2021). Automatic shoreline extraction and change detection: A study on the southeast coast of Bangladesh. *Marine Geology* 441, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106628>
- Hoşgören, M. Y. (2011). Hidrograyanın Ana Çizgileri, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Hoşgören, M. Y. (1994). Türkiye'nin Gölleri, *Türk Coğrafya Dergisi*, 29, 19-51 <https://doi.org/10.17211/tcd.70549>
- Hu, X. & Wang, Y. (2020). Coastline Fractal Dimension of Mainland, Island, and Estuaries Using Multi-temporal Landsat Remote Sensing Data from 1978 to 2018: A Case Study of the Pearl River Estuary Area. *Remote Sensing*, 12, 2482. <https://doi.org/10.3390/rs12152482>
- İzbrak, R. (1990). Sular Coğrafyası. İstanbul: Milli Eğitim Basım-evi.
- Kale, M. M., (2018). Historical Shoreline Change Assessment Using DSAS: A Case Study of Lake Akşehir, SW Turkey, Current Debates in Sustainable Architecture, Urban Design Environmental Studies (Edt. Doğan, A. Gönüllü, G.), (ss. 187-196) *JOPEC Publication*, ISBN:978-1-912503-33-9
- Kale, M.M., Ataol, M., Tekkanat, İ.S. (2019). Assessment of shoreline alterations using a Digital Shoreline Analysis System: a case study of changes in the Yeşilirmak Delta in northern

- Turkey from 1953 to 2017. *Environ Monit Assess* 191, 398. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7535-8>
- Kaya, Ö. A., & Kaplan, G. (2021). Uzaktan Algılama Yöntemleri İle Burdur Gölü'ndeki Alansal Değişiminin Belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.21324/dacd.760805>
- Kaya, Y., Sanli, F.B. & Abdikan, S. (2023). Determination of long-term volume change in lakes by integration of UAV and satellite data: the case of Lake Burdur in Türkiye. *Environ Sci Pollut Res* 30, 117729–117747. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30369-z>
- Kazancı, N., & Görür, N., (1997). Güney Marmara Bölgesinin Neojen ve Kuvaterner Evrimi, TÜBİTAK Projesi, No: YDABÇAĞ-426/G, Ankara, 251 s.
- Kazancı, N., Emre, Ö., İleri, Ö., Erkal, T., Şahbaz, A., Varol, B., Bayhan, E., (1998). Marmara Denizi güneyi kıyı ve kıyı ardı istiflerinin stratigrafisi, sedimantolojisi ve morfolojisi, TÜBİTAK YDABÇAĞ Proje No. 598 / G, 1-117
- Kazı, H., & Karabulut, M. (2023). Monitoring the shoreline changes of the Göksu Delta (Türkiye) using geographical information technologies and predictions for the near future. *International Journal of Geography and Geography Education* (50), 329-352. <https://doi.org/10.32003/igge.1304403>
- Khandelwal, A., Karpatne, A., Ravirathinam, P., Ghosh, R., Wei, Z., Dugan, H. A., Hanson, P. C., Kumar, V., (2022). RealSAT, a global dataset of reservoir and lake surface area variations. *Sci Data* 9, 356. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01449-5>
- Khorshiddoust, A. M., Patel, N., Khalilzadeh, E., Bostanaba, A. S., Tajbar, S., (2022). A comparative study of the surface level changes of Urmia Lake and Aral Lake during the period of 1988 to 2018 using satellite images. *Front. Earth Science*. <https://doi.org/10.1007/s11707-022-1010-5>
- Kılar, H. & Çiçek, İ. (2018). Göksu Deltası Kıyı Çizgisi Değişiminin DSAS Aracı ile Belirlenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16 (1), 89-104. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000192](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000192)
- 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>
- Kohonen T. (1988). An Introduction to Neural Computing, Neural Networks, 1, 3-6.
- 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/epiiugs/2020/020089>
- Lazuardi, Z., Karim, A., Sugianto, S. (2022). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System (DSAS) di Pesisir Timur Kota Sabang. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(1). <http://dx.doi.org/10.17969/jimfp.v7i1.18872>
- Lippman, R. (1987). An Introduction to Computing with Neural Nets.. IEEE ASSP. 4: 4-22.
- Livingstone, D. J., (2009). Artificial Neural Networks Methods and Applications, Humana Totowa, NJ <https://doi.org/10.1007/978-1-60327-101-1>
- Liu, H., Chen, Y., Ye, Z., Li, Y., Zhang, O. (2019). Recent Lake Area Changes in Central Asia. *Scientific Repost-Nature Research* 9, 16277. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52396-y>
- Long, J.W. & Plant, N.G., (2012). Extended Kalman Filter framework for forecasting shoreline evolution: *Geophysical Research Letters*, 39(13), 1-6.
- Luo, S., Song, C., Ke, L., Zhan, P., Fan, C., Liu, K., (2022). Satellite laser altimetry reveals a net water mass gain in global lakes with spatial heterogeneity in the early 21st century. *Geophysical Research Letters*, 49, e2021GL096676. <https://doi.org/10.1029/2021GL096676>
- Maltby, E., & T. Barker, (2009). The Wetlands Handbook, 2 Volume Set. John Wiley & Sons.
- Mater, B., Turoğlu, H., Uludağ, M., Cürebal, İ., Yıldırım C., (2003). Uluabat-Manyas Gölleri ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojik Gelişim Modellemesi, İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Kuvaterner Çalıştayı.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17:7, 1425-1432, <http://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Messenger, M. L., Lehner, B., Grill, G., Nedeva, I., Schmitt, O. (2016). Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach. *Nature communications*, 7(1), 13603. <https://doi.org/10.1038/ncomms13603>
- Murray, J., Adam, E., Woodborne, S., Miller, D., Xulu, S., Evans, M. (2023). Monitoring shoreline changes along the southwestern coast of South Africa from 1937 to 2020 using varied remote sensing data and approaches. *Remote Sensing*, 15 (2), 317. <https://doi.org/10.3390/rs15020317>
- Nassar, K., Mahmod, W. E., Fath, H., Masria, A., Nadaoka, K., Negm, A. (2019). Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt. *Marine Georesources & Geotechnology*, 37(1), 81–95. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2018.1448912>
- Öztürk D., & Uzun, S. (2023). Kızılırmak Deltası Kıyı Çizgisinin EPR ve LRR Yöntemleriyle 1984–2022 Periyodunda Değişim Analizi ve 2030 Yılı Tahmini. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 21(2),

- 306-339. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1310132>
- Palanisamy, P., Sivakumar, V., Velusamy, P., Natarajan, L. (2024). Spatio-temporal analysis of shoreline changes and future forecast using remote sensing, GIS and kalman filter model: A case study of Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 133, 104701. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104701>
- Pardo-Pascual, J.E., Almonacid-Caballer, J., Ruiz, L.A., Palomar-Vázquez, J. (2012). Automatic extraction of shorelines from Landsat TM and ETM+ multi-temporal images with subpixel precision. *Remote Sensing of Environment*, 123, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.024>
- Riggs, R. M., Allen, G. H., Brinkerhoff, C. B., Sikder, M. S., Wang, J. (2023). Turning lakes into river gauges using the LakeFlow algorithm. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL103924. <https://doi.org/10.1029/2023GL103924>
- Sakaoğlu, E., & Çepni, O., (2022). Türkiye'deki Tektonik Kökenli Ramsar Göllerinin Uzaktan Algılama Teknikleri ile Analizi, İksad Pulished House, Ankara.
- Salihoglu, G. & Karaer, F. (2004). Ecological risk assessment and problem formulation for Lake Uluabat, a Ramsar State in Turkey, *Environmental Management*, 33(6), 899-910.
- Shen, L & Li, C. (2010). Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm *18th International Conference on Geoinformatics, IEEE* (2010), 1-4. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.010.5567762>
- Sikder, M. S., Wang, J., Allen, G. H., Sheng, Y., Yamazaki, D., Song, C., Ding, M., Crétaux, J.-F., Pavelsky, T. M. (2023). Lake-TopoCat: a global lake drainage topology and catchment database, *Earth System. Science. Data*, 15, 3483–3511, <https://doi.org/10.5194/essd-15-3483-2023>
- Singh, K. V., Setia, R., Sahoo, S., Prasad, A., Pateriya, B. (2015). Evaluation of NDWI and MNDWI for assessment of water-logging by integrating digital elevation model and ground-water level. *Geocarto International*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.965757>
- Song, Y., Shen, Y., Xie, R., Li, J. (2021). A DSAS-based study of central shoreline change in Jiangsu over 45 years. *Anthropocene Coasts*, 4(1), 115-128. <http://dx.doi.org/10.1139/anc-2020-0001>
- Şenol, H. İ., Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Yakar, M. (2023). Extraction and geospatial analysis of the Hersek Lagoon shoreline with Sentinel-2 satellite data. *Survey Review*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/00396265.2023.2257969>
- Tağil, Ş. (2007). Quantifying the change detection of the Uluabat wetland, Turkey, by use of landsat images. *Ekoloji*, 16(64), 9-20.
- Tağil, Ş., Alevkayalı, Ç., Aytan, B. (2023). Gediz Deltası Sulak Alanı Boyunca Kıyı Şeridi Evrimi ve Erozyon Hassasiyetinin Değerlendirilmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 32 (Cumhuriyet'in 100. Yılı Özel Sayısı), 127-142. <https://doi.org/10.51800/eecd.1322803>
- Tang, T. C., & Chi, L. C. (2005). Neural networks analysis in business failure prediction of chinese importers: a between-countries approach. *Expert Systems with Applications*, 29, 244–255.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8(2): 127-150.
- Turoğlu, H., Uludağ, M., Mater, B., (2002). Geomorphic environmental changes at Uluabat and Manyas lakes (Souther Marmara region, Turkey) from neotectonics to present time, Forth International Conference on Environmental Problems in Coastal Regions, COASTAL ENVIRONMENT IV, WIT Press, ISBN:1-85312-921-6, ISBN:1462-6098, UK.
- Turoğlu, H. (2017). Deniz ve Göllerde Kıyı. İçinde Turoğlu H. & Yiğitbaşıoğlu, H. (Ed), Yasal ve Bilimsel Boyutlarıyla Kıyı (ss. 1-30). Jeomorfoloji Derneği Yayınları
- Xu, H. (2006). Modification of Normalised difference water index NDWI to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033.
- Woolway, R. I., Kraemer, B. M., Lenters, J. D., Merchant, C. J., O'Reilly, C. M., Sharma, S. (2020). Global lake responses to climate change, *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 388–403, <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0067-5>
- Yang, Y., Wu, J., Miao, Y., Wang, X., Lan, X., Zhang, Z. (2022). Lake Changes during the Past Five Decades in Central East Asia: Links with Climate Change and Climate Future Forecasting. *Water*, 14, 3661. <https://doi.org/10.3390/w14223661>
- Yılmaz, O. S. (2023). Uzaktan Algılama Teknikleri ile Su Yüzeylerinin Tespit Edilmesinde Kullanılan Su Çıkarma İndekslerinin Performans Analizi. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 4(2), 242-261. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1256092>
- Yurteri, C., & Kurttaş, T. (2021). Uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanılarak Seyfe Gölü (Kırşehir) yüzey alanının zamansal değişiminin analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1115-1128. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.848873>
- Zhao, G., Li, Y., Zhou, L. Gao, H., (2022). Evaporative water loss of 1.42 million global lakes. *Natural Commun* 13, 3686. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31125-6>
- Zuzek, P. J., Nairn, R. B., Thieme, S. J. (2003). Spatial and Temporal Considerations for Calculating Shoreline Change Rates in the Great Lakes Basin. *Journal of Coastal Research*, 125–146. <http://www.jstor.org/stable/25736603>



## İzmir ve Manisa şehirlerinde en sıcak ve en soğuk noktaların dağılışı ile arazi kullanımı arasındaki ilişkiler<sup>1</sup>

*The relationships between the distribution of the hottest and coldest spots and land use in the cities Izmir and Manisa<sup>1</sup>*

Yasin Furkan Şenlik<sup>a\*</sup>  Erkan Yılmaz<sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.

<sup>b</sup> Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ankara, Türkiye.

ORCID: Y.F.Ş 0000-0002-5772-8292; E.Y. 0000-0002-3821-3648

### BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 23.05.2024

Kabul/Accepted: 04.07.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Yüzey sıcaklığı

Arazi kullanımı

MODIS

CORINE

#### Keywords:

Surface temperature

Land use

MODIS

CORINE

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(Y. F. Şenlik) yasin.senlik@cbu.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1488891



#### Atf/Citation:

Şenlik, Y. F., & Yılmaz, E. (2024). İzmir ve Manisa şehirlerinde en sıcak ve en soğuk noktaların dağılışı ile arazi kullanımı arasındaki ilişkiler. *Türk Coğrafya Dergisi* (86), 45-56. <https://doi.org/10.17211/tcd.1488891>

### ÖZ/ABSTRACT

Dünya nüfusu her geçen gün artmakta, büyük şehirler giderek daha kalabalık bir hale gelmektedir. Bununla birlikte büyük şehirlerde arazi örtüsü de hızla değişmekte ve yüzey sıcaklığı da bu değişimden etkilenmektedir. Bu çalışmada 2000-2022 yılları arasına ait MODIS uydusunun yüzey sıcaklığı verileri ile CORINE arazi kullanım verileri kullanılmıştır. Çalışmada önce yüzey sıcaklığı ile arazi kullanımı verilerinin çözümlükleri düzenlenmiş daha sonra İzmir ve Manisa şehir merkezlerindeki en yüksek ve en düşük yüzey sıcaklığına sahip noktalar tespit edilmiş ve arazi kullanımıyla ilişkilendirilmiştir. Her iki şehir merkezinde de gündüzleri en sıcak noktaların organize sanayi bölgelerinde belirdiği, en soğuk noktaların ise yerleşme sahalarında ortaya çıktığı görülmüştür. Geceleri ise bu durumun değiştiği, en sıcak ve en soğuk noktaların sanayi ve yerleşmeler arasında yer değiştirdiği belirlenmiştir. Bunda en büyük etkenin, söz konusu sahaları oluşturan yapı malzemelerinin niteliği olduğu anlaşılmıştır. Sanayi bölgeleri gündüzleri çok hızlı bir şekilde ısınmakta ve gündüzleri en sıcak noktalar buralarda belirlemektedir. Yerleşme sahaları ise gündüzleri daha geç ısınmakta ancak geceleri daha geç soğumaktadır. Böylelikle geceleri en sıcak noktalar yerleşmelerde belirlemektedir. Bunun dışında en soğuk noktaların yapay su yüzeyleri ve şehir içi yeşil alanların bulunduğu yerlerde ortaya çıktığı görülmüştür. Nitekim havuzlu siteler, mezarlıklar ve fidanlıklar en soğuk noktaların ortaya çıktığı yerlerdir. Bu yüzden yüksek yüzey sıcaklıklarının önüne geçmekte sanayi bölgelerinin çevresine yeşil alan tamponlarının oluşturulması, yerleşme sahalarında yeşil alanların ve yapay su yüzeylerinin artırılması son derece önemlidir.

*The world population is growing every day, and big cities are becoming more and more crowded. In addition to, along with the land cover is changing rapidly in large cities and surface temperature is also affected by this change. In this study, MODIS satellite surface temperature data and CORINE land use data for the period 2000-2022 were used. In the study, the surface temperature and land use data were initially adjusted to ensure accuracy and precision. Subsequently, the spots with the highest and lowest surface temperatures in Izmir and Manisa city centres were identified and associated with land use. In both city centers, it was observed that the hottest spots during the daytime appeared in the organized industrial zones, while the coldest spots appeared in the residential areas. However, at night, the situation changes, with the hottest and coldest spots shifting between industry and settlements. It is understood that the biggest factor in this shift is the quality of the building materials that make up these areas. Industrial zones heat up very quickly during the daytime and the hottest spots appear in these areas during the daytime. Settlement areas warm up later during the day but cool down later at night. Thus, the hottest spots appear in the settlements at night. Apart from this, the coldest spots were found appear on artificial water surfaces and in urban green areas. Indeed, housing estates with pools, cemeteries and nurseries are where the coldest spots occur. It is therefore of the utmost importance to create green buffers around industrial zones and to increase green areas and artificial water surfaces in residential areas in order to prevent high surface temperatures.*

<sup>1</sup> Bu çalışma yazarlar tarafından 3. İstanbul Uluslararası Coğrafya Kongresinde bildiri özeti olarak sunulmuştur.

<sup>1</sup> This study was presented by the authors as an abstract proceeding at the 3rd Istanbul International Geography Congress.

## Extended Abstract

### Introduction

The world's population is increasing day by day, with large cities in particular becoming home to more and more inhabitants. As the population increases, land cover is also subject to rapid change. Surface temperature, which refers to the radiant temperature of the earth's surface, is an important parameter used in many issues ranging from climate change to changes in land use. Considering that land use and surface temperature are related, it is expected that surface temperature will change in parallel with changes in land use. In this study, the relationship between land use and surface temperature in the cities of Izmir and Manisa, which are the most important attraction spots of the Aegean Region, is examined and it is aimed to determine the spots with the highest and lowest surface temperature in these cities.

### Data and Method

In this study, TERRA and AQUA satellites of MODIS satellite systems were used to determine the surface temperatures of Izmir and Manisa city centers. The data covers the period 2000-2022 for the TERRA satellite and 2002-2022 for the AQUA satellite. These satellites collect data from the study area at 11:40 and 14:40 during the day and at 22:40 and 03:40 at night. CORINE land use data for 2018 was obtained and mapped to determine the land use of city centers. The resolutions of surface temperature and land use data were regulated and their relationships were examined.

### Results and Discussion

In Izmir city center, the hottest spots during the daytime are observed to occur in Atatürk Organized Industrial Zone (OIZ). The fact that almost all hotspots appear in the industrial zone during the daytime is largely due to the building materials that make up this area. Materials with low specific heat, such as iron and steel, heat up rapidly during the daytime and anthropogenic heat radiation helps to create the hottest spots in these areas. It was determined that the spot with the highest daytime temperature occurred in Esentepe neighborhood in July due to the effect of aspect. The coldest spots appear in the settlement areas. The neighborhoods appear with the coldest spots are Altievler, where large housing estates with pools and green areas are located; İnciraltı, where mixed agricultural lands are located; Narlı, where forest density has increased; and Aydoğdu, where construction continues and the elevation is higher than the others. At night in Izmir, the hottest spots shift from the industrial zone to dense settlements. In the settlement areas, it is observed that the hottest spots in summer and winter occur in different areas. For example, at 22:40, the hottest spots appear in the İnciraltı neighborhood in winter, while in summer they appear in the Manavkuyu and Kazımdirlik neighborhoods. The coldest spots at night are mostly observed in Atatürk OIZ. When the land use of Manisa city center is examined; it is seen that there is an industrial zone in the west of the city and a residential area in the east. During the daytime, the hottest spots usually occur in Keçiliköy OIZ, located in the west of the city. Similar to the city of Izmir, building materials play a major role in the occurrence of the hottest spots during

the day in industrial zones. It is observed that the coldest spots during the daytime occur in the settlements in the east of the city, close to Manisa Mountain and where the elevation is relatively higher. In the westernmost part of the city, the coldest spots occur in the Muradiye forest nursery due to the vegetation. In Manisa, it is seen that at night time, the opposite image of the daytime is formed. The warmest spots occur in the settlements to the east of the city, while the coldest spots occur in Muradiye forest nursery and Keçiliköy OIZ. In July, the hottest time of the year, the temperature difference between the hottest (Keçiliköy OIZ) and coldest (Turgut Özal neighborhood) spots in Manisa is 6.3 °C, while the temperature difference between the hottest (Esentepe neighborhood) and coldest (İnciraltı neighborhood) spots in Izmir can be as high as 14.4 °C. In both cities there is a contrast between day and night. During the daytime, the hottest spots occur in industrial areas and the coldest in settlements. At night, hot and cold spots alternate with each other. The building materials that make up the areas are of great importance in this. Industrial areas heat up very quickly during the day, while residential areas heat up relatively more slowly. However, at night, the settlements cool down later and the hottest spots occur there. It is also observed that the coldest spots are appear on artificial water surfaces such as pools, urban green areas such as housing estates and cemeteries, and buildings with light-colored facades. In addition to land cover, elevation, aspect and the cooling effect of the sea were also found to have an effect on the surface temperature. Some of the coldest spots were found to occur in areas with higher elevation than others or in areas exposed to the cooling effect of the sea. In addition, it was determined that the hottest spots appeared on the southern and southwestern slopes with the effect of the aspect.

### Conclusion

There is a significant relationship between land use and surface temperature. The ability of the material forming the surface to retain heat causes that area to have a higher or lower temperature. Especially in crowded cities, artificial water surfaces and urban green areas have a significant impact on surface temperatures.

### 1.Giriş

Dünya nüfusu her geçen gün artmaya devam etmekte ve büyük şehirler nüfus toplanma alanlarına dönüşmektedir. Nüfus yoğunluğunun artmasıyla birlikte istek ve ihtiyaçlarda artmakta, bu doğrultuda arazi örtüsü oldukça hızlı bir biçimde değişmektedir. Hızlı değişim beraberinde sorunlar getirmekte, yanlış ve plansız arazi kullanımı büyük zararlara yol açmaktadır (Gülersoy, 2013; Dengiz & Demirdağ Turan, 2014). Şehirler hızla değiştiğiçe, şehirlerin iklimi de buna paralel olarak değişmekte ve böylece kısa mesafelerde büyük farklılıklar görülmektedir (Demirci & Karakuyu, 2002; Karakuyu, 2002; Karl & Trenberth, 2003). Farklı arazi kullanımına sahip sahalar farklı sıcaklıklar göstermekte, kentlerin bazı noktaları daha sıcak bir hale gelirken bazı noktaları ise daha soğuk bir yapıya bürünmektedir.

Yer yüzeyinin radyan ya da ışınım sıcaklığı olarak tanımlanabilen yüzey sıcaklığı (YS); dünya yüzeyinde yer alan toprak, su yüzeyi, beşeri yapılar ve bitki örtüsünün sıcaklığını ifade etmektedir

(Cho vd., 2022; Rehman vd., 2022). YS; iklim değişikliği, arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin tespiti, çevresel ve doğal kaynakların doğru yönetilmesi gibi konularda başvurulan oldukça önemli bir parametredir (Akyürek, 2020; Gökdemir, 2020; Guo vd., 2021; Lata & Ghosh, 2022).

İzmir ve Manisa tarım, sanayi, eğitim ve turizm olanakları ile Ege Bölgesinin en önemli çekim merkezlerine dönüşmüş durumdadır. 1950'li yıllardan itibaren önemli bir nüfus toplama alanı olmaya başlayan İzmir uzun yıllar boyunca İstanbul'un ardından en fazla net göç alan il olurken, Manisa'da 1990'lı yıllarda bir sanayi şehrine dönüşmeye başlamış ve şehre üniversitenin de açılması ile nüfusu giderek artmıştır (Işık, 2009; Gülersoy, 2013; Işık, 2017). Hal böyle iken arazi örtüsü de hızla değişmiştir. Nüfus artıp arazi örtüsü değiştikçe kısa mesafelerde sıcaklıkların daha hızlı değişmeye başladığı görülmüştür (Tanrıku, 2006; Yavaşlı vd., 2018). Bu noktada sıcaklıkları etkileyen faktörlerin incelemesi ve bu doğrultuda tedbirler alınması önemli bir hale gelmektedir. Çalışma alanı olan İzmir ile ilgili birçok YS çalışması bulunurken, Manisa ile ilgili çalışmaların çok daha kısıtlı olduğu görülmektedir (Şahin vd., 2011; Yavaşlı, 2017; Yavaşlı vd., 2018; Oguz vd., 2019; Kesgin Atak, 2020; Şentürk & Çubukçu, 2022; Şenlik & Yılmaz, 2023). Çalışmalarda bölgeye ait güncel çalışmaların gerekliliği vurgulanmıştır. Bu çalışmada ise ortalama YS'nin dağılışı da belirlenmekle beraber, özellikle şehirlerin en sıcak ve en soğuk noktalarının nerede olduğu ve bu noktalarda belirlenen sıcaklıkların arazi kullanım şekli ile nasıl bir ilişkisinin olduğuna odaklanılmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır.

a) İzmir ve Manisa şehir merkezlerinde en yüksek ve en düşük YS'ye sahip noktalar nerelerdedir?

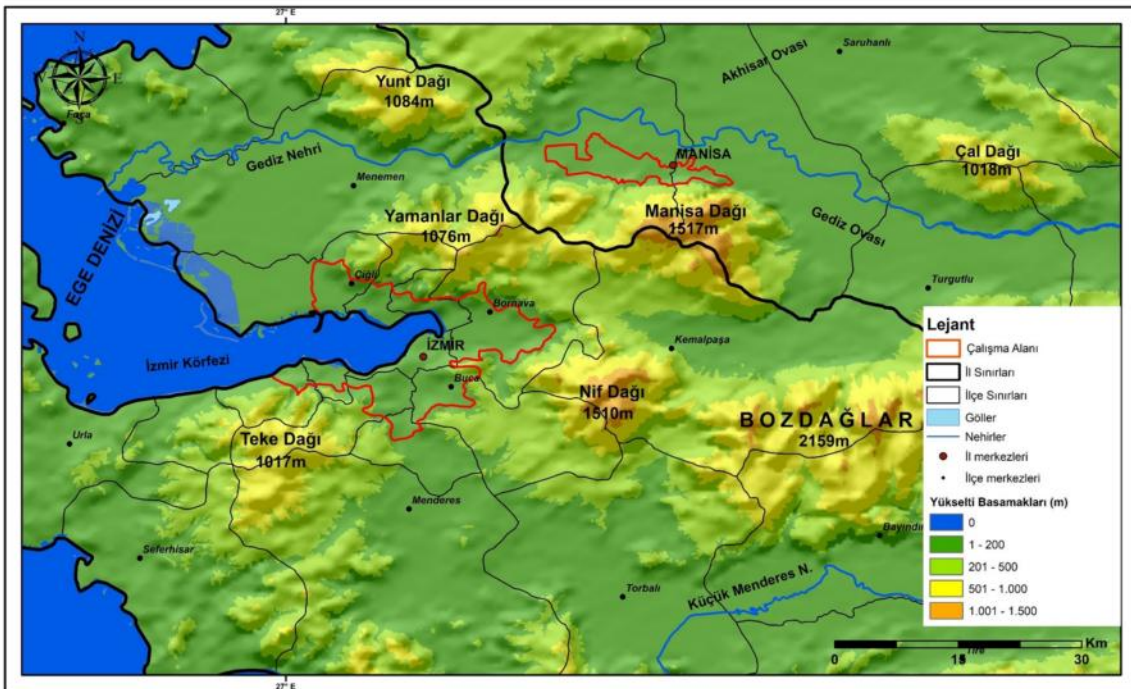
b) İzmir ve Manisa şehir merkezlerinde en yüksek ve en düşük YS'lere sahip noktalar ile arazi kullanımının arasında nasıl bir ilişki vardır?

## 2. Çalışma Alanı

İzmir ve Manisa şehirleri, Ege Bölgesinin, Kıyı Ege Bölümünde, İzmir-Urla ve Aşağı Gediz Yörelerinde yer almaktadır. Çalışma alanı olan Manisa şehir merkezi, Yunusemre ve Şehzadeler ilçe sınırları içinde yer alırken, İzmir şehir merkezi ise Balçova, Bayraklı, Bornova, Buca, Çiğli, Gaziemir, Karabağlar, Karşıyaka, Konak ve Narlıdere ilçe sınırları içinde yer almaktadır (Şekil 1).

Doğu-batı uzantılı Yamanlar Dağı ve Manisa Dağı iki şehir merkezi arasında doğal bir sınır oluşturmaktadır (Şekil 1). Manisa şehir merkezi Manisa Dağının eteklerinden başlayıp Gediz Nehrine doğru uzanmaktadır. İzmir şehir merkezinin ise batısında Ege Denizine kıyısı bulunmakta, kuzeyde Yamanlar Dağı, doğusunda Nif Dağı ve kuzeybatısında Teke Dağı gibi dağlık kütlelerce çevrelenmektedir. Ege Bölgesin karakteristik yapısı gereğince saha horst-graben yapısı göstermekte ve Manisa şehri, Gediz Nehrinin de içine yerleştiği graben sahasında yer almaktadır. Manisa şehrinin tamamı Kuvaterner alüvyonlarının üzerinde gelişmektedir. İzmir şehir merkezi ise çoğunlukla ayrılmamış Kuvaterner formasyonları üzerinde yer almaktadır. Ayrıca Konak civarında Alt-Orta Miyosen piroklastik formasyonlar ve Buca ile Gaziemir tarafında da Miyosen gösel karbonatları bulunmaktadır. İzmir ve Manisa şehir merkezlerinin içinde yer aldığı ilçeler, il bazında nüfus sayısının genellikle en yüksek olduğu ilçelerdir. Şehir merkezleri ilçelerin tamamını kapsamasa da en yoğun nüfuslu sahalarnı kapsamaktadır. 2023 yılı itibarıyla Manisa şehir merkezinin içerisinde yer aldığı ilçelerin nüfusu, toplam il nüfusunun yaklaşık %30'una denk gelirken, İzmir şehir merkezinin içerisinde yer aldığı ilçelerin nüfusu, toplam il nüfusunun %63,6'sına denk gelmektedir (Tablo 1).

CORINE arazi kullanım verilerine göre; Manisa şehir merkezi genel itibarıyla batı ve kuzeybatı doğrultuda gelişmektedir (Şekil 2). Şehrin doğu kesimini yerleşmeler oluştururken, batı kesimde genel olarak sanayi ve ticaret alanları bulunmaktadır. İzmir şehir merkezinin ise gelişmeye açık her yönde geliştiği, sanayi ve ticaret sahalarnın giderek alanlarını arttırdığı görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

**Tablo 1.** Çalışma alanı yerleşim birimlerinin 2023 yılı nüfus sayıları.  
**Table 1.** Population numbers of settlements in the study area in 2023.

Sıra	İlçe Ad	Nüfus	İlçe Ad	Nüfus
1	Buca	523.487	Yunusemre	270.726
2	Karabağlar	476.500	Şehzadeler	166.541
3	Bornova	447.553		
4	Karşıyaka	341.857		
5	Konak	327.300		
6	Bayraklı	300.949		
7	Çiğli	215.172		
8	Gaziemir	137.768		
9	Balçova	77.831		
10	Narlidere	62.148		
	Seçili İlçelerin Toplamı	2.848.417	Seçili İlçelerin Toplamı	437.267
	İl Toplam (İzmir)	4.479.525	İl Toplam (Manisa)	1.475.716

Manisa'da olduğu gibi sanayi sahaları ve yerleşmeler arasında keskin bir sınır olmadığı, şehrin farklı sahalarında sanayi ve ticaret alanlarının yer aldığı görülmektedir.

### 3. Veri ve Yöntem

Çalışma alanı olan İzmir ve Manisa şehirlerine ait YS verileri MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer/Orta Çözünürlüklü Görüntü Spektrometresi) uydusu veri sunucusundan temin edilmiştir. TERRA ve AQUA olarak iyi ayrı uydusu bulunan MODIS uydusu sistemine ait veriler Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) tarafından ücretsiz olarak sunulmaktadır. Çalışma alanına ait TERRA uydusu verileri ilk ölçüm tarihi olan 24.02.2000 tarihinden 26.02.2022 tarihine kadar olan dönemi kapsarken, AQUA uydusu verileri ise ilk ölçüm tarihi olan 04.07.2002 tarihinden 26.02.2022 tarihine kadar olan dönemi kapsamaktadır.

TERRA uydusu çalışma alanından yerel saatle yaklaşık olarak gündüz 11:40 ile gece 22:40'ta YS verisi toplarken, AQUA uydusu da yerel saat ile yaklaşık olarak gündüz 14:40 ile gece

03:40'ta YS verisi toplamaktadır (NASA/LAADS, 2024). Çalışmada MODIS uydusunun 1 km çözünürlüğe sahip YS verileri kullanılmasına rağmen uydular bulutlu sahalarda ölçüm yapamamaktadır. Lakin verilerin günün 4 farklı saatine ait olması ve 1 km çözünürlüğe sahip olması çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için yeterli olmuştur.

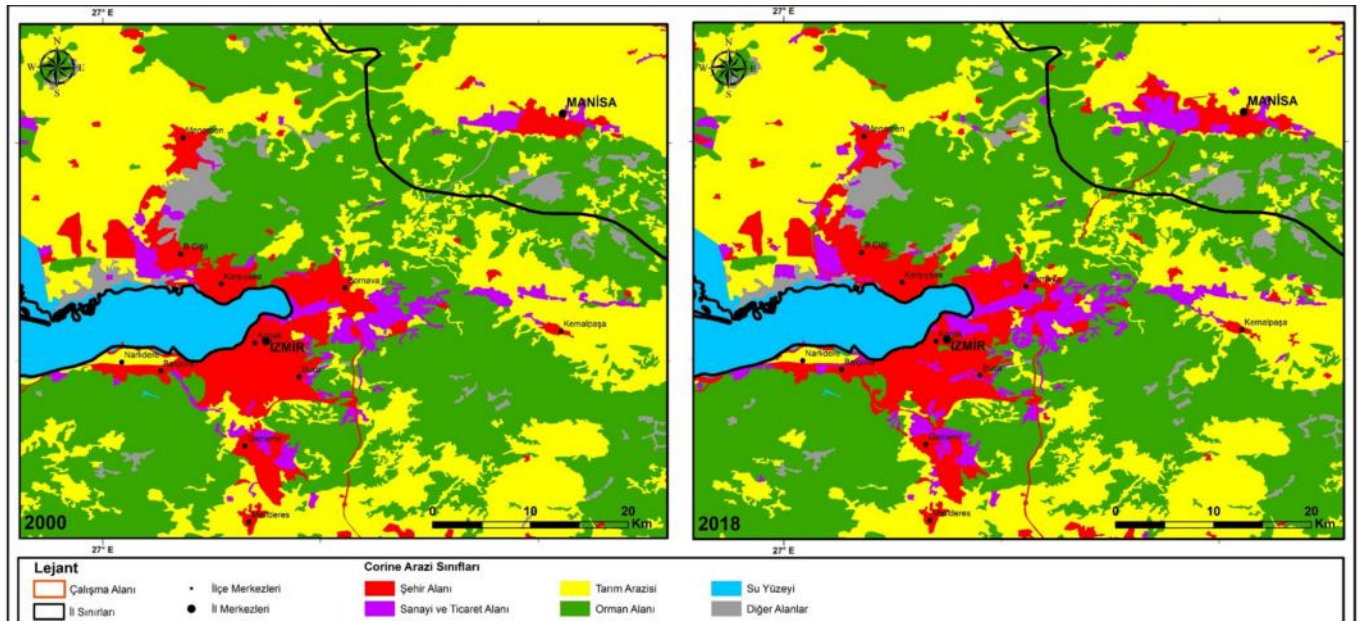
Çalışmada TERRA ve AQUA uydularından elde edilen veriler zaman serisine dönüştürülmüş, daha sonra bu zaman serisinden ortalama YS verileri üretilmiştir. Arazi kullanımının belirlenmesi için ise CORINE 2018 yılı verileri kullanılmıştır. YS ve arazi kullanım ilişkisinin doğru bir şekilde kurulabilmesi için YS ve arazi kullanım verilerinin çözünürlükleri düzenlenmiştir. Bunun için CORINE verilerinin 250 m çözünürlüğe sahip versiyonu 500 m'ye çevrilmiş, yine MODIS uydularında temin edilen YS verileri de 500 m çözünürlüğe göre IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi) yöntemi ile enterpole edilmiş ve haritalandırılmıştır.

### 4. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada öncelikle İzmir şehir merkezi, daha sonra ise Manisa şehir merkezinde belirlenen en yüksek ve en düşük YS'ye sahip noktalar verilecek, ayrıca söz konusu noktalar ile arazi kullanım şekli arasındaki ilişki ortaya konacaktır. Gerekli yerlerde ise literatüre başvurulacaktır. İzmir ve Manisa şehir merkezlerine ait en sıcak ve en soğuk noktaların ortaya konduğu haritalarda altlık olarak uzun yıllar ortalama YS verisi kullanılmış, bu haritalar üzerinde en sıcak ve en soğuk noktalar gösterilmiştir.

#### 4.1. İzmir Şehrinde En Sıcak ve En Soğuk Noktalar

İzmir şehir merkezinde gündüz saatlerine ait YS'ler incelendiği zaman, ayların büyük çoğunluğunda ve uzun yıllara ait ortalamalarda en sıcak noktalar, CORINE arazi kullanım haritasında şehrin kuzeyinde olduğu görülen Atatürk Organize Sanayi Bölgesinde (OSB) yoğunlaşmaktadır (Şekil 3) (Şekil 4). Saat 11:40 ölçümlerinde tüm sıcak noktalar Atatürk OSB içerisinde belirir (Fotoğraf 1), saat 14:40 ölçümünde ise 3 ay dışında yine



**Şekil 2.** Çalışma alanı için hazırlanmış sadeleştirilmiş CORINE arazi kullanım haritaları (CORINE 2000 ve 2018'den sadeleştirilerek yeniden oluşturulmuştur).

**Figure 2.** Simplified CORINE land use maps prepared for the study area (Simplified and reproduced from CORINE 2000 and 2018).



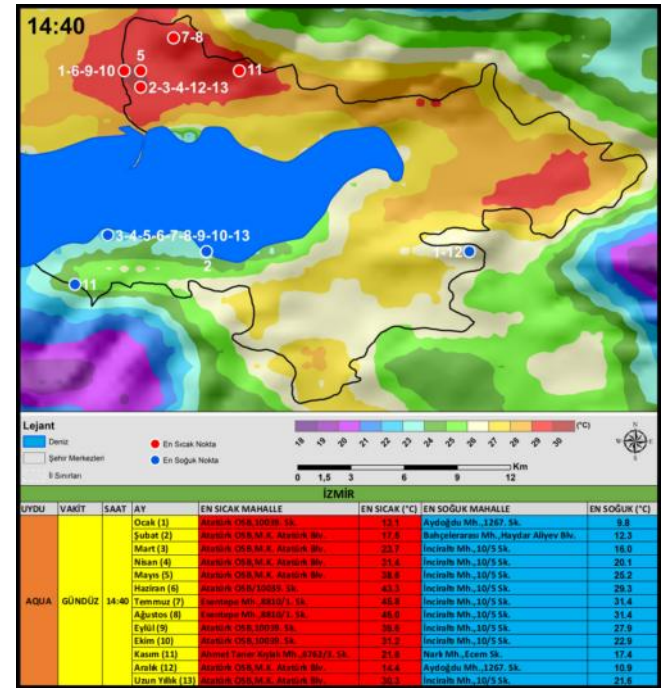
tüm sıcak noktaların Atatürk OSB içerisinde ortaya çıktığı görülmektedir. Sanayi bölgesinde neredeyse tüm sıcak noktaların belirmesinde, bu alanlarda kullanılan yapı malzemelerinin sıcaklıklarının daha hızlı artması ve antropojenik ısı yayımı önemli etkenler olarak karşımıza çıkmaktadır (Çiçek vd., 2013; Yılmaz, 2013). OSB dışında en sıcak noktaların Yamanlar Dağının eteklerine kurulmuş, güney ve güneybatı bakılarda bulunan mahallelerde ortaya çıktığı görülmektedir. Esentepe ve Ahmet Taner Kışlalı mahallerinde bakının önemli bir etken olduğu ve günün en sıcak zamanında bu mahallelerin en sıcak noktalar olarak belirmesinde etkili olduğu görülmektedir. Yaz aylarında en sıcak noktaların belirdiği Esentepe mahallesinde sıcaklıkların tüm yıl içerisindeki en yüksek seviyesine ulaştığı, temmuz ayında ortaya çıkan en sıcak noktada YS'nin 45.8 °C'ye eriştiği görülmektedir.

Gündüz saatlerinde en sıcak noktalar sanayi bölgesinde belirirken, en soğuk noktalar ise yerleşme sahalarında karşımıza çıkmaktadır (Şekil 3) (Şekil 4). En soğuk noktaların büyük çoğunlukla şehir merkezinin güneyinde denizin serinletici etkisine açık olan mahallelerde belirdiği görülmektedir (Yavaşlı, 2017). Bu mahalleler deniz kıyısına oldukça yakın İnciraltı ile Altevler mahalleleri ve biraz daha içerde kalan Narlı mahallesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Saat 11:40'ta tüm soğuk noktalar şehrin güneyindeki bu mahallelerde belirirken, saat 14:40'ta iki ay dışında tüm soğuk noktalar yine şehrin bu bölümünde belirir. Sadece aralık ve ocak aylarında şehrin güneydoğusunda bulunan Aydoğdu mahallesinde en soğuk noktaların ortaya çıktığı görülmektedir. Denizin serinletici etkisinin yanı sıra arazi kullanım haritasından da anlaşılacağı üzere İnciraltı ve Altevler mahalleleri tarım arazilerinin bulunduğu, yerleşmelerin ise diğer mahallelere kıyasla oldukça seyrek olan mahalleler olarak karşımıza çıkmaktadır. En soğuk noktaların Altevler mahallesinde havuzlu ve yeşil alanı geniş sitelerde (Fo



**Fotoğraf 1.** Atatürk Organize Sanayi Bölgesinde en sıcak noktaların dağılışı (11:40) (Google Earth).

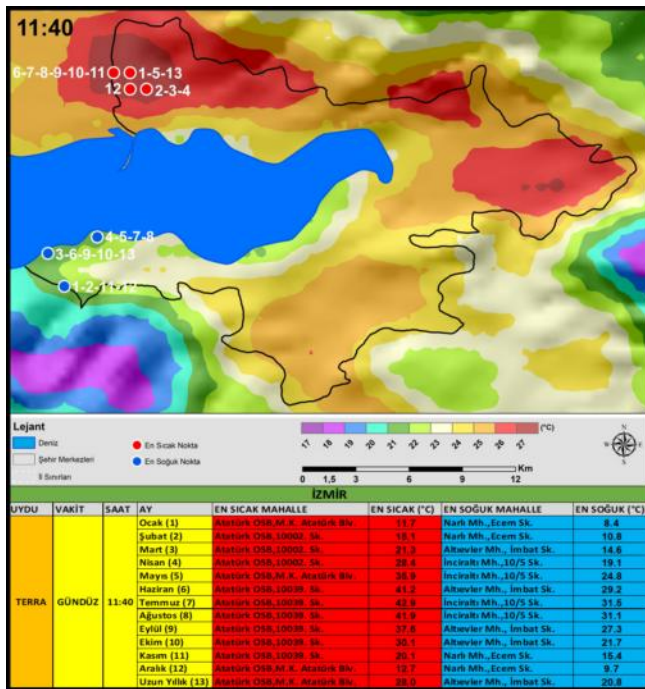
**Photo 1.** Distribution of the hottest spots in Atatürk Organized Industrial Zone (11:40) (Google Earth).



**Şekil 4.** AQUA gündüz ölçümüne göre İzmir şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktalar (14:40) (Haritada yer alan sayılar ayları ifade etmektedir).

**Figure 4.** The hottest and coldest spots in Izmir city center according to AQUA daytime measurement (14:40) (The numbers on the map represent the months).

toğraf 2), İnciraltı mahallesinde ise karışık tarım arazilerinde ortaya çıktığı görülmektedir. Narlı mahallesinde ise Teke Dağının yamaçlarından itibaren orman yoğunluğunun arttığı sahalarda en soğuk noktaların belirdiği görülmektedir. Bu mahallelerde özellikle su yüzeyleri ve yeşil alanların YS sıcaklığı üzerindeki etkisi net bir şekilde görülmektedir. Şehir içi yeşilendirme ve yapay su yüzeylerinin artırılmasının YS'yi düşürme konusunda pozitif bir etkisinin olduğu bu örnekler üzerinden



**Şekil 3.** TERRA gündüz ölçümüne göre İzmir şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktalar (11:40) (Haritada yer alan sayılar ayları ifade etmektedir).

**Figure 3.** The hottest and coldest spots in Izmir city center according to TERRA daytime measurement (11:40) (The numbers on the map represent the months).

den daha iyi anlaşılacaktır (Gökdemir, 2020; Kesgin Atak, 2020). Aydoğdu mahallesinde ise yapılaşmanın halen devam etmekte olduğu, seyrek bir yerleşme alanına sahip olduğu ve en önemlisi diğer mahallere nazaran yükseltinin daha fazla olduğu ve 300 metrenin üzerine çıktığı görülmektedir. Seyrek yerleşme ve yükseltinin YS üzerindeki etkisi bu mahallede kendini göstermektedir (Şenlik & Yılmaz, 2023).

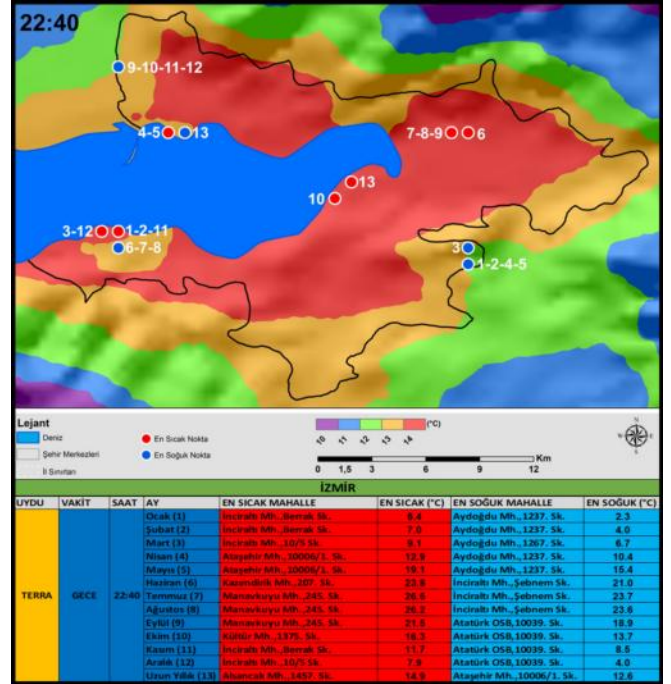
Gece saatlerinde ise en sıcak noktaların sanayi kesiminden yoğun yerleşme sahalarına doğru kaydığı görülmektedir (Şekil 5) (Şekil 6) (Fotoğraf 3). Ancak gündüzleri neredeyse tüm sıcak noktaların dar bir sahada kümelenmesinin aksine gece saatlerinde beliren sıcak noktalar farklı lokasyonlara dağılmaktadır. Saat 22:40'ta kış aylarında en sıcak noktalar İnciraltı mahallesinde belirirken, yaz aylarında ise birbirlerine komşu olan Manavkuyu ve Kazımdirik mahallelerinde karşımıza çıkmaktadır. Gece 03:40'ta ise kış aylarında en sıcak noktalar Altievler mahallesinde ortaya çıkarken, bahar ayları ve uzun yıllık ortalama Konak mahallesinde ortaya çıkmaktadır. Altievler ve İnciraltı mahallelerinde ise özellikle yerleşme ile sanayi ve ticaret alanlarının daha yoğun olduğu kıyı kesiminde en sıcak noktaların belirdiği görülmektedir. Ayrıca karışık tarım arazilerinde de en sıcak noktalar ortaya çıkmaktadır. Geceleri en yüksek sıcaklık temmuz ayında Manavkuyu mahallesinde 26.6 °C olarak belirlenmiştir. Sıcak noktaların belirlendiği tüm mahallerin ortak özellikleri; yoğun yerleşimin söz konusu olması ve büyük alışveriş merkezleri ile bankalar gibi insan ve araç yoğunluğu fazla olan mekanların bulunmasıdır. Ayrıca yerleşim sahalarını meydana getiren yapı malzemelerinin yüksek özgül ısıya sahip olmaları bu sahaların geç ısınıp geç soğumasına neden olmaktadır (Yılmaz, 2015; Şensoy vd., 2017) ve özellikle gece saatlerinde yüksek YS'ye sahip noktaların belirmesine sebep olmaktadır.

Gündüzleri en sıcak noktaların büyük çoğunluğu Atatürk OSB'de belirirken, gece saatlerinde bu sefer en soğuk noktala-



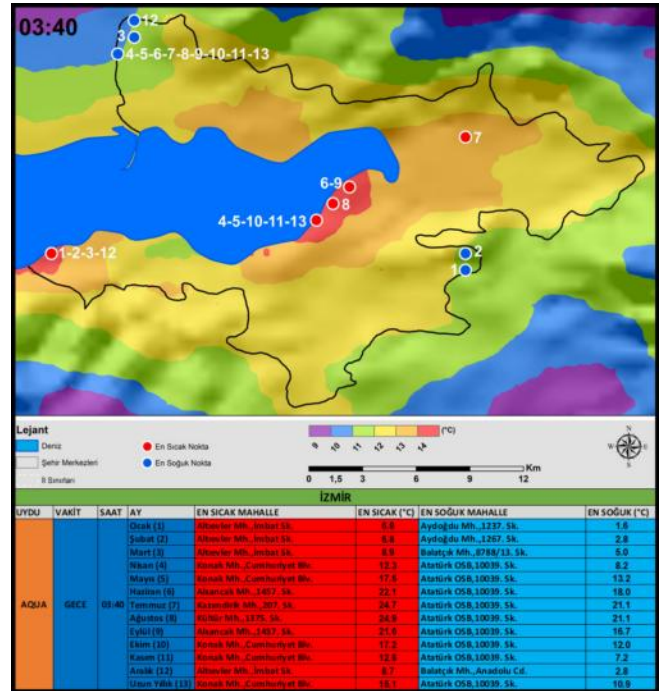
**Fotoğraf 2.** Altievler mahallesindeki havuzlu sitelerin yakınına ortaya çıkan en soğuk nokta (11:40) (Google Earth).  
**Photo 2.** The coldest spot emerging near the sites with pools in the Altievler neighborhood (11:40) (Google Earth).

rın belirdiği görülmektedir (Şekil 5) (Şekil 6). OSB bölgesinde hem üretimi yapılan hem de bu sahadaki yapıları meydana getiren demir ve çelik gibi özgül ısı düşük malzemelerin varlığı bu alanların gündüzleri çevrelerine kıyasla daha çabuk ısınma-



**Şekil 5.** TERRA gece ölçümüne göre İzmir şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktalar (22:40) (Haritada yer alan sayılar ayları ifade etmektedir).

**Figure 5.** The hottest and coldest spots in Izmir city center according to TERRA nighttime measurement (22:40) (The numbers on the map represent the months).



**Şekil 6.** AQUA gece ölçümüne göre İzmir şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktalar (03:40) (Haritada yer alan sayılar ayları ifade etmektedir).

**Figure 6.** The hottest and coldest spots in Izmir city center according to AQUA nighttime measurement (03:40) (The numbers on the map represent the months).



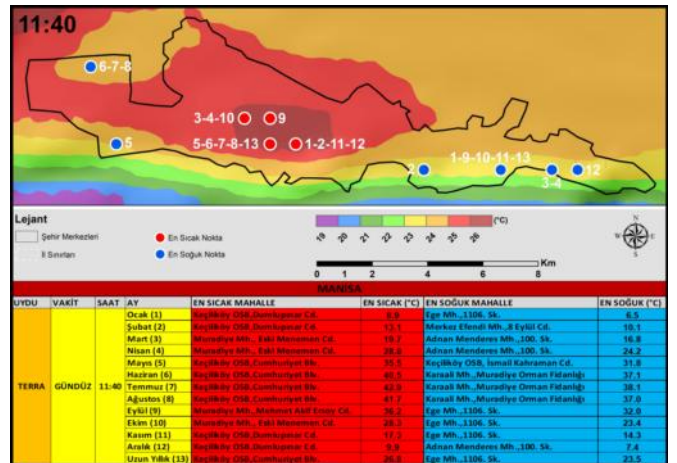
**Fotoğraf 3.** İzmir şehir merkezinde yerleşim sahasında en sıcak noktaların dağılışı (03:40) (Google Earth).  
**Photo 3.** Distribution of the hottest spots in the settlement area in Izmir city center (03:40) (Google Earth).

sına, geceleri ise daha çabuk soğumasına sebebiyet vermektedir (Yılmaz, 2013). Geceleri ayların büyük çoğunluğunda en soğuk noktaların OSB alanında belirdiği, bunun dışında ise gündüzleri de en soğuk alanların belirdiği Aydoğdu mahallesinde geceleri de soğuk noktaların ortaya çıktığı görülmektedir. Yine Aydoğdu mahallesinde seyrek yerleşmenin ve yükselti etkisinin YS değerlerine yansdığı anlaşılmaktadır.

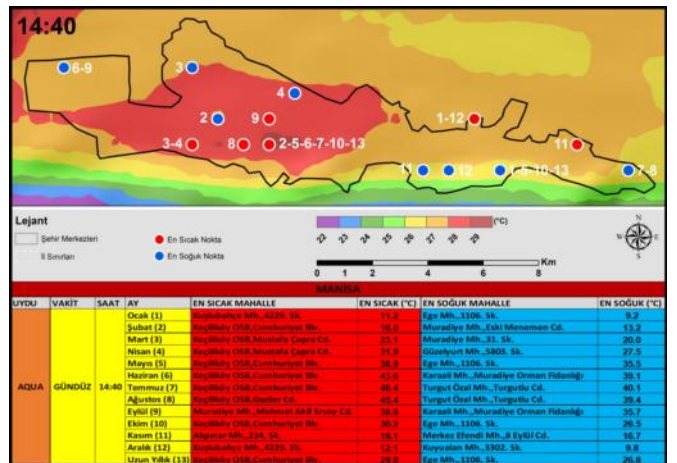
İzmir şehir merkezinde gündüzleri en sıcak (Esentepe mahallesi) ve en soğuk (İnciraltı mahallesi) noktalar arasındaki fark temmuz ayında 14.4 °C ile zirveye ulaşırken, geceleri en sıcak (Altievler mahallesi) ve en soğuk (Balatçık mahallesi) noktalar arasındaki fark aralık ayında 5.8 °C ile en yüksek seviyeyi görmektedir. Uzun yıllık ortalamalara göre ise günün en sıcak vaktinde en sıcak (Atatürk OSB) ve en soğuk (İnciraltı mahallesi) noktalar arasındaki sıcaklık farkı 8.7 °C iken, günün en soğuk vaktinde en sıcak (Konak mahallesi) ve en soğuk (Atatürk OSB) noktalar arasındaki fark 4.1 °C'dir.

#### 4.2. Manisa Şehrinde En Sıcak ve En Soğuk Noktalar

Manisa şehir merkezine ait ortalama YS'ler incelendiği zaman; gündüz saatlerinde en sıcak noktaların büyük çoğunlukla şehrin batı kısmında yer alan sanayi sahasında ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 7) (Şekil 8). Saat 11:40'ta tüm sıcak noktalar Keçilicöy OSB ve yakınında belirirken, 14:40'ta da birkaç istisna hariç yine en sıcak noktalar bu sahada belirir (Fotoğraf 4). İzmir şehrine benzer şekilde Manisa'da da OSB'de bulunan fabrikaların özellikle çatılarını oluşturan yapı malzemelerinin gündüz saatlerinde sıcaklıklarını hızla arttırdıkları anlaşılmaktadır. OSB'de YS'ler yıl boyunca en yüksek seviyesine erişmekte ve sıcaklık temmuz ayında 46.4 °C'ye kadar çıkmaktadır. Şehrin doğusunda beliren sıcak noktalar ise soğuk periyod diyebileceğimiz kışım, aralık ve ocak aylarında, şehrin kuzeyinde, Manisa dağından uzak ve daha düşük yükseltiye sahip, genellikle halen kömür ve soba ile ısınma ihtiyacını gideren Kuşlubahçe ve Akpınar mahalleleri gibi yerleşme sahalarında karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 7.** TERRA gündüz ölçümüne göre Manisa şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktalar (11:40) (Haritada yer alan sayılar ayları ifade etmektedir).  
**Figure 7.** The hottest and coldest spots in Manisa city center according to TERRA daytime measurement (11:40) (The numbers on the map represent the months).

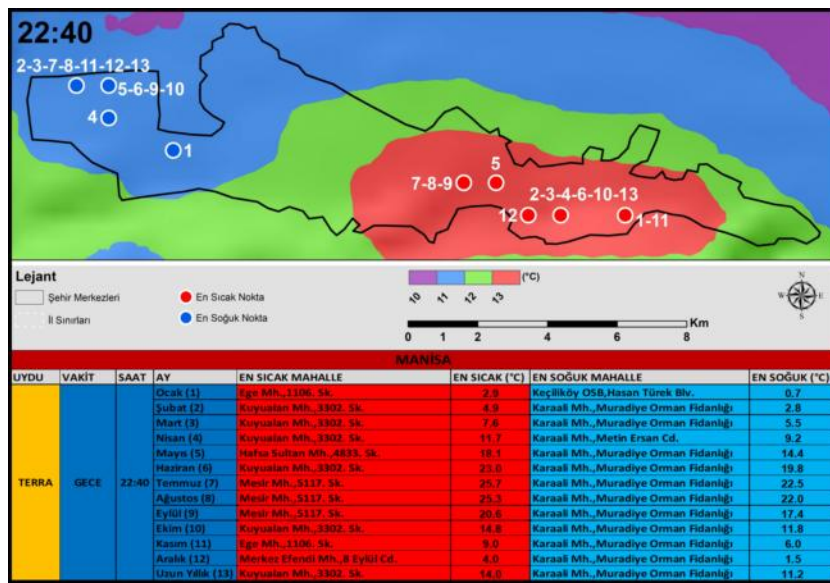


**Şekil 8.** AQUA gündüz ölçümüne göre Manisa şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktalar (14:40) (Haritada yer alan sayılar ayları ifade etmektedir).  
**Figure 8.** The hottest and coldest spots in Manisa city center according to AQUA daytime measurement (14:40) (The numbers on the map represent the months).



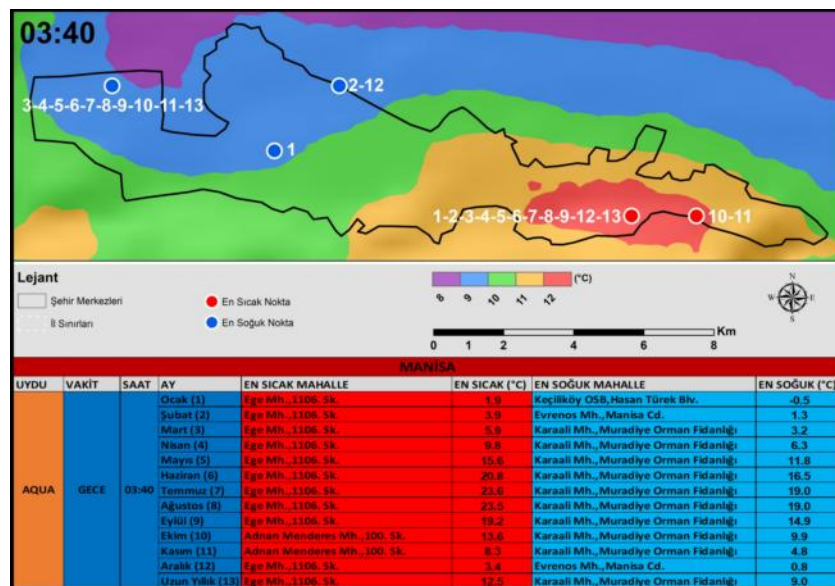
**Fotoğraf 4.** Keçiliköy Organize Sanayi Bölgesinde en sıcak noktaların dağılışı (14:40) (Google Earth).

**Photo 4.** Distribution of the hottest spots in Keçiliköy Organized Industrial Zone (14:40) (Google Earth).



**Şekil 9.** TERRA gece ölçümüne göre Manisa şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktalar (22:40) (Haritada yer alan sayılar ayları ifade etmektedir).

**Figure 9.** The hottest and coldest spots in Manisa city center according to TERRA nighttime measurement (22:40) (The numbers on the map represent the months).



**Şekil 10.** AQUA gece ölçümüne göre Manisa şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktalar (03:40) (Haritada yer alan sayılar ayları ifade etmektedir).

**Figure 10.** The hottest and coldest spots in Manisa city center according to AQUA nighttime measurement (03:40) (The numbers on the map represent the months).

Gündüz saatlerinde en soğuk noktaların belirdiği sahalara incelendiğinde, bu sefer çoğunlukla bu noktaların şehrin doğu kesiminde yerleşme sahalarda ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 7) (Şekil 8). Soğuk noktaların belirdiği Ege, Kuyulalan ve Merkezefendi mahallelerinin Manisa Dağına yakın, yükseltilerinin de sıcak noktaların belirdiği mahallelere kıyasla 15-20 m daha fazla olduğu görülmektedir. Daha doğu kesimde ise yerleşme yoğunluğunun daha az, mezarlık ve ormanlık alanların bulunduğu sahalarda da soğuk noktaların ortaya çıktığı görülmektedir. Saat 11:40'ta aralık ayında Manisa Şehir Hastanesinin çatısında en soğuk noktanın belirdiği görülmektedir. Burada binanın yüksekliğinin fazla olması ve dış cephesinin açık renkli olmasının (O'Malley vd., 2015; Yüksel & Coşkun Hepcan, 2023) etkili olduğu düşünülmektedir. Gündüz saatlerinde şehrin batı bölümünde beliren soğuk noktaların ise çoğunlukla Orman

Genel Müdürlüğüne (OGM) bağlı olan Muradiye orman fidanlığı ve yakın çevresinde ortaya çıktığı belirlenmiştir. Diğer aylarda ortaya çıkan en soğuk noktaların ise yapılaşmanın halen devam ettiği Muradiye mahallesi ile Güzelyurt mahallesinde havuzlu ve ağaçlandırma çalışması yapılmış sitelerin yakınlarında ortaya çıktığı görülmektedir. İzmir/Altevler mahallesinde görüldüğü gibi burada da yapay su yüzeylerinin ve şehir içi yeşil alanların önemi anlaşılmaktadır.

Gece saatlerinde en sıcak noktaların tamamının gündüz saatlerinin tam aksine Manisa şehir merkezinin doğusunda yer alan yerleşme sahasında belirdiği görülmektedir (Şekil 9) (Şekil 10) (Fotoğraf 5). Bu yerleşme sahalalarının başında Ege, Kuyulalan ve Mesir gibi mahallelerin geldiği görülmektedir. Özellikle Ege mahallesinde 22:40 ölçümlerinde de bazı aylarda en sıcak noktalar



**Fotoğraf 5.** Manisa şehir merkezinde yerleşme sahasında en sıcak noktaların dağılışı (22:40) (Google Earth).  
**Photo 5.** Distribution of the hottest spots in the settlement area in Manisa city center (22:40) (Google Earth).



**Fotoğraf 6.** Muradiye orman fidanlığı ve çevresinde en soğuk noktaların dağılışı (22:40) (Google Earth).  
**Photo 6.** Distribution of the coldest spots in Muradiye forest nursery and around (22:40) (Google Earth).

belirmekle beraber, 03:40 ölçümlerinde neredeyse tüm aylardaki en sıcak noktaların bu mahallede ortaya çıkması dikkat çekicidir. Şehirsel yerleşimin oldukça yoğun olduğu Manisa şehir merkezinde, yerleşmeleri meydana getiren yapı malzemelerinin geç ısınıp geç soğuması bu yerlerin özellikle gece saatlerinde en sıcak noktalar olarak ortaya çıkmasında etkili olmaktadır (Yılmaz, 2015; Şensoy vd., 2017). Bunun dışında gündüz saatlerinde bazı aylarda (mart, nisan) en soğuk noktaların belirlediği Adnan Menderes mahallesinde yer alan mezarlık ve ormanlık sahada, gece saatlerinde bazı aylarda (ekim, kasım) en sıcak noktaların belirlediği görülmektedir.

Geceleri ortaya çıkan en soğuk noktaların ise şehir merkezinin en batısında kümelenme gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 9) (Şekil 10). Gündüz saatlerinde de en soğuk noktaların ortaya çıktığı belirtilen Muradiye orman fidanlığı ve yakın çevresinde, gece saatlerinde, ayların neredeyse tamamında en soğuk noktaların belirlediği görülmektedir (Fotoğraf 6). Geriye kalan aylarda en soğuk noktaların Keçiliköy OSB'de, yerleşmelerin seyrek olduğu ve az katlı konutların bulunduğu Karaali mahallesinde ve Evrenos mahallesindeki tarım arazilerinde ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Muradiye orman fidanlığı yeşil alanların YS üzerindeki etkisinin anlaşılması açısından son derece önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Manisa şehir merkezinde gündüz saatlerinde en sıcak (Keçiliköy OSB) ve en soğuk (Turgut Özal mahallesi) noktalar arasındaki fark temmuz ayında  $6.3^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşırken, gece saatlerinde en sıcak (Ege mahallesi) ve en soğuk (Muradiye orman fidanlığı) noktalar arasındaki farkın yine temmuz ayında  $4.6^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaştığı görülmektedir. Uzun yıllık ortalamalara göre ise günün en sıcak vaktinde en sıcak (Keçiliköy OSB) ve en soğuk (Ege mahallesi) noktalar arasındaki sıcaklık farkı  $2.8^{\circ}\text{C}$  iken, günün en soğuk vaktinde en sıcak (Ege mahallesi) ve en soğuk (Muradiye orman fidanlığı) noktalar arasındaki fark  $3.5^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Her iki şehir merkezinde en yüksek ve en düşük YS'ye sahip noktalar incelendiğinde; şehirlerde, sanayi ve ticaret faaliyetlerinin yürütüldüğü sahalar ile yerleşme sahalarının, gündüz ve gece ölçümleri arasında zıt karakterler ortaya koyduğu görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda çoğunlukla şehir ve kırsal sahaların ayrımı, yüzey ısı adası ve şehir ısı adası gibi özellikler ortaya konulurken (Corumluoğlu & Asri, 2015; Yavaşlı, 2017; Yavaşlı vd., 2018), bu çalışmada ayrıca şehir merkezinin içerisindeki en sıcak ve en soğuk noktaların ayrımı da ortaya çıkmıştır. Normalde bir bütün olarak çevresine göre daha sıcak özellik gösteren şehir merkezleri kendi içlerinde de yapısal özellikleri gereğince gece ile gündüz arasında farklılık göstermektedir. Diğer çalışmalara benzer biçimde şehir merkezi içerisinde yer alan yapay su yüzeyleri ve ormanlık alanlar daha düşük sıcaklıklara sahiptir (Yılmaz, 2017; Khorrami & Gündüz, 2019; Gökdemir, 2020; Şenlik & Yılmaz, 2023). Diğer çalışmalar yerleşme sahaları ve sanayi bölgelerinin ısı tutma kabiliyetlerinden ötürü çevrelerine göre daha sıcak özellikler gösterdiğini ortaya koymuş (Tanrıku, 2006; Corumluoğlu & Asri, 2015; Yılmaz, 2017; Kesgin Atak, 2020), bu çalışmada da bu sonuçlar desteklenmekle beraber şehri oluşturan farklı yapıya sahip alanların gün içerisindeki sıcaklık değişimi de belirlenmiştir. Sanayi bölgeleri, yerleşme sahalarına göre daha düşük özgül ısıya sahip malzemelerden oluşması ve antropojenik ısı yayımının etkisiyle

gündüzleri çok daha sıcak olurken, geceleri de yerleşme sahalarına göre daha soğuk kalmaktadır (Çiçek vd., 2013; Yılmaz, 2013). Yerleşme sahalarının ise gündüzleri daha geç ısındığı ancak geceleri de daha geç soğudukları, böylelikle geceleri en sıcak noktaların buralarda ortaya çıktığı görülmüştür (Yılmaz, 2015; Şensoy vd., 2017). Corumluoğlu & Asri (2015)'nin çalışmasında İzmir de özellikle demir ve çelik fabrikalarında sıcaklıkların zirveye çıktığı görülürken, bu çalışmada da benzer sonuçlarla karşılaşılmış, bu tür alanların çok daha hızlı ısınmasında yapı malzemesinin etkisi ortaya çıkmıştır. Ayrıca Yılmaz (2017)'in çalışmasına paralel olarak İzmir de gündüzleri karışık tarım alanlarında en soğuk noktalar belirirken, söz konusu tarım alanlarında geceleri ise en sıcak noktaların belirlediği görülmüştür. Çalışmada arazi örtüsünün yanı sıra bakı ve yükseltinin de YS üzerindeki etkisi görülmüştür. Şenlik & Yılmaz (2023) tarafından yapılan çalışmada İzmir'de şehrin kuzey bölümünün gündüzleri bakı etkisiyle diğer kesimlere göre daha sıcak olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada da şehrin kuzey bölümünde güney ve güneybatıya bakan yamaçlarda bulunan mahallelerde öğleden sonraları en sıcak noktaların ortaya çıktığı görülmüştür. Aynı çalışmada Manisa ve İzmir şehirlerinde yükselti arttıkça YS'nin düştüğü belirtilmiş ve bu çalışmada da yükseltinin daha fazla olduğu mahallelerde en soğuk noktaların ortaya çıktığı belirlenmiştir. Şenlik & Yılmaz (2023)'ün çalışmasında Manisa ile ilgili bölümde gündüzleri şehrin batısında, geceleri ise şehrin doğusunda yüzey ısı adası oluştuğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde bu çalışmada da en sıcak noktaların batıda şehrin sanayi bölümünde, en soğuk noktaların ise doğuda yoğun yerleşme sahasında ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Şentürk & Çubukçu (2022, 2023) tarafından gerçekleştirilen ve İzmir şehir merkezini konu alan çalışmalarda; şehir merkezindeki kentsel soğuk alanların ve soğutma kapasitelerinin belirlenmesi amaçlanmış, bunun içinde Landsat 8 uydusundan, 2020 yılının sıcak dönemine (temmuz, ağustos, eylül) ait 3 günün YS verileri ile haritalandırma yapılmıştır. Landsat 8 uydusunun sabah saatlerinde (08:50) ölçüm yaptığı (NASA/LAADS, 2024) düşünüldüğünde, çalışmada sabah saatlerine ve seçilen günlere ait kentsel soğuk alanlar belirlenmiştir. Bu çalışmada ise 2000-2022 yılları arasındaki her günün 4 farklı ölçüm saatine ait YS verileri kullanılmış ve ona göre İzmir şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktalar belirlenmiştir. Bu yüzden çalışmalar arasında benzerlikler bulunmakla beraber bariz farklılıkların da olduğu görülmektedir. Örneğin her iki çalışmada da Atatürk OSB en sıcak sahalardan biri olarak belirirken, bu çalışmada geceleri OSB'de en soğuk noktaların belirlediği görülmüştür. Ayrıca gündüz saatlerinde benzer şekilde yerleşme sahaları soğuk alanlar olarak görülmekte ancak bu çalışmada gece saatlerinde bu durumun değiştiği anlaşılmaktadır.

## 5. Sonuç

İzmir ve Manisa şehir merkezilerindeki en sıcak ve en soğuk noktalar ile arazi kullanım ilişkisinin incelendiği bu çalışmada; en yüksek ve en düşük YS'ye sahip noktalar, 1 km çözünürlüğe sahip MODIS uydusunun, 2000-2022 yılları arasında, günün 4 farklı saatine ait YS verilerine göre belirlenmiştir. En sıcak ve en soğuk noktalar ile arazi kullanım ilişkisinin belirlenebilmesi için CORINE 2018 yılı arazi kullanım verilerinden faydalanılmış, farklı arazi kullanım türlerinin daha iyi görülebilmesi için ana sınıfların kullanılması tercih edilmiş ve sınıflar sadeleştirilmiştir.

İzmir ve Manisa şehirlerinde günün farklı saatlerinde, sanayi bölgeleri ile yerleşme sahaları arasında bir tezatlık olduğu, gündüzleri sanayi bölgelerinde en sıcak noktalar belirirken, en soğuk noktaların yerleşme sahalarında ortaya çıktığı görülmüş, geceleri ise en sıcak ve en soğuk noktaların yer değiştirdiği belirlenmiştir. Bu konuda en önemli faktörün söz konusu sahaları meydana getiren yapı malzemelerinin olduğu anlaşılmıştır. Sanayi bölgelerini oluşturan ve üretimi yapılan demir ve çelik gibi özgül ısı düşük malzemeler gündüz saatlerinde çok hızlı ısınmakta ve antropojenik ısı yayımının da yardımıyla en sıcak noktalar bu bölgelerde belirlemektedir. Yerleşme sahalarını oluşturan yapı malzemeleri ise daha yüksek özgül ısıya sahip olup, gündüzleri sıcaklıklarını sanayi bölgelerine göre daha yavaş arttırmakta ancak geceleri daha geç soğumaktadırlar. Bu özellikleri nedeni ile geceleri en sıcak noktalar yoğun yerleşme sahalarında ortaya çıkmaktadır. Ayrıca en soğuk noktaların belirdiği sahalarda, yerleşmelerin seyrek ve az katlı konutlar şeklinde olmasının da önemli olduğu görülmüştür.

Çalışmada yapay su yüzeyleri ve şehir içi yeşil alanların da önemi görülmüş, her iki şehir merkezinde en soğuk noktaların çoğunlukla havuzlu ve ağaçlandırma yapılmış sitelerde, ormanlarla kaplı mezarlıklarda ve fidanlıklarda belirdiği görülmüştür. En soğuk noktalarda arazi kullanımının yanı sıra bazı mahallelerde denizin serinletici etkisi, bakı ve yükseltinin etkisi de görülmüştür. Denizin serinletici etkisine açık olan mahallelerde ve diğerlerine kıyasla yükseltinin daha fazla olduğu mahallelerde en soğuk noktaların, güney ve güneybatı bakılarda ise en sıcak noktaların ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Birisi kıyıda bulunan, diğeri ise denize kıyısı olmayan bu iki farklı şehirde en sıcak ve en soğuk noktalar arasındaki sıcaklık farklarının da aynı derece olmadığı görülmüştür. Manisa'da gündüzleri en sıcak ve en soğuk noktalar arasındaki farkın temmuz ayında 6.3 °C'ye çıktığı, İzmir'de ise bu farkın yine temmuz ayında 14.4 °C'ye kadar çıkabildiği görülmüştür. Geceleri ise Manisa'da en sıcak ve en soğuk noktalar arasındaki fark temmuz ayında 4.6 °C iken, İzmir'de ise sıcaklık farkının aralık ayında 5.8 °C'ye çıktığı belirlenmiştir.

Çalışma alanı olan İzmir ve Manisa şehir merkezlerinde en yüksek sıcaklıkların belirlendiği sanayi bölgelerinin çevrelerine yeşil alan tamponlarının oluşturulması, yoğun yerleşmelerin olduğu sahalarda şehir içi yeşil alanların ve yapay su yüzeylerinin artırılması ve özellikle İzmir'de geleceğe yönelik şehir planlamalarında denizden gelen serinletici rüzgar etkisine daha açık yerleşme sahalarının tasarlanması yüksek YS'lerin önüne geçmekte faydalı olacaktır.

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

**Katkı Oranı Beyanı/Contribution Rate Declaration:** Çalışmanın giriş ve sonuç bölümleri Y. F. Ş. tarafından hazırlanmıştır. Makalenin yöntem, bulgular ve tartışma bölümleri Y. F. Ş. ve E. Y. tarafından hazırlanmıştır. *The introduction and conclusion sections of the study was prepared by Y. F. Ş. The method, results and discussion sections of the article were prepared by Y. F. Ş. and E. Y.*

**Etik Kurulu Onayı/Ethics Committee Approval:** Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

## Kaynakça

- Akyürek, Ö. (2020). Termal uzaktan algılama görüntüleri ile yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi: Kocaeli örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 377–390. <https://doi.org/10.21324/dacd.667594>
- Cho, D., Bae, D., Yoo, C., Im, J., Lee, Y., & Lee, S. (2022). All-sky 1 km MODIS land surface temperature reconstruction considering cloud effects based on machine learning. *Remote Sensing*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/rs14081815>
- Corumluoglu, O., & Asri, I. (2015). The effect of urban heat island on İzmir's city ecosystem and climate. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5), 3202–3211. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2874-z>
- Çiçek, İ., Yılmaz, E., Türkoğlu, N., & Çalışkan, O. (2013). Ankara şehirde yüzey sıcaklıklarının arazi örtüsüne göre mevsimsel değişimi. *International Journal of Human Sciences*, 10(1), 621–640. <https://www.j-humansciences.com/ojs/index.php/ijhs/article/view/2466>
- Demirci, A., & Karakuyu, M. (2002, 11-13 Nisan)., *Küresel iklim değişimi ve Türkiye'nin fiziki ve beşeri coğrafyası üzerindeki olası etkileri* [Konferans sunumu]. Klimatoloji Çalıştayı, İzmir, Türkiye.
- Dengiz, O., & Demirdağ Turan, İ. (2014). Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistem teknikleri kullanılarak arazi örtüsü / arazi kullanımı zamansal değişimin belirlenmesi: Samsun merkez ilçesi örneği (1984-2011). *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 1(1), 78–90. <https://doi.org/10.19159/tutad.45474>
- Gökdemir, N. (2020). *Yapay su yapılarının yer yüzey sıcaklığı değişimine olan etkilerinin meteorolojik veriler ve uydu görüntüleri ile araştırılması: Afyonkarahisar örneği* (Yayın No. 651776) [Yüksek lisans tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Guo, D., Wang, C., Zang, S., Hua, J., Lv, Z., & Lin, Y. (2021). Gap-filling of 8-day terra MODIS daytime land surface temperature in high-latitude cold region with generalized additive models (GAM). *Remote Sensing*, 13(18), 3667–3685. <https://doi.org/10.3390/rs13183667>
- Gülseroy, A. E. (2013). Farklı uzaktan algılama teknikleri kullanılarak arazi örtüsü/kullanımında meydana gelen değişimlerin incelenmesi: Manisa merkez ilçesi örneği (1986-2010). *Journal of Turkish Studies*, 8(8), 1915–1934. <https://doi.org/10.7827/turkishstudies.5232>
- Işık, Ş. (2009). 1995-2000 döneminde İzmir'e yönelik göçler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 52, 9–16. <https://doi.org/10.17211/tcd.74165>
- Işık, Ş. (2017). 21. yüzyılın başında İzmir'in iller arası göçlerdeki konumunda ne değişti? *Ege Coğrafya Dergisi*, 26(1), 1–19. <http://dergipark.gov.tr/ecd/issue/31186/338971>
- Karakuyu, M. (2002). Şehirleşmenin küresel iklim sapmaları

- Karl, T. R., & Trenberth, K. E. (2003). Modern global climate change. *Science*, 302(5651), 1719–1723. <https://doi.org/10.1126/science.1090228>
- Kesgin Atak, B. (2020). Analysing the relationships between land use / land cover and urban land surface temperature using regression tree in İzmir. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 41, 280–291. <https://doi.org/10.32003/igge.632841>
- Khorrami, B., & Gündüz, O. (2019, 11-15 Kasım). *Uzaktan algılama ve CBS'nin yüzey sıcaklığı ve kentsel ısı adası tespit ve analizinde uygulanması* [Konferans sunumu]. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, Antalya, Türkiye.
- Lata, R., & Ghosh, S. (2022). Assessing the impact of spatio-temporal land cover changes on land surface temperature using satellite data in Beas Valley, Himachal Pradesh, India. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 986(1), 1–15. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/986/1/012050>
- NASA/Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System (2024). *Orbit tracks and overpass times*. NASA / L A A D S . [https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/view-data/#:Sentinel\\_2B\\_Orbit\\_Dsc;@31.2,38.4,6.4z](https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/view-data/#:Sentinel_2B_Orbit_Dsc;@31.2,38.4,6.4z)
- Oguz, H., Doygun, N., Kisakurek, S., & Ozcalik, M. (2019). Calculating surface temperature of İzmir, Turkey. *Journal of Architecture, Engineering & Fine Arts*, 1(2), 36–46. <https://dergipark.org.tr/en/pub/artgrid/issue/51326/664786>
- O'Malley, C., Piroozfar, P., Farr, E. R. P., & Pomponi, F. (2015). Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. *Sustainable Cities and Society*, 19, 222–235. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.05.009>
- Rehman, A., Qin, J., Pervez, A., Khan, M. S., Ullah, S., Ahmad, K., & Rehman, N. U. (2022). Land-use/land cover changes contribute to land surface temperature: a case study of the upper Indus Basin of Pakistan. *Sustainability*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020934>
- Şahin, M., Yıldız, B. Y., Şenkal, O., & Peştemalci, V. (2011). Uydu verileri kullanılarak İzmir şehir merkezinin yer yüzey sıcaklığının tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 36–45. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.95357>
- Şenlik, Y. F., & Yılmaz, E. (2023). MODIS verilerine göre İzmir ve Manisa şehirleri ve çevresinde yüzey sıcaklık dağılışı ve eğilimleri. *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(1), 51–68. <https://doi.org/10.51800/ecd.1223028>
- Şensoy, S., Şahin, L., Yılmaz, E., Türkoğlu, N., Çiçek, İ., Darrende, V., & Yazıcı, B. (2017, 16-19 Ekim). *Antalya yüzey ısı adası özelliklerinin uydu verileri ile analizi* [Konferans sunumu]. III. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, Antalya, Türkiye.
- Şentürk, Y., & Çubukçu, K. M. (2022). Kentsel soğuk alan soğutma kapasitesinin araştırılması, İzmir örneği. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 1(1), 106–126. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/csid/issue/69388/1102333>
- Şentürk, Y., & Çubukçu, K. M. (2023). Kentsel mekânda soğutma yayılımının araştırılması, İzmir örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 21(2), 453–480. <https://doi.org/0.33688/aucbd.1340464>
- Tanrıku, M. (2006). *İzmir'de şehirleşmenin sıcaklık ve yağış üzerine etkisi* (Yayın No. 186947) [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Yavaşlı, D. D. (2017). Spatio-temporal trends of urban heat island and surface temperature in Izmir, Turkey. *American Journal of Remote Sensing*, 5(3), 24–29. <https://doi.org/10.11648/j.ajrs.20170503.11>
- Yavaşlı, D. D., Ölgen, K., & Zoğal, V. (2018). Are summer resorts cooler in summer? A case study of İzmir province. *Aegean Geographical Journal*, 27(2), 127–134. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ecd/issue/41304/499202>
- Yılmaz, E. (2013). *Ankara şehrinde ısı adası oluşumu* (Yayın No. 336553) [Doktora tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Yılmaz, E. (2015). Landsat görüntüleri ile Adana yüzey ısı adası. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 13(2), 115–138. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000167](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000167)
- Yılmaz, E. (2017). Türkiye'nin bazı şehirlerindeki ısı adası özellikleri. İçinde F. Arslan (Ed.), *Türkiye coğrafyası araştırmaları-Prof. Dr. Mesut Elibüyük'e armağan* (ss. 177–204). PEGEM Akademi.
- Yüksel, A. T., & Coşkun Hepcan, Ç. (2023). Kentsel yüzey sıcaklığı ve mavi-yeşil altyapı ilişkisi: Karşıyaka örneği. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1), 91–98. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.1214763>





## Uşak şehirde çıkmaz sokakların morfolojik analizi

### Morphological analysis of dead end streets in Uşak city

Üzeyir Yasak<sup>a\*</sup>  Cahitcan Sıtmaç<sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Marmara Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya, İstanbul, Türkiye.

<sup>b</sup> Uşak Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Coğrafya, Uşak, Türkiye.

ORCID: Ü. Y. 0000-0002-2728-239X; C. S. 0009-0003-9512-6510

#### BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 24.05.2024

Kabul/Accepted: 29.08.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Şehirselen morfoloji

Çıkmaz sokak

Uşak

#### Keywords:

Urban morphology

Dead end street

Uşak

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(Ü. Yasak) uzeyir.yasak@marmara.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1489470



#### Atf/Citation:

Yasak, Ü., & Sıtmaç, C. (2024). Uşak şehirde

çıkma sokakların morfolojik analizi. *Türk*

*Coğrafya Dergisi* (86), 57-69.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1489470>

#### ÖZ/ABSTRACT

Çalışmanın kapsamını Anadolu şehri morfolojisindeki cadde-sokak dokusunun önemli bir kısmını oluşturan çıkmaz sokaklar oluşturmaktadır. Artan nüfus ve değişen toplumsal ihtiyaçlar ekseninde yeni planlama süreçleri, çıkmaz sokaklarının karakteristik özelliklerini etkilemiştir. Dolayısıyla bu değişimin hem morfolojik hem de toplumsal olarak nasıl ortaya çıktığı anlamak önemlidir. Araştırma, Uşak'taki çıkmaz sokakların mahalle düzeyinde dağılımını haritalamayı, morfolojik özelliklerini ve kullanım biçimlerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Araştırma sonucunda Uşak'ta 79 çıkmaz sokak olduğu tespit edilmiştir. Şehrin ilk kurulduğu ve şehri doğu-batı istikametinde ikiye bölen karayolunun kuzeyinde bulunan Aybey, Işık, Karaağaç ve Sarayaltı gibi mahallelerde çıkmaz sokakların sayısı daha fazladır. Kentsel sit alanının içinde bulunduğu mahallelerde bu tür sokaklar yoğun olarak görülmektedir. Morfolojik özellikleri bakımından çıkmaz sokaklar, saf ve sızdıran tip olarak ikiye ayrılmıştır. Osmanlı şehirlerine özgü ivicaçlı, dar ve organik bir doku sergileyen çıkmaz sokakların aksine, Uşak'taki çıkmaz sokaklar düzdür ve alan derinliğini en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan geometrik bir planlama yaklaşımını yansıtır. Tarihî konutlarla çevrili geleneksel çıkmaz sokaklar çalışma alanında bulunmamaktadır. Bunun yerine, bu sokaklar tek katlı konutlar veya yer yer 3-4 katlı apartmanlarla çevrelenmiştir. Sonuç olarak çalışmada, Uşak'taki gelenekselden modern şehir planlamasına geçişi ve bunun şehrin sokak yapısı üzerindeki etkisi vurgulanmaktadır.

*This study focuses on dead-end streets, which are an important part of the urban fabric in Anatolian cities. Modern planning, driven by population growth and changing social needs, has influenced the characteristics of these streets. The research aims to map the distribution of dead-end streets in Uşak at the neighborhood level and to analyze their morphological features and usage patterns. Uşak has 79 dead-end streets. These streets are more prevalent in older neighborhoods such as Aybey, Işık, Karaağaç, and Sarayaltı, which are among the earliest established parts of the city. Dead-end streets are also common in areas designated as urban protected zones. Dead-end streets in Uşak are categorized into two types: pure and leaky. Unlike the winding, narrow dead-end streets typical of Ottoman cities, which exhibit an organic texture, those in Uşak are straight and lack an ending, reflecting a geometric planning approach aimed at maximizing area depth. Traditional dead-end streets surrounded by historical dwellings are absent in the study area. Instead, these streets are bordered by single-storey houses or multi-storey apartment buildings. As a result, the study highlights the transition from traditional to modern urban planning in Uşak and its impact on the city's street structure.*

## Extended Abstract

### Introduction

The physical form of residential areas is studied in urban morphology. It also studies the formation of urban texture compositions and the correlations of these compositions over time. The physical designs of the cities inside them have reflected the local community's values, customs, and social systems from the time of their development until the present. The landscape that reflects culture is formed by the dominant ideological perspective in the place.

According to Yerasimos (1996), the city roads consist of the main street, the streets leading from the main street to the neighborhoods and the inner streets of the neighborhood. The smallest of these parts are the inner streets. From this point of view, street and alley systems are considered as one of the elements that make up the city morphology. The organic structure, topography, climate, roads reaching the old city core and planning processes are effective in the emergence of this system. The roads are grouped as "tarik-i amm" (public road) and "tarik-i hass" (private, dead-end street) in the records of the Ottoman şer'iyye registers.

The aim of this study is to make a morphological analysis of the dead-end streets in the historical and cultural context of the city of Uşak. In doing so, the form, shape and use cases of dead-end streets have been determined. In addition, it is aimed to determine the distribution of dead-end streets at the neighborhood scale and why they are there.

### Method

A percentage calculation has been made in order to evaluate the ratio of all dead-end streets according to neighborhoods. The ratio of the number of dead-end streets in a neighborhood to the dead-ends in the entire study area was found. The data were subjected to density classification according to the choropleth mapping method within the scope of quantitative mapping.

Street and alley systems, especially dead-end streets, have been covered descriptively in the city of Uşak within the framework of public, semi-public, semi-private and private space descriptions in the literature. In addition, dead-end streets are formally examined as curved and straight. Then, the situations in the context of classification made as **pure and leaky** within the framework of usage practices were revealed.

### Results and Discussion

Dead end streets, which are seen in crooked and winding form in Anatolian cities due to privacy, were not included in such a sociological formation process in Uşak city due to planning principles.

It is believed that the Aybey Neighborhood is the oldest neighborhood of Uşak. In addition, in the north of the city of Uşak in general (according to the İzmir-Ankara Highway), in Aybey and the surrounding neighborhoods, the fact that dead-end streets are seen more densely than other neighborhoods pro-

ves this.

The "Vakıf Çıkmazı" is the only dead-end roadway that has a curved shape but lacks the texture of organic tissue. 1. Karakıran and 2. Karakıran dead ends lead to Karakıran Street. Thus, Karakıran Street provides semi-public space for both of these dead ends. Both dead-end streets are leakproof and straight in shape. It is observed that the morphological feature of the Karatekeli Dead-end street located in the Unalan Neighborhood has changed during the study process. While this dead-end street was a leakproof dead-end street on 18.01.2024, it was seen that it was opened on the date of the second land study. That's why it has the appearance of a leaky type dead-end street nowadays. The Eğri Dead-end street located in the Aybey Neighborhood is straight and pure, contrary to its name. The Eğri Dead-end street surrounded by single-storey residential buildings is distinguished from many other dead-end street on the study site by this feature.

In the study, the existence of 79 dead-end streets in the city of Uşak on the scale of neighborhoods was determined. When we examine the placement of dead-end streets, we may conclude that history and culture, which contributes to the urban morphological appearance, play a significant part. Among the reasons why history and culture are taken as a factor for the distribution of dead-end streets in Uşak;

1. The information that the current city of Uşak is located lower than the area where it was first established,
2. Information that the Old Uşak is further north than the area where he is currently located,
3. In the vicinity of the urban protected area (including the Grand mosque), the number of dead-end streets is higher than in other neighborhoods,
4. The urban protected area is located north of the highway dividing Uşak in east-west direction and the Dokuz Sele Stream and the three mentioned streets within its boundaries are the region that formed the first settlements in Uşak.

It is observed that the dead-end streets of Uşak city do not correspond to the organic texture of traditional Anatolian cities from a morphological point of view, in terms of usage practices and in the context of the sociological situation it contains. Thus, it is seen that the reason why dead-end streets can continue to exist is culture and history, while the determinant of their forms are planning principles and modernization movements that do not carry organic street texture forms.

### 1. Giriş

Günümüzde şehirlerin morfolojik görünümü, somut olan şekil, stil ve işlevler tarafından oluşur. Bu işlevlerde heterojenlik görülmesine rağmen, ortak kültürel işaretleri temsil ederler ve katkıda bulunduğu kültürel miras bölgesinin mozaik bütünü oluştururlar (Mascari vd., 2009). Her yerleşim, farklı morfolojik birimlerin oluşturduğu mozağin bütün halidir. Bu birimler, gelişim dönemi, yapı tarzı veya işlevselliğine göre sınıflandırılabilir (Gordon, 1984). Şehirlerin morfolojisinde, tarihsel süreçteki

teknolojik ve çevresel yoksunlukların ardında, bir dizi sosyal etkilerin veya uygulamaların (ekonomik, yasal, dini vb.) işlevi bulunmaktadır. Şehirsel morfoloji, yerleşim alanlarının fiziksel formlarını inceler. Ayrıca, şehirsel dokunun bileşimlerinin oluşumunu ve bu bileşimlerin zaman içerisindeki korelasyonlarını inceler (Chiaradia, 2019). Şehirlerin sahip olduğu uzun geçmiş ve bu geçmişin oluşturduğu sürecin dinamikliğinden etkilenen biçimsel formlar, bina örüntülerinden makro formlara kadar, şehirsel morfolojinin ilgi alanına girmektedir (Özdemir vd., 2022). Şehirsel morfoloji, insan yerleşimlerinin fiziksel formlarını, mekânsal düzenlemelerini ve insanların bu formlarla zaman içinde nasıl etkileşime girerek kullandıklarını inceler (Zhang vd., 2023). Şehirsel morfoloji alanı, coğrafya ve tarih gibi birçok bilimin tarihiyle gelişim göstermiştir (Özbek Eren, 2020). İnsanlığın önemli bir dönüm noktası olan şehirler, sosyal, iktisadi, tarihî, dinî, mimari ve estetik yönleriyle ön plana çıkan yaşam alanlarıdır (Can, 2012). Şehir merkezleri, insanın kültürel kazanımının en üst düzeydeki fiziksel ifadeleridir. Bu nedenle şehirsel biçim analizleri coğrafyacılar için önemli bir işlev taşıyor (Cleef, 1932; 239).

Farklı dillerde aynı anlamda kullanılan kelimelerin çeşitliliği ve kavramların soyut halleri yüzünden peyzaj kavramının anlaşılması güçtür. Bu bağlamda ele alınabilecek "environment" sözcüğü, yaşamımızı destekleyen bütünlüğü ifade ederken, "landscape" ise kültürümüzün yansıması olarak görülür. Dolayısıyla insan, sırasıyla "environment" ve "landscape" arasında bulunan bir köprüdür (Arı, 2005). Şehirler için yapılmış tariflerde öne çıkan öğelerden birisi de kültürdür. Kültür ve şehir birlikte ele alındığında, her iki kavramın, insan yaşamının ayrılmaz parçalarını oluşturduğu açıktır. Bu iki kavram arasındaki etkileşim, beşeriyet ve şehirsel mekân bağlamında yapıcı ve karşılıklıdır (Taşçı, 2014). Kültür, zaman ve insan bağlamında kurulan üçgenin merkezinde şehirler yer almaktadır. Kültürler, doğal olanı (environment) kendi soyut yapılarından çıkararak peyzaja (landscape) dönüştürmektedirler (Arı & Köse, 2005). 1900'lü yıllardan bu yana kültürel peyzaj terimi uluslararası alanda ve coğrafya disipliniinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Taylor & Lennon, 2011; Çatalbaş & Ecemiş Kılıç, 2022). Araştırmacılar, toplumların kültürel özelliklerini anlamının önemli ve gerekli olduğunu savunmuştur (Taylor & Lennon, 2011). İnsanların ikamet ettiği ve faaliyetlerini gerçekleştirdiği şehirler, kültürel peyzaj alanlarıdır (Tolun-Denker, 1976). Yapılar mimarlık ile şekillenirken, mekânlar tasarlanmış bir peyzaj aracılığıyla anlam kazanır ve anlatıcı ya da aktarıcı işlevi üstlenir (Sınmaz & Özdemir, 2016). Şehirsel mekânın aktarmak istediği dil; doğal karakter, yapılı çevre, planlama, ekonomi, kültür, etik, inançlar, algı ve estetik gibi kodlar aracılığı ile ifade edilir. Bu çerçevede şehirsel morfoloji, şehirsel veya kültürel peyzajı okumamızı sağlayan yardımcı bir perspektif olarak görülebilir ve kullanılabilir (Özbek Eren, 2020).

Şehirlerin inşa sürecinden günümüze kadar sahip oldukları fiziksel yapı, o şehrin toplumunun inanç, adet ve toplumsal örgütlenme biçimlerinin somut yansımaları olarak ortaya çıkar. Bu bağlamda kapitalist toplumlarda "eco-centrik", komünist toplumlarda "sosyo-centrik" ve Müslümanlarda ise "teo-centrik" bir şehir modeli ortaya çıkmıştır (Demirci, 2012). Kültürü yansıtan peyzaj, mekândaki çoğunluğun ideolojik dünya görüşüne göre şekillenir (Arı, 2005). İnsan ve doğal ortam ilişkisinin doğurduğu sonuç, kültürel peyzajdır (Thornbush, 2015). Bu iliş-

kinin ve etkileşimin odak noktasında bulunan mekân, kültürel özelliklerden de etkilenerek sürekli değişen dinamik bir işlev kazanmaktadır (Karakaş, 2019). Mekânı işleyen süreçler sonucunda şehirsel görünüm oluşmaktadır (Çobanlı & Ceylan, 2023). Mekân, yapısında ve oluşumunda toplumsal içeriği barındırdığı için sosyolojik bir özelliğe sahiptir. Bu sosyolojik özellik toplumun kültürleri vasıtası ile oluşturulduğu bir yerdir (Kızıltepe, 2014). Toplumca benimsenmiş ve olgunlaşmış kültürel ve sosyal bağlamların ortaya çıkardığı teknik pratikler, şehirsel birimlerin tasarımlarını şekillendirir (Bajunid vd., 2013). Literatürde "yapılandırılmış" veya "inşa edilmiş ortam" kavramlarının kültürel peyzaj yerine kullanıldığı görülmektedir (Arı, 2005; 314). Şehir, çoğu zaman yapılı mimari olarak tanımlanır (Mihaila, 2014).

Şehirsel coğrafya, bir şehrin hizmet verdiği veya fonksiyonel açıdan ilişkili olduğu diğer sahaları, alanları veya bölgeleri incelemenin yanı sıra, şehrin iç yapısını ve örüntüsünü de analiz etmeyi amaçlar. Bu inceleme sırasında, şehrin mevcut fiziksel formunu oluşturan işlevler ve şehrin geçirdiği mekânsal evrim süreçleri dikkate alınır (Gutenshwager, 1962). Mekânın morfolojik yapısı genel bir bakış ile ilk olarak fiziki etmenleri göz önünde bulundurularak somut bir görüntü var etse de kendisine dayanak oluşturan sosyolojik etmenler dizgesini zamanın ruhuyla eşleştirmektedir (Durukan & Öztürk, 2021). Bir şehrin yapısını anlamak için o şehri yalnızca fiziki özelliklerine göre incelemek kapsamı daraltan veya doğru sonuçtan uzaklaştırabilen bir deneyim sunabilir. Şehirler, barındırdığı toplumca benimsenen kültürün mekânsal yansıması sayesinde oluşturulmuş biçimsel (morfolojik) yapı ile tanımlanmalıdır. Şehrin fiziki yapısının oluşumunda başlıca etkenler sosyo-kültürel yapısının gelişimi ile ekonomik bağlamdaki gelişimdir (Saf & Ergül, 2019). Şehri oluşturan mahalleler de fiziki şartlardan ziyade, sosyo-kültürel etkenler neticesinde oluşan yerleşim birimleridir (Bayartan, 2005b). Anlam, anlayış, ifade etme, bakış açısı oluşturma gibi üzeri örtülü bir durumda şehir morfolojisinde yer edinen gelenekler, referans olarak kültür, antropoloji, hafıza, alışkanlıklar ve tarihi ele alır (Mihaila, 2014). Kültüralist bir bakış açısı morfolojik oluşum etkenleri hiyerarşinin en üst noktasına kültür olgusunu koyar ve morfolojiyi oluşturacak olan mekanizmanın sorumluluğunu kültüre atfeder (Groat, 1992).

Kültürel bir bileşen olarak ortaya çıkan şehir mimarisi ile ilgili ilk gözlemler, Mihaila (2014) tarafından şehir manzarası, şehrin ikonik profili, doğal peyzajın varlığı ve gelenekler olarak belirtilmiştir (Mihaila, 2014). Bu sayede ulaşım ağını oluşturan yolların varlığı ve konutlar, şehirlerin biçimsel görünümünü oluşturur denilebilir. Bu görünüm o şehrin tarihinde de yatabilir. Yerasimos'a göre şehir yolları ana cadde, ana caddeden mahallelere açılan sokaklar ve mahallenin iç sokaklarından oluşmaktadır. Bu kısımların en küçük olanı iç sokaklardır (Yerasimos, 1996). Bu yönüyle şehir morfolojisini oluşturan unsurlardan biri olarak cadde ve sokak sistemleri kabul edilir. Bu sistemin ortaya çıkışında organik yapı, topografya, iklim, eski şehir nüvesine ulaşan yollar ve planlama süreçleri etkilidir (Aliğaoğlu, 2003). Yollar, Osmanlı şer'iyye sicilleri kayıtlarında "tarîk-i âmm" ve "tarîk-i hâss" şeklinde gruplandırılmıştır (Şimşek, 2023). "**Tarîk-i âmm**" kamusal yolu yani caddeleri ve geniş sokakları ifade ederken, "**tarîk-i hâss**" özel, tahsisli yol ve çıkmaz yol anlamına gelmektedir (Parlatır, 2006; 1634). Keleş (2021)'e göre çıkmaz sokaklar; şehirdeki hareketliliğin sebep olduğu gürültü ve gü-

venlik kaygısı etkenleriyle düzenlenen, bir çıkışı bulunan ve diğer ucu ulaşım kapalı yol veya yerdir (Keleş, 2021; 41). Geleneksel sokak dokusunu oluşturan değişkenlerden çıkmaz sokak, biçimsel yönleri ile kendi toplumsal ve mekânsal farklılığını oluşturmaktadır (Kızıltepe, 2018). Şehirler, dönemin baskın toplum değerlerinin ve yaşam tarzının caddeler, sokaklar, konutlar ve yapılar aracılığıyla somut bir biçim alması sonucunda şekillenir (Can, 2012).

Şehir morfolojisi için önemli olan iki soru Chiaradia'ya (2019) göre açıklayıcı ve kuralcı olarak ikiye ayrılmaktadır. Açıklayıcı (explanatory) olan soru şehrsel formun nasıl ve neden inşa edilmesi, şehrsel formun insanların yaşamı ve refahı üzerindeki etkisine cevap arar niteliktedir. Kuralcı (normative) soru ise şehirleri hangi biçimde inşa etmeye çalışmamız gerektiğinin cevabını aramaktadır (Chiaradia, 2019). Çıkmaz sokaklara kültürel etkinin varlığı için ikinci soru arka planda bulunurken, ilk soru bu çalışmanın amacını oluşturan kapsamın temel sebebini oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı tarihî ve kültürel bağlamda Uşak şehri özelinde çıkmaz sokakların morfolojik bir analizini yapmaktır. Bunu yaparken çıkmaz sokakların biçim, şekil ve kullanım durumları belirlenmiştir. Ayrıca çıkmaz sokakların mahalle ölçeğinde dağılımlarının ve neden orada olduklarının tespiti amaçlanmıştır.

### 1.1. Çıkmaz Sokaklar - Literatür Değerlendirmesi

Şehirleşmenin, belirli bir alandaki doğal ve beşerî ortam üzerindeki etkisini ve gelişimini kontrol eden doğal süreçlerin antropojenik yapıları nasıl değiştirebileceğini inceleyen araştırma alanı şehrsel morfolojidir (Thornbush, 2015). Şehrsel form analizi ile ilgili konular interdisipliner bir yayılım göstermekte ve mimarlar, plancılar, coğrafyacılar, tarihçiler ve hatta arkeologlar tarafından farklı bakış açıları ile çalışılmaktadır (Gauthiez, 2004). Şehir ile ilgili morfolojik çalışmaların temel amacı kültürel peyzajın parçalarını oluşturan yerleşimlerin tanımlanması ve yorumlanmasıdır. Yalnızca doğal ortamın şehre etkisini değil, bütün olarak şehrin örüntüsünü oluşturan sokak düzeni ve biçimini şekillendiren binalarla da ilgilenir. Şehrsel morfolojiye yansıyan doğal ve tarihî faktörler, orijinal şehir düzeni ve kültürel unsurların baskın etkisini içerdiği için coğrafyanın ilgi alanına girmektedir (Cleef, 1932; Dickinson, 1934). Şehrsel peyzaj, mekânsal kararları kısıtlayan veya yönlendiren bir çerçevedir. Mekâna kişilik verir. Süreç içerisinde sosyo-ekonomik ve teknolojik gelişmeler, şehirleri biçimsel ve fonksiyonel olarak etkilemektedir (Fuchs & Ford, 1983). Şehirlerin tarihleri, şehir dokusunun zenginleşmesine sebebiyet verirken, yaşam alanlarının şekillenmesi, şehirlilik bilinci bağlamında bireyi ve toplumu etkin bir hale getirmektedir (Kaypak, 2010).

Şehirler, kuruldukları çekirdeklerden çevrelerine doğru bir gelişim göstermektedirler (Özdemir & Yasak, 2024). Sanayi öncesi toplumların oluşturduğu şehirlerde merkezî yerlerin kökeni klasik bir üçlüye bağlıdır. Bunlar; şato (idari fonksiyon), pazar (ticari fonksiyon) ve tapınaklardır (toplantılar halinde yapılan ibadet) (Gottmann, 1976). Bu bağlamda sanayi öncesi İslam şehirlerinde değişkenlik göstermeyen unsurlar cemaat camisi ile sük denilen sürekli pazar ve merkezde bulunan hamamlardır (Acun, 2002; Kejanlı, 2010; Tümertekin & Özgüç, 2014). İslam şehrinin diğer unsurları ise birçok araştırmacının ifade ettiği gibi dar, dolambaçlı ve çıkmaz sokaklar ve iç avlulu konutlardır (Yerasimos,

1996; Acun, 2002; Bayartan, 2005a; Bayartan, 2017). Osmanlı'da mahalleler etnik olarak homojenlik gösteren yerleşim yerleri olarak bilinmektedir (Acun, 2002; Düzbakar, 2003). Osmanlı'da her nahiyenin merkezinde bulunan ulu cami, yalnızca ibadetin değil ayrıca şehir yaşamının farklı yönlerinin de merkeziydi. Külliye içerisinde bulunan halka yönelik medrese gibi eğitim-öğretim amaçlı yapılarıdaki kurslar bunu kanıtlamaktadır (İnalçık, 1990). Ulu cami, Anadolu şehirlerinde merkezî cami konumundaki ibadethanelerdir (Şahinalp & Günel, 2012). İslam şehrinin ayırt edici özelliklerinden biri, şehrin merkezi kısmında Cuma namazının kılındığı büyük bir caminin bulunmasıdır (Uğur & Aliagaoglu, 2019). Klişeleşmiş bir İslam şehri modeli bir cami, saray, kale, pazar (çarşı) ve içe dönük konutların bulunduğu yerleşim bölgelerinden oluşmaktadır (Al-Sayyad & Türel, 2009). Şehrsel şekillerin, toplumsal ve kültürel özellikler ile birlikte insan-çevre ilişkisinin mekân üzerinde yansımalarının net karşılığının sağlandığı alanların İslam şehirleri olduğu düşünülmektedir (Tümertekin & Özgüç, 2014). Örneğin Bağdat dairevi planlı olarak kurulmuş, bu dairevi alan surlarla sınırlanmış ve dairenin merkezine saray ve cami yapılmıştır. Merkezden surla doğru uzanan caddeler, ışınal olarak inşa edilmiştir (Cezar, 1977). Camiler, İslam şehirlerindeki en önemli kamu binasıdır. Bu özelliğiyle camiler toplumsal mekân olarak görülmektedir (Biçakçı & Yıldırım, 2018).

Toplu yapılan ibadet ve mahremiyet olgusu çerçevesinde oluşan İslam şehrinin fiziki yapısı, nüfusun rastgele yayıldığı, plansız ve kendiliğinden oluşan bir yerleşim değildir (Belge, 2023). İslam şehirlerinde cadde ve sokak sistemi toplumun kültürü çerçevesince oluşturulmuştur (Can, 1992). Osmanlı'da organik sokak dokusuna sahip olan şehirler, cemaat ilişkilerinin yaşandığı bir kültürü simgelemektedir (Kızıltepe, 2014). Cerasi'ye (2001) göre büyük merkezler, konut yoğunluğunun etkisiyle çıkmaz sokakların oluşumuna imkân sağlamıştır (Cerasi, 2001). Ancak çıkmaz sokakların oluşumunda en belirleyici etkenin iklim özellikleri olduğunu belirten çalışmalar da bulunmaktadır (İncili & Akdemir, 2016). 1800'lü yıllardan itibaren sosyolojik ve mekânsal açıdan görülen değişimler, şehri, modernite alanına dönüştürmeye başlamış ve bu durum mahalle, cadde ve sokak yapılarında değişime neden olmuştur (Kızıltepe, 2014). Şehirlerin süreç içerisinde değişim yaşadıkları muhakkaktır (Biçakçı & Yıldırım, 2018). Modern yapıya uymayan çıkmaz sokaklar zamanla çıkmaz işlevini yitirmiş ve sayıları azaltılmıştır (Kızıltepe, 2014). Ancak, batılı akademisyenlerce karmaşık veya plansız bir düzene sahip gibi görünen bu sokaklar, aslında işlevsel ve akılcıdır (Belge, 2023). Osmanlı şehrinin yol düzeni kuralıdır ve genel olarak dardır. Almanlar, bu cadde ve sokak şebekesini "Orientalische Grundriss" olarak adlandırdıkları "doğu" yol tipolojisi ile açıklamışlardır. Çıkmaz sokaklar, doğulu bünyenin belirtisi olarak görülür ve sona ulaşmayan yollar olarak tanımlanır (Stewig, 1966). Osmanlı şehirlerinin plansız olarak tanımlanmasındaki vurgu, yol şebekesinin şekilsel eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Cerasi, 2001).

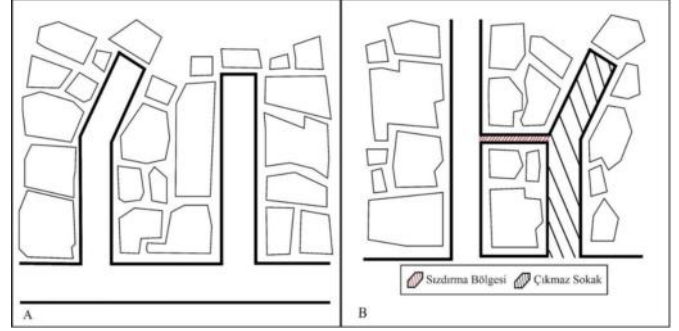
İslam şehrinin özellikleri ile ilgili yapılan, akademik düzeyde kabul gören ilk çalışma oryantalist bir Fransız olan William Marçais'e aittir (Abu-Lughod, 1987; Uysal, 2020). Marçais, çalışmasında sık sık İslam şehirlerindeki çarşı ile camii arasındaki etkileşimi vurgulamış, hamamların da bu şehirler açısından karakteristik özelliklere sahip olduğunu aktarmıştır (Marçais, 1928; 97). Coğrafya alanında Türkiye'de çıkmaz sokaklar ile ilgili

ilk çalışmalardan biri Aliağaoğlu (2003) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada şehir morfolojisinin başlıca unsurları olan cadde ve sokak sistemleri ile konutlar incelenmiştir (Aliağaoğlu, 2003). Günümüzde, çıkmaz sokaklar ile ilgili Türkiye’de yapılan coğrafi çalışmalar yalnızca Osmanlı şehirleri, İslam şehirleri ve şehir coğrafyası alanları ile sınırlı olmakla beraber bu çalışmaların ancak küçük bir kısmı çıkmaz sokaklar ile ilgilidir (Aliağaoğlu & Uğur, 2016; Belge, 2023). Aliağaoğlu (2003) çalışmasında topografik özelliklerin baskısı yüzünden oluşan merdivenli sokaklara yer vermiştir. Bu tip sokaklar, daha detaylı bir şekilde ve şehrsel morfoloji bağlamında Şikoğlu (2022) tarafından Keban şehrinde araştırmaya tabi tutulmuştur. Yapılan çoğu şehrsel morfoloji çalışmasının aksine Keban yerleşmesi için yapılan çalışma (Şikoğlu, 2022) şehirde dokuyu oluşturan başlıca etkenin topografik etkenler olduğu yönündedir. Keban yerleşmesinin tipolojik olarak araştırılmasına dayanan bu çalışma, yine Türkiye coğrafya literatüründe sık rastlanmayan mekân dizim analizi (space syntax) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir (Şikoğlu, 2022). Mekân dizim yöntemi kullanılarak yapılan farklı disiplinlere ait çalışmalar da bulunmaktadır (Eskidemir, 2016). Bunlar dışında Kalak tarafından Siverek şehrinde çıkmaz sokakların dağılımı çalışılmıştır. Literatürde çıkmaz sokakların dağılımını gösteren ender çalışmalardan biri mimarlık disiplini çerçevesinde oluşturulmuştur (Kalak, 2021).

Mekânsal açıdan şehrsel morfoloji ile cadde ve sokak sistemlerinin incelendiği farklı tarzda ve farklı yerleşimlere ait birçok çalışma bulunmaktadır (Dickinson, 1934; Stewig, 1966; Aliağaoğlu, 2003; Kaypak, 2010; Sınmaz & Özdemir, 2016; Eskidemir, 2016; Aliağaoğlu & Uğur, 2016; Kahraman, 2020; Dinç, 2021; Şikoğlu, 2022). Cadde-sokak sistemleri ile ilgili olarak ise Sınmaz ve Özdemir (2016) Türkiye’den örnekler ile lineer, ışınsal, konsantrik, semer, yay ve muhtelif biçimli şehrsel makroform bağlamında şehirlerin tipolojik karakterlerini incelemiş, daha sonra Siverek’in morfolojik gelişim sürecini, tipolojik özelliklerini ve planlama sürecini irdelemiştir (Sınmaz & Özdemir, 2016). Bunlar dışında yapılmış İslam şehirleri ile ilgili şehrsel morfoloji çalışmalarının birçoğunda çarşı veya ulu cami gibi özellikle belirtilen ve bu tip şehirlerin geneli açısından hamam, çeşme ve sur gibi imgeleşmiş yapılara atf yapılmaktadır (Marçais, 1928; Al-Sayyad, 1987; İnalıcık, 1990; Can, 1992; Bayartan, 2005a; Yıldız, 2011; Demirci, 2012; Tümertekin & Özgüç, 2014; Kuban, 2017; Uğur & Aliağaoğlu, 2019; Dinç, 2021). Örneğin, Çorum şehri gibi cami ve çeşme çevresinde oluşan yerleşimler de bulunmaktadır (Aktüre, 1975).

Cadde ve sokak sistemlerine sosyolojik bakış açısı, mekâna derinlik ve insan-şehir ilişkisine beşerî bir perspektif kazandırmaktadır. Bu çerçevede kamusal ve özel alan ile ilgili yapılan ilk çalışmalar 1960’lı yıllarda başlamıştır (Eren, 2005). Kamusal alan ve özel alan kavramları, karşılıklı barındırdığı için dikatomik bir çerçevede incelenmesi gereken mekânsal kullanım pratikleri sonucunda oluşmuş yaklaşımlardır. Birbirine zıt bu kavramların birleşerek oluşturduğu dikatomik bakış açısı, şehrsel mekânın sosyolojik bütünü oluşturacak parçaları yansıtmaktadır. Bu bağlamda kamusal alan, bireyin, herkese ait olan çevredeki sivil yaşam alanıdır (Demir & Sesli, 2007). Bu yüzden bireyler evlerinden çıktıklarında, kamusal alana girerler. Evler ise o bireylerin özel alanlarıdır (Güdücü, 2015). Özel alan, ev içi alandır. Kamusal alan ise, tüm topluma ait olan alandır (Drummond, 2000).

Bu yüzden kamusal ve özel alanlar, şehrin mekânsal bütünlüğünü oluştururlar. Ayrıca kamusal mekân olarak nitelendirilen caddelere açılan daha küçük caddeler veya sokaklar yarı kamusal alan olarak tanımlanır. Eve (özel mekân) ulaşımın sağlandığı son sokak veya cadde ise yarı özel mekandır. Tüm bu bakış açılarının yanında 2000’li yıllardan beri çıkmaz sokaklar morfolojik olarak saf çıkmaz sokak ve sızdıran çıkmaz sokak başlıkları altında sınıflandırılmaktadır. Sızdıran tipteki çıkmaz sokaklar, yaya ulaşımı sağlayan ve bunları birbirine bağlayabilen niteliktedir. “Sızıntı yapan” bu sokaklar neredeyse ızgara tipi planlı bir bölge kadar erişilebilir olabilmektedir (Şekil 1 B). Ancak saf çıkmaz sokaklar (Şekil 1 A) -İslam şehirlerinde sıkça görüldüğü gibi- geçirgen olmayan bir haldedir (Cozens & Love, 2009).



**Şekil 1.** Saf-sızdırmayan tip çıkmaz sokak. (Gözüm (2019)’den esinlenerek hazırlanmıştır.) (A). Sızdıran tip çıkmaz sokak. (Gözüm (2019)’den esinlenerek hazırlanmıştır.) (B).

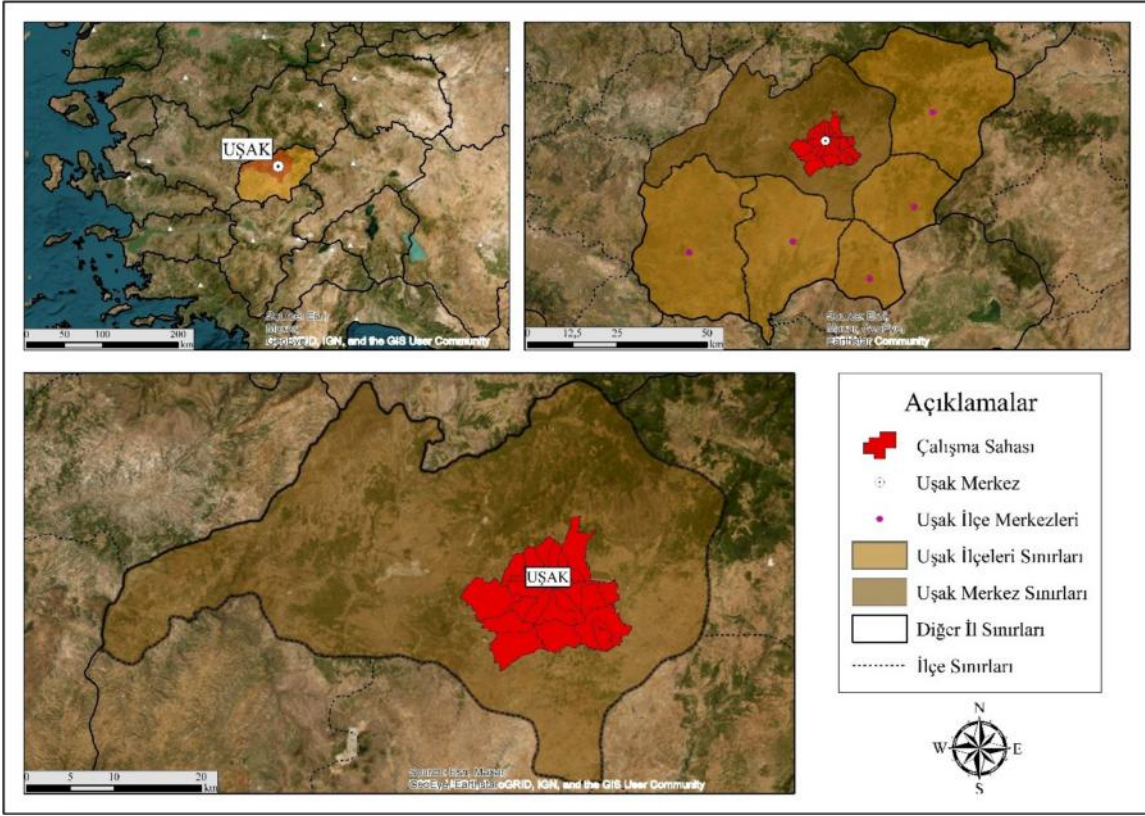
**Figure 1.** Pure-leakproof type dead-end street. (Prepared with inspiration from Gözüm (2019).) (A.). Leaky type dead-end street. (Prepared with inspiration from Gözüm (2019).) (B.).

## 1.2. Çalışma Sahası’nın Genel Özellikleri

İç Batı Anadolu bölümünde dalgalı bir plato karakteri gösteren Gördes-Uşak yöresinde (Darkot & Tuncel, 1978) yer alan (Şekil 2) Uşak şehrinde yerleşme tarihi eski dönemlere kadar (milattan önce 4000 civarı olduğu düşünülmektedir (Koçan, 2015)) uzanmaktadır (Yasak & Sıtmaç, 2024). Bu durum özellikle beylikler döneminden Osmanlı’ya kadar, Anadolu Türk İslam geleneğinin şehre hâkim olmasını sağlamıştır (Tutsak, 2001). Çalışma sahasını oluşturan Uşak şehri, Uşak ilinin kuzeybatısındaki merkez ilçede yer almakta ve ilin idari fonksiyonunu oluşturmaktadır (Deniz & Topuz, 2018; Sezer vd., 2018). Günümüzde Uşak şehri İzmir-Ankara karayolunun üzerinde bulunmakta ve bu durum şehrin alansal yayılışını etkilemektedir (Adıgüzel & Balta, 2021). Tüm bu özelliklerin, şehrin gelişiminde ve konutlar ile cadde-sokak sistemleri gibi şehrin morfolojik yapısında etkili olduğu anlaşılmaktadır (Sayan, 1997). Her şehirde olduğu gibi Uşak’ta da mekânsal gelişim yönünü etkileyen başlıca unsur topografyadır. Uşak şehri gelişimini ova yöneliminde göstermektedir (Doğanay & Deniz, 2015). Günümüzde Uşak şehri 29 mahalleden oluşmaktadır.

## 2. Yöntem

Bu araştırmada öncelikle çalışma konusu ile ilgili yerli ve yabancı literatür analiz edilmiştir. Daha sonra literatürdeki yaklaşımlar dikkate alınarak ilgili kurumlardan ikincil veriler ve harita altlıkları temin edilmiştir. Çıkmaz sokakların bulunduğu 17 mahalle için analizler yapılmıştır. Çıkmaz sokaklar ile ilgili elde edilen veriler ve bunların mahalle ölçeğinde oranları 1/1000 ölçekli imar paftalarının altlığında ArcMap 10.8 programında



Şekil 2. Çalışma sahasının lokasyon haritası.

Figure 2. Location map of the study area.

sayısallaştırılmıştır. Tüm çıkmaz sokakların, mahallelere göre oranının değerlendirilebilmesi için yüzde hesabı yapılmıştır. Böylelikle bir mahalledeki çıkmaz sokak sayısının tüm çalışma sahasındaki çıkmazlara oranı bulunmuştur. Sayı ve oran ile ilgili veriler Excele eklendikten sonra ArcMap programında sayısallaştırılmış olan polygon verilere geri dönmüş ve veriler aktarılmıştır. Aktarılan veriler nicel haritalama kapsamındaki koroplet haritalama yöntemine göre yoğunluk sınıflandırılmasına tabi tutulmuştur. Koroplet haritalama için sınırları belirli bir alanda gölgeleme, tarama veya renklendirme yöntemiyle bir verinin ilgili vektör birimleri içerisindeki sayısı veya yoğunluğunun gösterilmesi gereklidir (Şahin & Bozyiğit, 2023). Bu yöntemle şekiller oluşturulmuştur. Mahalle ölçeğindeki oranlamalar elde edilen sayısal veriler üzerinde bu çalışmaya özel olarak incelenmiştir. Sokakların ve diğer mekânların literatürde bulunan teorik bilgilere uygunluğu için Google Earth Pro programına vektör veriler aktarılmış ve uydu görüntüleri alınarak yorumlanmıştır. Bu sayede literatürde bulunan bilgiler çalışma sahası üzerinde incelemeye tabi tutulmuştur. Cadde ve sokak sistemleri ile özellikle çıkmaz sokaklar, literatürdeki kamusal, yarı kamusal, yarı özel ve özel mekân açıklamaları çerçevesinde Uşak şehrinde betimsel olarak ele alınmıştır. Bunun yanında çıkmaz sokaklar biçimsel açıdan eğri ve düz olarak incelenmiştir. Daha sonra, belirlenen sokakların kullanım pratikleri bağlamında saf ve sızdıran olarak yapılan sınıflandırmadaki durumları ortaya konmuştur.

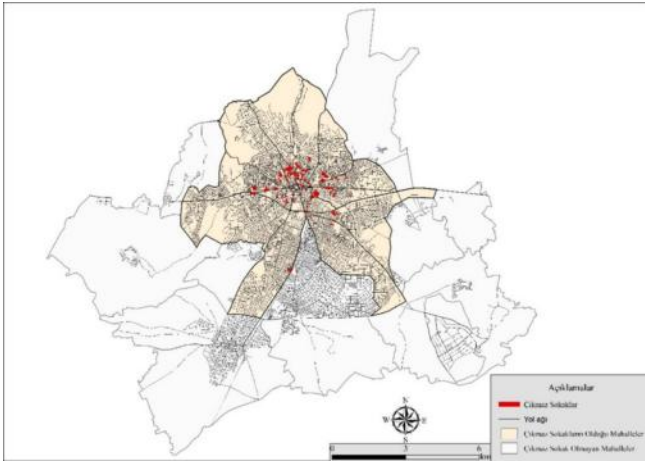
### 3. Bulgular

Uşak şehri mücavir alan içerisinde 29 mahalle bulunurken çıkmaz sokaklar 17 mahallede yer almaktadır (Tablo 1). 17 mahalle içerisinde günümüzde toplam 79 adet çıkmaz sokağa erişilmiştir (Şekil 3, 4; Tablo 1). Hepsi çıkmaz niteliğinde olma-

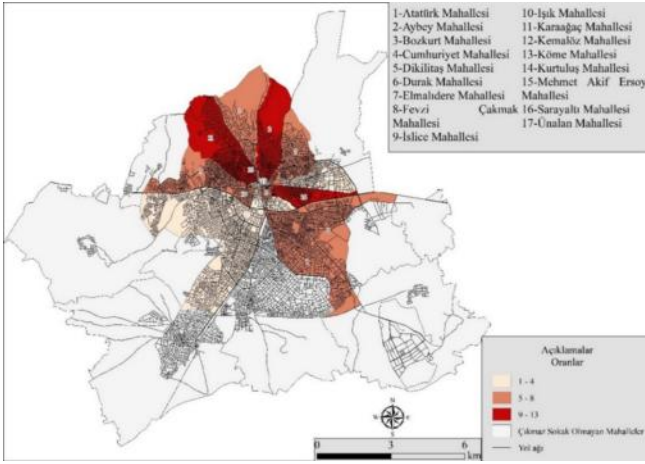
sına rağmen sokakların yalnızca 39'unun adında "çıkılmaz" ibaresi geçmektedir. 40 sokakta "çıkılmaz" ibaresi bulunmamaktadır. Bu durumda, adında "çıkılmaz" ibaresi geçen sokakların sayısından daha fazla "çıkılmaz" geçmeyen sokak bulunmaktadır. Bunun yanında adında çıkmaz ibaresi bulunan 3 sokak (İbrahim Abdullah Çıkılmazı (sızdıran tip çıkmaz), Taşkent Çıkılmazı, Boşluk Çıkılmazı) günümüzde artık çıkmaz sokak değildir. Google Earth Pro verilerine göre bu 3 sokağın çıkmaz niteliğini kaybeden, daha önceden çıkmaz olup sonradan açılan sokaklar olduğu anlaşılmaktadır. Anlam karmaşasına yol açan bu durumun sebebi, niteliği değiştirilmiş olan sokakların adlarında değişiklik yapılmamış olmasıdır. Bu durumda yakın bir geçmişte, Uşak'ın çalışma sahasını kapsayan bölümünde en az 82 adet çıkmaz sokak bulunduğu söylenebilir. Bu sokakların biri dışında hiçbirisi İslam şehirleri literatüründe değerlendirildiği gibi dar, dönemeçli veya eğri-büğürlü değildir. Bunda etken olan faktör planlama esaslarıdır. Anadolu şehirlerinde mahremiyet nedeniyle eğri büğürlü ve dolambaçlı formda görülen çıkmaz sokaklar günümüz Uşak şehrinde bu tarz sosyolojik bir oluşum sürecine dahil olmamıştır. Daha ziyade şehrin planlı mimari gelişimine uygun doğrusal bir form teşkil etmiştir. Böylelikle dar ve eğri büğürlü çıkmaz sokakların yoğun bulunduğu organik doku<sup>1</sup>, Uşak şehrinde görülmemektedir.

Osmanlı şehirlerinin çeperlerini surlar oluşturmaktadır (Acun, 2002). Uşakta, Kargıcı Camisi (Aybey Mahallesi) etrafında ev temeli için yapılan kazılarda eski sur duvarlarına ait kalıntılar bulunmuştur. Bu bulgu Aybey Mahallesi'nin, Uşak'ın en eski mahallesi olduğunu düşündürmektedir (Sayan, 1997). Ayrıca Uşak şehrinin genel olarak (İzmir-Ankara Karayoluna göre) kuzeyinde, Aybey ve çevresindeki mahallelerde, çıkmaz sokakların diğer mahallere göre daha yoğun olarak görülmesi bunu kanıtlar niteliktedir.

<sup>1</sup> **Organik Doku:** Bilinçli tasarlama güdüsü barındırmayan ve geometrik özellikler (ızgara plan gibi) göstermeyen yerleşim biçimidir. Fiziki coğrafya şartlarına uygun ve oluşturulduğu dönemin kültürel özelliğini yansıtan organik doku, serbest desenli ve doğaçlama gelişmiş bir tasarım olarak tanımlanmaktadır (Kulöz, 2016).



**Şekil 3.** Çalışma sahasında bulunan çıkmaz sokakların lokasyonu.  
**Figure 3.** The location of the dead-end streets located at the study area.



**Şekil 4.** Çıkma sokak oranlarının mahallelere göre dağılımı.  
**Figure 4.** Distribution of dead-end street rates by neighborhoods.

**Tablo 1.** Çıkma sokak sayılarının mahallelere göre dağılımı.  
**Table 1.** Distribution of Dead-end Street Rates by Neighborhoods.

Mahalleler	Çıkma Sokak Sayıları	Bir Mahalledeki Çıkma Sokak Sayısının Tüm Çıkma Sokaklara Oranı
Atatürk Mahallesi	4	5,06
Aybey Mahallesi	9	11,39
Bozkurt Mahallesi	5	6,32
Cumhuriyet Mahallesi	1	1,26
Dikilitaş Mahallesi	5	6,32
Durak Mahallesi	1	1,26
Elmalıdere Mahallesi	4	5,06
Fevzi Çakmak Mahallesi	5	6,32
İşık Mahallesi	9	11,39
İslice Mahallesi	4	5,06
Karaağaç Mahallesi	7	8,86
Kemalöz Mahallesi	2	2,53
Köme Mahallesi	2	2,53
Kurtuluş Mahallesi	2	2,53
Mehmet Akif Ersoy Mahallesi	3	3,79
Sarayaltı Mahallesi	10	12,65
Ünalan Mahallesi	6	7,59
<b>Toplam</b>	<b>79</b>	<b>100</b>

Çıkma sokaklar kamusal, özel, yarı özel ve yarı kamusal başlıkları altında incelenebilir. Çıkma sokağın girişi yarı kamusaldır. Çıkma sokağın ev ile arasındaki bağlantının sağlandığı bölüm ise yarı özel alanı teşkil eder (Şekil 5, 6). Geniş caddelerden, çık-

maz sokağı oluşturan herhangi bir eve doğru gidildikçe, aslında kamusal mekândan özel mekâna doğru geçiş görülmektedir (Gürbüz Yoldaş, 2007; Sarı Başman & Akın, 2018).

Çıkma sokaklar için daha yakın zamanlarda ortaya çıkan terimler ise “saf” ve “sızdırmaz” terimleridir. Saf veya sızdırmaz sokaklar yalnızca ilintili sokaktaki kişilere erişim sağlayan, kamusal erişim yolları ile ya da yaya yolları ile bağlantı kurmayan tasarımları ifade eder. Belirgin şekilde geçiren olan çıkma sokaklar ise “saf olmayan” veya “sızdıran” olarak adlandırılır (Cozens & Hillier, 2008). Biçimsel olarak çıkma sokaklar Gözüm (2019) tarafından eğrisel çıkma sokak, doğrusal çıkma sokak (Şekil 8) ve adacıklı çıkma sokak olarak sınıflandırılmıştır (Gözüm, 2019). Erişilen çıkma sokaklarda, İslam şehri modelindeki herhangi bir çıkma sokağın eğrisel özelliği bulunmamaktadır. Bu dokuya sahip olmayan ancak yine de neredeyse açı oluşturacak şekilde eğrisel şekillenmiş tek çıkma sokak Vakıf Çıkma Sokakı’dır (Şekil 7, Fotoğraf 1).

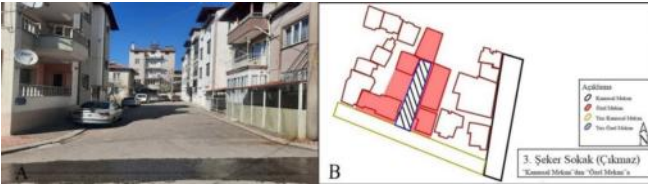
Vakıf Çıkma Sokakı’nın, Osmanlı şehirlerinin geleneksel dokusundaki imgeleşmiş çıkma sokak imajında olmamasının nedenlerinden biri, biçimsel olarak eğri bir özellik göstermesine rağmen sızdıran tipte olmasıdır. Sızdıran tipteki çıkma sokaklar mahremiyet ve güvenlik algısı ile örtüşmemektedir. Çıkma sokak kullanım pratiklerinin günümüz şartlarına göre yeniden şekillenmesi bu sokak örneğinde mümkündür. Çıkma sokakların eğri olması, sokağın sonundaki evlere erişimi zorlaştırmaktadır. Ancak bu sokakta çıkmanın sonunu kamusal bir alan olan caddenin kaldırımı oluşturmaktadır. Bunun yanında Vakıf Çıkma Sokakının iki arter cadde arasında bulunması yarı kamusal özellik gösterecek olan bağlayıcı bir başka sokağın varlığını yok etmektedir. Bu sebeple eve açılan bu sokağın kendisi de yarı özel mekân niteliği taşıyamamaktadır. Herhangi bir şekilde kamusal veya özel mekâna bulunmayan yakınlığı bu sokağın hem yarı kamusal hem de yarı özel olarak algılanmasına sebebiyet verebilir. Ancak genel olarak bakıldığında ikisi de değildir. Bu sokaktaki evden çıkan biri için ilk bakışta yarı özel olarak görülebilir. Ancak Vakıf Çıkma Sokakı, o kişi caddeye ulaşmadan hemen önce yarı kamusaldır. Sokak bir çizgi olarak düşünüldüğünde kişinin evinin önünde bulunan nokta yalnızca o kişinin yarı özel mekanıdır. Ancak sokaktan geçen biri için aynı nokta yarı kamusal mekandır. Mahremiyet algısı çerçevesinde farklı bireyler açısından farklı algılanan bu noktanın kullanım pratiği, Vakıf Çıkma Sokakını geleneksel bir çıkma sokaktan ayırmaktadır. Ayrıca çok katlı apartmanlar ile çevrili olması şehrsel morfoloji bakımından da sokağı geleneksellikten, mahremiyetten ve “özel” kavramından uzaklaştırmaktadır.

Genel olarak şehrin çeperinde bulunmayan, aksine çevresinde şehrin gelişim gösterdiği kentsel sit alanları, eski şehirlerin doku ve yapı özellikleri ile geleneksel hayat tarzının biçimsel yansımalarını içeren alanlardır. Tıpkı şehrin tamamı ve bunu oluşturan peyzaj gibi hatta cadde ve sokak sistemleri gibi kentsel sit alanları da doğanın ve insanlığın karşılıklı etkileşiminden ortaya çıkmıştır. Kentsel sit, toplumsal kültür ve bu kültürün oluştuğu doğal çevre içerisindeki beşerî yapıtların tümü gibi kültürel peyzaj oluşumunun içerdiği mimari, estetik ve sanatsal özellikleri olan tekil yapıları içinde barındırır. Belirli özellikler ve barındırdığı önem sayesinde şehir içerisinde korunma gereksinimi taşıyan alanlar sit alanlarıdır (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2006; Erdoğan, 2011).



**Şekil 5.** 1. Mezarlık Sokak (doğuda) ve 3. Şeker Sokak (yarı özel mekânı ve yarı kamusal mekânı oluşturan iki sokağın da ismi aynı) bağlamında kamusal, yarı kamusal, yarı özel ve özel mekân.

**Figure 5.** 1. Mezarlık Street (to the east) and 3. Şeker Street (the two streets that make up the semi-private space and the semi-public space have the same name) is a public, semi-public, semi-private and private space in the context of.



**Şekil 6.** Atatürk Mahallesi 3. Şeker Çıkması (saf) (A). Şeker Çıkması (saf) şematik gösterim (B).

**Figure 6.** Atatürk Neighborhood 3. Şeker Dead-end (pure) (A). Şeker Dead-End (pure) schematic representation.



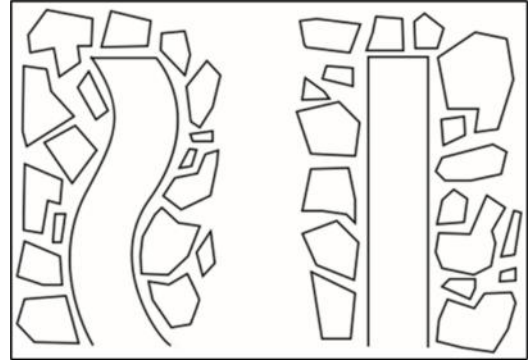
**Şekil 7.** Sızdıran çıkma sokak örneği-kaldırma açılmaktadır (Vakıf Çıkması).

**Figure 7.** An example of a leaky dead-end street- it leads to the side-walk (Vakıf Dead-End).



**Fotoğraf 1.** Vakıf Çıkma sokağının girişi (kuzey) ve sızdıran kısmı (güney).

**Photo 1.** The entrance to Vakıf Dead End Street (north) and the leaky section (south).



**Şekil 8.** Eğri ve düz çıkma sokaklar. (Gözüm (2019)'den esinlenerek hazırlanmıştır.)

**Figure 8.** Crooked and straight dead-end streets. (Prepared with inspiration from Gözüm (2019))

Uşak kentsel sit alanı Köme ve Özdemir Mahallelerinin büyük bir kısmını; Aybey, Işık ve İslice Mahallelerinin ise küçük bir kısmını içermektedir (Şekil 9). Bu alan, şekil 4'te koyu kırmızı renkler ile gösterilen mahallelerin birleştiği yerde (Sarayaltı Mahallesi haricinde diğerlerinin güneyinde) bulunmaktadır. Yerleşim yerinin, günümüzden daha eski dönemlerde, şehrin, yükseltisi daha fazla olan kuzey bölümlerinde bulunduğu bilinmektedir. Bu doğrultuda kentsel sit alanının eski yerleşimin güneyinde, bugün ise İzmir-Ankara yolunun bulunduğu hattın kuzeyinde olduğu söylenebilir. Uşak Belediyesi Plan Raporuna göre Tirit Sokak, Seçkin Sokak (raporda Yurt Sokak olarak geçmektedir. Ancak Yurt Sokak kentsel sit alanının dışında, doğusundadır) ve Gediz Uluyolu Caddesi şehirde ilk yerleşme alanlarıdır. Dokuz Sele Çayı'nın doğusu ve batısında da ilk yerleşimlerin varlığından söz etmek mümkündür (Uşak Belediyesi Plan Raporu, 2023). Bu yüzden kentsel sit alanı özellikle, içerdiği konut tipolojisinin geleneksel yansıması ve çıkma sokakların yoğunlaştığı mahallelerin merkezinde bulunması, içerik bakımından kültürel peyzajın en net yansıtılabileceği konumdur. Uşak şehri özelinde de eski şehir dokusunun oluşmasına neden olan şehrsel morfolojik unsurlar sit alanının lokasyonunu belirlemiştir. Bu konumda ve böyle bir öneme sahip kentsel sitin gerçekten de korunması gerekliliği, şehrsel kimliğin sürdürülebilirliği ve geleneksel şehir morfolojisinin yansımasının görüldüğü alanın geleceği ve kültürel peyzajın muhafazası için önemlidir. Uşak'ta Cumhuriyet'in ilk zamanlarından kalan birçok tescilli geleneksel konut bulunmaktadır. Bu konutlar genellikle Aybey, Işık, Karaağaç ve Kurtuluş Mahallelerinde görülmektedir. Koruma altına alınan bu konutlar, Uşak'ın tarihi şehir dokusu ve geleneksel mimarisi çerçevesinde kültür mirası özelliği taşımaktadır (Yılmaz, 2023). Çıkma sokaklarda olduğu gibi geleneksel konutlar açısından da kesişim noktasında bulunan kentsel sit alanı, bir bütün olarak geleneksel şehir morfolojisinin merkezindedir. Bu gibi alanlarda yaşanacak olan morfolojik değişiklikler, şehrin geleneksel mekân imajının bozulmasına sebep olabilmektedir (Ünver, 2016).

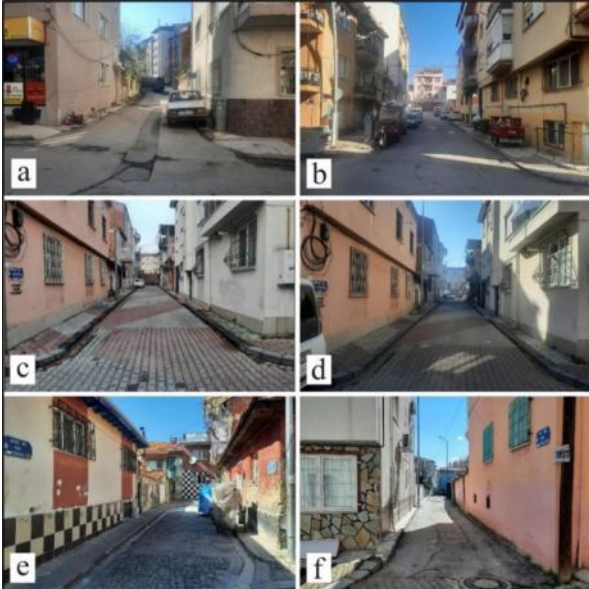
1. Karakıran (batı) ve 2. Karakıran (doğu) çıkma sokakları (fotoğraf 2a, 2b), Karakıran Sokağa açılmaktadır. Böylece Karakıran Sokak bu çıkma sokakların ikisine de yarı kamusal alan özelliği sağlamaktadır. Her iki çıkma sokak da sızdırmaz özelliktedir. 2. Karakıran çıkma sokak tamamen düz bir özellik gösterirken, 1. Karakıran Çıkma sokak, Vakıf Çıkma sokak kadar olmasa da sokağın sonuna doğru eğri bir özellik göstermektedir. Kuzey-güney uzanımlı Karakıran So-





Şekil 9. Çevresinde yerleşim kurulan ilk yollar ve kentsel sit alanının şehir içerisindeki lokasyonu (Uşak Belediyesi Plan Raporu'ndan (2023) esinlenerek hazırlanmıştır).

Figure 9. The first roads around which settlements were established and the location of the urban site area within the city (Prepared based on the Uşak Municipality Plan Report (2023)).



Fotoğraf 2. Üşak Mahallesi, 1. Karakıran Çıkması (a). Üşak Mahallesi, 2. Karakıran Çıkması (b). Üşak Mahallesi, Karatekeli Çıkması (18.01.2024'de çekilmiştir) (c). Üşak Mahallesi, Karatekeli Çıkması (24.03.2024'de çekilmiştir) (d). Aybey Mahallesi, Eğri Çıkması (e). Işık Mahallesi, Güzel Çıkması (f).

Photo 2. Üşak Neighbourhood, 1. Karakıran Dead-end (a). Üşak Neighbourhood, 2. Karakıran Dead-end (b). Üşak Neighbourhood, Karatekeli Dead-end (taken on 18.01.2024) (c). Üşak Neighbourhood, Karatekeli Dead-end (taken on 24.03.2024) (d). Aybey Neighbourhood, Eğri Dead-end (e). Işık Neighbourhood, Güzel Dead-end (f).

kak'ı dik kesen bu çıkamaz sokaklar, ızgara planlı dokuya ayrıntı ve iç mekanlar sağlamaktadır (Eskidemir & Kubat, 2018). Üşak Mahallesi'nde bulunan Karatekeli Çıkamaz sokağının çalışma süreci içerisinde morfolojik özelliğinin değiştiği görülmektedir. Bu çıkamaz 18.01.2024 tarihinde sızdırmaz tipte bir çıkamaz sokakken (fotoğraf 2c) yapılmış olan ikinci arazi çalışması tarihinde (24.03.2024) açıldığı (fotoğraf 2d) görülmüştür.

Günümüzde hala bir yola bağlanmayan bu sokak belirtilen tarihler arasında, çıkamaz olmasını sağlayan örülü duvarın yıkılması sebebiyle sızdıran tip çıkamaza dönüştürülmüştür. Aybey Mahallesi'nde bulunan Eğri Çıkması (fotoğraf 2e) adının aksine düz ve saftır. Adının "Eğri" olmasının sebebinin, bağlandığı sokağın adlandırma pratiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bağlandığı sokak eğri niteliktedir ve adı da "Eğri"dir. Üşakta erişilen birçok çıkamaz sokağın adı bağlandığı sokağın adı ile aynıdır. Tek katlı konutların çevrelediği Eğri Çıkması bu özelliği ile çalışma sahasındaki diğer birçok çıkamazdan ayrılmaktadır. Işık Mahallesi'ndeki Güzel Çıkması (fotoğraf 2f) dar olması sayesinde organik dokuya aitmiş gibi görünse de ızgara plan ile çevrelenmiştir.

#### 4. Sonuç

Günümüz şehirlerine bütüncül bir şekilde bakıldığında görülebilecek olan en önemli özelliklerinden biri heterojen bir yapıya sahip olmalarıdır. Bu heterojen yapının görünümünü oluşturan unsurlar; yapılar, konutlar ve cadde-sokak sistemleridir. Çalış-

manın konusunu oluşturan çıkmaz sokaklar, cadde ve sokak sistemlerinin içerisinde, Anadolu şehri bağlamında şehirselleşmenin kültür ile bağlantısının kurulabileceği iki etkenden birisidir. Sanayi devrimi öncesi şehirlerinde daha sık görülen teknolojik ve çevresel şartların şehirler üzerindeki etkisi oldukça azdır. Bu yüzden sanayi öncesi şehirler, toplumunun kimliğini, sosyal yapısını ve kültürünü daha net yansıtabilen peyzajları oluşturmuştur. 1900'lü yıllarda beklentisi ve algısı değişmeye başlayan şehir planlama süreçleri ile beraber alışıl-gelinmiş mekânsal üretim de farklılaşarak şehirlerin tek tipte görülmesine sebep olan modernleşme hareketleri başlamıştır (Sakar Atçeken, 2022). Bu süreç sonucu yaşanan değişim Anadolu şehirlerinin karakteristik organik dokusunu bozarak belirli bir plan çerçevesince oluşturulan şehirlere dönüşmesine neden olmuştur. Geometrik tasarımların görüldüğü şehir planlarında, bireylerin çıkarlarına veya beklentilerine göre oluşturulmuş dar ve çıkmaz sokakların ortadan kaldırılmaya başlandığı anlaşılmaktadır (Bayartan, 2017).

Çalışmada Uşak şehrinde mahalleler ölçeğinde çıkmaz sokakların varlığı saptanmıştır. Bu çıkmaz sokakların buldukları mahalleler perspektifinde göstermiş olduğu yoğunluklar önem arz etmektedir. Çıkmaz sokakların dağılımına bakıldığında, şehirselleşme morfolojik görünümü oluşturan tarihin ve kültürün etkin bir rol oynadığı söylenebilir. Tarihi ve kültürel parametrelerin, Uşak'ta çıkmaz sokakların dağılımında etkili olmasının sebepleri arasında;

1. Günümüzdeki Uşak şehrinin, ilk kurulduğu alana göre daha az yükseltiyeye sahip bir alanda bulunması,
2. Eski Uşak'ın şu an yer aldığı alana göre daha kuzeyde olması,
3. Kentsel sit alanının bulunduğu çevrede (içerisinde Ulu Cami'yi de barındıracak şekilde), diğer mahallelere göre, çıkmaz sokak sayısının daha fazla olması,
4. Kentsel sit alanının, Uşak'ı doğu-batı istikametinde ikiye bölen karayolunun kuzeyinde bulunması ve sınırları içerisinde bulunan Dokuz Sele Çayı ile metin içinde belirtilen üç sokağın Uşak'ta ilk yerleşimleri oluşturan bölge olması yer almaktadır.

Uşak'taki çıkmaz sokakların literatürde olduğu gibi dar, dolambaçlı, eğri bükürlü değildir. Bu morfolojik görünümünde ve kullanım pratiklerinde etkili olan sebeplerin, planlama ve modernleşme ile ilgilidir. Uşak'ta çıkmaz sokaklarının hem morfolojik hem de kullanım pratikleri bakımından ve içerdiği sosyolojik durum bağlamında geleneksel Anadolu şehirlerinin organik dokusuna uymadığı sonucuna ulaşılmıştır. Uşakta, Anadolu şehri yapısını teşkil eden ve şehirselleşme morfolojik görünümünden beklenen tek yansıma, Ulu Cami'nin şehir merkezinde bulunmasıdır. Şehirde sadece Vakıf Çıkmazı'nın eğri özellikte olması ancak bu sokağında mahremiyet algısını barındırmayacak derecede başka bir alana sızıntısının olması organik dokunun Uşak çıkmaz sokakları özelinde okunamayacak olduğunu göstermektedir. Böylece çıkmaz sokakların varlığını sürdürebilme nedeninin kültür ve tarih olduğu, biçimlerinin belirleyicisinin ise organik sokak dokusu formlarını taşımayan planlama ilkeleri ve modernleşme hareketleri olduğu söylenebilir. Çıkmaz sokaklar, Uşak şehri genelinde izgara plan tipine yalnızca ayrıntı ve derinlik katmıştır.

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

**Yazar Katkısı/Author Contribution:** Çalışmanın konsepti ve tasarımı Ü. Y. tarafından hazırlanmıştır. Verilerin toplanması C. S., yorumlanması ise Ü. Y. tarafından yapılmıştır. Arazi çalışmaları Ü. Y. ve C. S. tarafından yapılmıştır. İlk yazım ve okuma Ü. Y. ve C. S. tarafından yapılmıştır. Son gözden geçirme ve düzenlemeler Ü. Y. tarafında yapılmıştır. *The study's conceptual framework and design were developed by Ü. Y. The data were collected by C. S. and interpreted by Ü. Y. The field research was conducted by Ü. Y. and C. S. The initial drafting and reading of the paper was done by Ü. Y. and C. S. Final editing and proof-reading were done by Ü. Y.*

**Etik Kurulu Onayı/Ethics Committee Approval:** Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

**Veri Erişilebilirliği/Data:** Haritalarda kullanılan cadde ve sokak verileri Uşak Belediyesi'nden temin edilmiştir. *Street and alley data used in the maps were obtained from Uşak Municipality.*

#### Kaynakça

- Abu-Lughod, J. L. (1987). The Islamic city – historic myth, Islamic essence, and contemporary relevance. *International Journal of Middle East Studies*, 19 (2), 155-176.
- Acun, F. (2002). A portrait of the Ottoman cities. *The Muslim World*, 92, 255-281.
- Adıgüzel, F., & Balta, M, Ö. (2021). COVID-19 sürecinde kentsel açık ve yeşil alan erişilebilirliği: Uşak kenti örneği. *Türk Coğrafya Dergisi*, (79), 17-24. <https://doi.org/10.17211/tcd.993130>
- Aktüre, S. (1975). 17. yüzyıl başından 19. yüzyıl ortasına kadarki dönemde Anadolu Osmanlı şehrinde şehirselleşme süreci. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1 (1), 101-128.
- Aliağaoğlu, A. (2003). Afyon'da şehir morfolojisinin iki unsuru: Cadde-sokak sistemi ve konutlar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1 (2), 63-83.
- Aliağaoğlu, A., & Uğur, A. (2016). Osmanlı Şehri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi* (38), 203-226.
- Al-Sayyad, N., & Türel, I. (2009). Islamic Urbanism. İçinde R. Kitchin, & N. Thrift (Eds.), *International Encyclopedia of Human Geography* (pp. 598-606). Elsevier. [10.1016/B978-008044910-4.01058-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-08044910-4.01058-0)
- Al-Sayyad, N. (1987). Space in an Islamic city: Some urban design patterns. *Journal of Architectural and Planning Research*, 4 (2), 108-119.
- Arı, Y. (2005). Amerikan kültürel coğrafyasında peyzaj kavramı. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 10 (13), 311-339.
- Arı, Y., & Köse, A. (2005). İnsan-çevre etkileşimini yorumlamada yeni bir alternatif: Kültürel coğrafya. Ulusal coğrafya kongresi 2005 içinde *Prof. Dr. İsmail Yalçınlar anısına* (ss. 51-59). Türk

- Coğrafya Kurumu Yayınları.
- Bajunid, A. F. I., Abbas, M. Y., Nawawi, A. H., Rameli, A., & Rodi, W. N. W. (2013). Demystifying the cul-de-sac courtyards syntax. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 105, 525-535.
- Bayartan, M. (2005a). Tarihi coğrafya çalışmaları açısından şehir ve Osmanlı şehri. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 13, 85-92.
- Bayartan, M. (2005b). Osmanlı şehrinde bir idari birim: Mahalle. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 13, 93-107.
- Bayartan, M. (Ed.) (2017). *Şehir Coğrafyası II*. Beta Basım.
- Belge, R. (2023). Çıkmaz sokakların oluşumu: İslam ve batı şehirlerinin mukayesesi. *Mukaddime*, 14 (2), 199-226. <https://doi.org/10.19059/mukaddime.1380561>
- Bıçakçı, H., & Yıldırım, C. (2018). İslam uygarlığında kent ve kentleşme. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7 (2), 541-561.
- Can, İ. (2012). İslam şehrine dair sosyolojik okumalar. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 3 (6), 6-27.
- Can, Y. (1992). H.I-III. / M.VII-IX.YY. İslam şehri. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, 6 (6), 109-138.
- Cerasi, M. M. (2001). Osmanlı kenti, Osmanlı İmparatorluğunda 18. ve 19. yüzyıllarda kent uygarlığı ve mimarisi (2. Baskı) (A. Ataöv, Çev.). Yapı Kredi Yayınları.
- Cezar, M. (1977). *Anadolu öncesi Türklerde şehir ve mimarlık*. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Chiaradia, A. J. F. (2019). Urban morphology/urban form. İçinde Orum, A. (Ed) *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies* (pp. 1-6). John Wiley & Sons Ltd.
- Cleef, E. V. (1932). The urban profile. *Annals of the Association of American Geographers*, 22 (4), 237-241.
- Cozens, P. M., & Hillier, D. (2008). The shape of things to come': New urbanism, the grid and the cul-de-sac. *International Planning Studies*, 13 (1), 51-73.
- Cozens., P. M., & Love, T. (2009). Manipulating permeability as a process for controlling crime: Balancing security and sustainability in local contexts. *Built Environment*, 35 (3), 346-365.
- Çatalbaş, F., & Ecemiş Kılıç, S. (2022). Tarihi Kentsel Peyzaj [Historic Urban Landscape (HUL)] yaklaşımı perspektifinde İzmir tarihi liman kentinde planlama ve kültürel mirasın korunmasına yönelik katılımcı bir model. *Megaron*, 17 (3), 526-541.
- Çobanlı, F. T., & Ceylan, M. A. (2023). Şehrin ufuk çizgisine etkileri bakımından İstanbul'da gökdelenler. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 28 (50), 25-38. <https://doi.org/10.5152/EGJ.2023.23058>
- Darkot, B., & Tuncel, M. (1978). *Ege Bölgesi coğrafyası*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Demir, Ş., & Sesli, M. (2007). Kamusal alan (Türkiye'de kamusal alan kavramlaştırılmasının muhtevası: Tektiplilik mi, çoğulculuk mu?). *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 2 (1), 273-292.
- Demirci, M. (2012). İslam'da şehir ve şehrin sosyal dinamikleri. İçinde Köksal, A. (Ed) *Kent Sosyolojisi* (ss. 69-89). Hece Yayınları.
- Deniz, M., & Topuz, M. (2018). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) destekli çok kriterli karar verme yöntemleri ve analitik hiyerarşi tekniği kullanarak Uşak merkez ilçede alternatif çöplük alanlarının belirlenmesi. *Journal of History Culture and Art Research*, 7 (5), 544-578. DOI:10.7596/taksad.v7i5.1830
- Dickinson, R. E. (1934). The town plans of East Anglia. A study in urban morphology. *Geography*, 19 (1), 37-50.
- Diñç, F. (2021). İslâm inşâ hukukunun Mardin kent mekânına yansımaları (11.-19. yy). *Mukaddime*, 12 (2), 307-346. <https://doi.org/10.19059/mukaddime.868609>
- Doğanay, H., & Deniz, M. (2015). Ulaşım sistemleri ve Uşak. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 19 (32), 1-26. <https://doi.org/10.17295/dcd.71556>
- Drummond, L. B. W. (2000). Street scenes: Practices of public and private space in urban Vietnam. *Urban studies*, 37 (12), 2377-2391.
- Durukan, A., & Öztürk, B. Ö. (2021). Mekan ve kültürel demans. *İdil*, 77, 31-39. DOI:10.7816/idil-10-77-03
- Düzbakar, Ö. (2003). Osmanlı Döneminde mahalle ve işlevleri. *U.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4 (5), 97-108.
- Erdoğan, E. (2011). Kültürel peyzajlar. İçinde Yazgan, M. E. (Ed) *Peyzaj çevre ve tarım* (ss. 46-74). Anadolu Üniversitesi.
- Eren, A. (2005). Özgürlükler mekânı olarak kamusal alan. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 9 (3-4), 95-124.
- Eskidemir, K. (2016). *Kent morfolojisi ve kültür: Anadolu ve İtalya kentleri karşılaştırmalı analizleri* (Yayın numarası 450936) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Tasarım Anabilim Dalı, İstanbul]. Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.
- Eskidemir, K., & Kubat, A. S. (31 Ekim- 2 Kasım 2018). Kent morfolojisi ve kültür: Anadolu ve İtalya kentleri. İçinde E. S. Kubat, E. Kürkcüoğlu, E. Küçük, İ. Kurtuluş, K. Eskidemir, & M. Akay (Eds.) *"DeğişKent" Değişen kent, mekân ve biçim Türkiye kentsel morfoloji araştırma ağı II. kentsel morfoloji sempozyumu* (ss. 273-294). İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi.
- Fuchs, R., & Ford, L. R. (1983). Architecture and the geography of the American city. *Geographical Review*, 73 (3), 324-340.
- Gauthiez, B. (2004). The history of urban morphology. *Urban Morphology*, 8 (2), 71-89.
- Gordon, G. (1984). The shaping of urban morphology. *Urban History Yearbook*, 11, 1-10.
- Gottmann, J. (1976). *Şehrsel merkeziyetin gelişmesi* (N. Özgüç, Çev.). İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Gözüm, İ. G. (2019). *Çıkmaz sokaklarda sosyal etkileşimin mekansal ve toplumsal nitelikleri bağlamında değerlendirilmesi: Aziz Mahmut Hüdayi Mahallesi örneği* (Yayın numarası 613399) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Tasarım Anabilim Dalı, İstanbul]. Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.

- Groat, L. N. (1992). Rescuing architecture from the cul-de-sac. *Journal of Architectural Education*, 45 (3), 138-146.
- Gutenschwager G. (1962). Urban geography and its relationship to ecistics. *Ecistics*, 14 (84), 201-203.
- Güdücü, B. (2015). Özel alan, kamusal alan, kent ve insan. *Aydın İnsan ve Toplum Dergisi*, 1 (1), 59-67.
- Gürbüz Yoldaş, N. (2007). *Anadolu geleneksel konut dokusundaki çıkmaz sokak işlevinin günümüzdeki durumunun irdelenmesi* (Yayın numarası 212373) [Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana bilim Dalı, Konya]. Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.
- İnalçık, H. (1990). Istanbul: An Islamic city. *Journal of Islamic Studies*, 1. 1-23.
- İncili, Ö. F., & Akdemir, İ. O. (2016). İklimin konut üzerine yansımaları: Tarihi Kilis evleri örneği. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 26 (2), 1-11.
- Kahraman, M. (2020). Cadde ve sokak sistemleri açısından Muğla şehrinin gelişimi: 3 dönem, 3 bölge. İçinde M. Gökçe, A. Çandarlı Şahin, & A. Karadeniz (Eds.) *Konuşan sokaklar "Menteşe"* (1. Baskı) (ss. 72-83). Günce Yayınları.
- Kalak, M. (Ed.) (2021). *Geleneksel dokuda çıkmaz sokak oluşumu ve koruma sorunları: Siverek*. İksad Yayınevi.
- Karakaş, M. (2019). Kent, mekân ve toplum: Mekân sosyolojisine giriş. İçinde M. Karakaş (Ed) *Kent, Mekân ve Toplum* (ss. 15-43). Tezkire Yayıncılık.
- Kaypak, Ş. (2010). Antakya'nın kent kimliği açısından irdelenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7 (14), 373-392.
- Kejanlı, D. T. (2010). Anadolu'da Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde kent sistemi, kale ve merkez-çarşı gelişimi. *Social Sciences*, 5 (3), 287-302. <https://doi.org/10.12739/10.12739>
- Keleş, R. (2021). *Kentbilim terimleri sözlüğü* (3. Baskı). İmge Kitabevi.
- Kızıltepe, B. (2014). *Kent sokaklarının mekân incelemesi: Çıkmaz sokak örneği* (Yayın numarası 391398) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İstanbul Araştırmaları Anabilim Dalı, İstanbul]. Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi.
- Kızıltepe, B. (2018). Mekânın gemeinschaft ilişki ağına etkisi: Çıkmaz sokak örneği. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18 (4), 235-256. <https://doi.org/10.11616/asbed.v18i41997.505880>
- Koçan, N. (21-23 Mayıs 2015). İl olduğu yıllarda Uşak kenti imar durumu. İçinde *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu* (ss 1-6). Selçuk Üniversitesi.
- Kuban, D. (2017). *Türk ahşap konut mimarisi 17-19. yüzyıllar* (2. Baskı). Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Kulözü, N. (2016). Bir mekânsal modernleşme öyküsü: Erzurum kenti ve kentsel mekânında ikili dokunun oluşumu. *İdealkent*, 18 (7), 22-47.
- Kültür ve Turizm Bakanlığı Teftiş Kurulu Başkanlığı. (2006). *Birinci bölüm - genel hükümler* <https://teftis.ktb.gov.tr/yazdir?DOC770A0EBEF776956D2742C6D8B6EF6> (01.02.2024 tarihinde erişildi.)
- Marçais, W. (1928). L'Islamisme et la vie urbaine. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 72 (1), 86-100.
- Mascari, G. F., Mautone, M., Molledo, L., & Salonia, P. (2009). Landscapes, heritage and culture. *Journal of Cultural Heritage*, 10 (1), 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2008.07.007>
- Mihaila, M. (2014). City architecture as cultural ingredient. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 149, 565-569. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.08.211>
- Özbek Eren, İ. (13-15 Kasım 2020). The meaning of urban morphology in terms of cultural heritage through changing urban space. İçinde *ICONARCH International Congress of Architecture and Planning; 2020: ICONARCH IV-Space and Process in Architecture and Planning*. Konya Technical University Faculty of Architecture and Design.
- Özdemir, H. M., Özav, L., & Yasak, Ü. (2022). Etimesgut kent merkezinde (İstasyon Mahallesi) kentsel morfolojik süreçler: Konut örüntüsünün değişimi. *Gelecek Vizyonlar Dergisi*, 6 (4), 64-78. DOI:10.29329/fvj.2022.500.5
- Özdemir, H. M., & Yasak, Ü. (2024). An analysis of the potential for military zones to be used as green spaces in the Ankara metropolitan area (Türkiye). *Humanities And Social Sciences Communications*, 11 (1399), 1-15. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03850-4>
- Parlatır, İ. (2006). *Osmanlı Türkçesi Sözlüğü*. Yargı Yayınevi.
- Saf, H. O., & Ergül, E. (2019). Osmanlı toplumu sosyal yapısının kent düzenindeki temsili. *SKETCH: Journal of City and Regional Planning*, 1 (1), 15-34. <https://doi.org/10.5505/sjcrp.2019.77487>
- Sakar Atçeken, S. (2022). Kentsel mekanın değişimi ve gelişme döngüleri; Eski Keresteciler Çarşısı (İzmir) örneği. *Planlama*, 32 (1), 77-89. DOI: 10.14744/planlama.2021.93899
- Sarı Başman, B., & Akın, O. (31 Ekim - 2 Kasım 2018). Mahalle ölçeğinden birim konut ölçeğine ortak mekân kavramı ve değişimi. İçinde E. S. Kubat, E. Kürkçüoğlu, E. Küçük, İ. Kurtuluş, K. Eskidemir, & M. Akay (Eds.) *"DeğişKent" Değişen kent, mekân ve biçim Türkiye kentsel morfoloji araştırma ağı II. kentsel morfoloji sempozyumu* (ss. 945-965). İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi.
- Sayan, Y. (1997). *Uşak evleri* (1. Baskı). Türk Tarih Kurumu Basmıevi.
- Sezer, A., Deniz, M., & Topuz, M. (2018). Uşak şehrinde okullara erişebilirliğin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile analizi. *Journal of History Culture and Art Research*, 7 (5), 470-494. DOI:10.7596/taksad.v7i5.1802
- Sınmaz, S., & Özdemir, H. A. (2016). Türkiye şehir planlama pratiğinin kentsel morfoloji ve tipoloji üzerindeki etkileri, Siverek kenti için bir değerlendirme. *İdealkent*, 18 (7), 80-115.
- Stewig, R. (1966). *İstanbul'da çıkmaz sokaklar ve gecekondu meselesi* (R. Turfan, & M. Ş. Yazman Çev.). Baha Matbaası.
- Şahin, B., & Bozyiğit, R. (2023). Ortaöğretim coğrafya ders kitaplarında tematik harita kullanımının incelenmesi. *International Journal of Geography and Geography Education*

- (IGGE), 48. 1-20. <https://doi.org/10.32003/igge.1179363>
- Şahinalp, M. S., & Günel, V. (2012). Osmanlı şehircilik kültüründe çarşı sisteminin lokasyon ve çarşı içi kademelenme yönünden mekânsal analizi. *Milli Folklor*, 24 (94), 149-168.
- Şıkoğlu, E. (2022). Keban (Elazığ) cadde sokak sistemlerinin mekân dizim analizi yöntemiyle incelenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 20 (2), 450-474. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1078108>
- Şimşek, M. B. (2023). Bir Osmanlı kentinde mahremiyetin sınırlarını aramak: Ankara'da mahalle, sokak ve evler üzerinden bir mahremiyet okuması. *Hacettepe Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları (HÜTAD)*, 39, 199-225. <https://doi.org/10.20427/turkiyat.1282582>
- Taşçı, H. (2014). *Bir hayat tarzı olarak şehir, mekân, meydan*. Kaknüs Yayınları.
- Taylor, K., & Lennon, J. (2011). Cultural landscapes: A bridge between culture and nature?, *International Journal of Heritage Studies*, 17 (6), 537-554. DOI:10.1080/13527258.2011.618246
- Thornbush, M. (2015). Geography, urban geomorphology and sustainability. *Area*, 47 (4), 350-353. DOI:10.1111/area.12218
- Tolun-Denker, B. (1976). *Şehir içi arazi kullanılışı*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Tutsak, S. (2001). Osmanlı Devleti'nin son devirlerinde Uşak Kazası. *Tarih İncelemeleri Dergisi*, 16 (1), 175-192.
- Tümertekin, E., & Özgüç, N. (2014). *Beşeri coğrafya -İnsan, kültür, mekan* (14. Baskı). Çantay Kitabevi.
- Uğur, A., & Aliagaoglu, A. (2019). *Şehir coğrafyası* (7. Baskı). Nobel Yayınevi.
- Uşak Belediyesi (2023). *Uşak Belediyesi plan raporu (2023)*. ([https://www.usak.bel.tr/modules/icerikler/datafiles/FILE\\_0F572D-916B8A-F72C3A-58140F-2D7DC1-816BDC.pdf](https://www.usak.bel.tr/modules/icerikler/datafiles/FILE_0F572D-916B8A-F72C3A-58140F-2D7DC1-816BDC.pdf)) (29.01.2024 tarihinde erişildi).
- Uysal, Ü. E. (2020). İslam kenti: Eleştirel bir değerlendirme. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi KAÜİİBFD*, 11 (1), 386-402. <https://doi.org/10.36543/kauibfd.2020.ek1.018>
- Ünver, H. (2016). Kentsel morfolojinin geleneksel bir sokak dokusunu şekillendirmesi: Kurşunlu Cami Sokak. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 127-143.
- Yasak, Ü., & Sıtmaç, C. (2024). Uşak şehrinde cadde ve sokak isimlerinin hodonimik analizi. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 52, 52-70. <https://doi.org/10.32003/igge.1421026>
- Yerasimos, S. (1996), Tanzimat'ın Kent Reformları Üzerine. İçinde P. Dumont, & F. Georgeon (Eds.) *Modernleşme Sürecinde Osmanlı Kentleri* (ss. 1-19). Tarih Vakfı Yurt Yayını.
- Yıldız, Ş. (2011). What does make a city Islamic?. *International Journal of Business and Social Science*, 2 (8), 199-201.
- Yılmaz, A. (2023). Uşak'ta şehir turizmi. İçinde S. Sarısamancıoğlu, & S. Ceylan (Eds.) *Kurtuluşun 100. Yılında Uşak*. (ss. 204-212). Palet Yayınları.
- Zhang, P., Ghosh, D., & Park, S. (2023). Spatial measures and methods in sustainable urban morphology: A systematic review. *Landscape and Urban Planning*, 237, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104776>



# İstanbul'da biyoklimatik konfor koşullarının mekansâl analizi<sup>1</sup>

## Spatial analysis of bioclimatic comfort conditions in Istanbul<sup>1</sup>

Ayşegül Oğul<sup>a\*</sup>  Faize Sarış<sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Milli Eğitim Bakanlığı, Alemdar Anadolu Lisesi, Zonguldak, Türkiye.

<sup>b</sup> Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Çanakkale, Türkiye.

ORCID: 0000-0002-0382-123X; F.S. 0000-0002-1721-4959

### BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 06.07.2024

Kabul/Accepted: 31.10.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Biyoklimatik konfor  
İstanbul  
CBS  
İklimsel parametreler

#### Keywords:

Bioclimatic comfort  
Istanbul  
GIS  
Climatic parameters

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(A. Oğul)alpin.2377@gmail.com

DOI: 10.17211/tcd.1511621



#### Atf/Citation:

Oğul, A., & Sarış, F. (2024). İstanbul'da biyoklimatik konfor koşullarının mekansâl analizi. *Türk Coğrafya Dergisi* (86), 71-85. <https://doi.org/10.17211/tcd.1511621>

### ÖZ/ABSTRACT

Günümüzde nüfusun % 57'sinin yaşadığı kentsel alanlar, iklimsel değişimler ile antropojenik faaliyetlerden önemli derecede etkilenmektedir. Türkiye'nin metropol kenti İstanbul'da biyoklimatik konfor koşullarının zamansal ve mekansal karakterini ortaya koymayı amaçlayan bu çalışmada, 35 meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık, nisbi nem ve rüzgâr hızı verileri kullanıldı. Biyoklimatik konfor analizleri için aylık ve yıllık ortalama sıcaklık, nisbi nem ve rüzgâr hızı verileri dikkate alınmış, her bir parametrenin mekansal paterni Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon tekniğiyle ortaya konulduktan sonra, belirlenen konfor referans aralıkları dikkate alınarak ve ArcGIS 10.5'teki reclassifiye (yeniden sınıflandırma) ve weighted overlay (ağırlıklı çakıştırma) araçları kullanılarak biyoklimatik konfor haritaları oluşturuldu. Yıllık ortalama konfor haritası, çalışma alanında tamamen konforsuzluğa işaret ederken, aylık ortalama analizlerde farklılıklar belirlendi. Kasım, aralık, ocak, şubat ve mart ayları boyunca İstanbul genelinde konforsuz koşullar egemenken, haziran ve eylül aylarının, İstanbul için biyoklimatik açıdan en konforlu dönemler olduğu tespit edildi. Çevresine göre sıcaklık, nem, rüzgâr hızı ve konfor olarak farklılık gösteren güneydeki ilçelerin – Fatih, Beyoğlu, Bakırköy, Zeytinburnu, Kadıköy, Üsküdar, Ümraniye, Maltepe, Kartal – yoğun nüfuslu ve sanayileşmiş mekanlara karşılık geldiği, konforda fiziki koşullar kadar antropojenik özelliklerin de sonuçları etkilediği belirlenmiştir. Uzun yıllar gözlem yapan 8 meteoroloji istasyonunun verilerine göre yapılan trend analizlerinde ise, ortalama sıcaklıklarda anlamlı artışlar gözlemlendi.

Today, urban areas where 57% of the population lives are significantly affected by climatic changes and anthropogenic activities. In this study, which aims to reveal the temporal and spatial character of bioclimatic comfort conditions in Istanbul, a metropolitan city of Turkey, temperature, relative humidity and wind speed data of 35 meteorological stations were used. Monthly and annual average temperature, relative humidity and wind speed data were taken into account for bioclimatic comfort analyses, and after the spatial pattern of each parameter was revealed by the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation technique, bioclimatic comfort maps were created by considering the determined comfort reference intervals and using the reclassify and weighted overlay tools in ArcGIS 10.5. While the annual average comfort map indicated complete discomfort in the study area, differences were determined in the monthly average analyses. While uncomfortable conditions prevail throughout Istanbul during November, December, January, February and March, it was determined that June and September were the most bioclimatically comfortable periods for Istanbul. It was determined that the southern districts -Fatih, Beyoğlu, Bakırköy, Zeytinburnu, Kadıköy, Üsküdar, Ümraniye, Maltepe, Kartal - which differ in temperature, humidity, wind speed and comfort compared to their surroundings, correspond to densely populated and industrialized areas, and that anthropogenic characteristics as well as physical conditions affect the results in comfort. In the trend analyses conducted according to the data of 8 meteorological stations that have been observing for many years, significant increases were observed in average temperatures.

<sup>1</sup>Bu çalışma Ayşegül Oğul'un (2023) "İstanbul'da arazi kullanım değişiminin biyoklimatik konfor şartlarına etkisi" başlıklı doktora tezinden faydalanılarak üretilmiştir.

<sup>1</sup>This work was produced by utilizing Ayşegül Oğul's (2023) doctoral dissertation titled "The effect of land use change on bioclimatic comfort conditions in Istanbul".

## Extended Abstract

### Introduction

For centuries, climate has been the most important determinant of our choices of settlement areas, which also affects our daily life activities. The effects of climate are evident in various aspects, from economic activities to clothing preferences, from habitats to cultural formations. Cities, where a significant portion of the population resides, have become a focal point not only for the advantages they offer but also for the damage they cause to climate and environmental conditions. Istanbul, known as the largest metropolitan city in Turkey and characterised by both advantages/disadvantages due to its conditions, forms of study area of this research. The aim of the study was to reveal the bioclimatic comfort conditions in a densely populated city that presents vital and administrative challenges, and to achieve this goal, analyses have been conducted from the perspective of temporal and spatial change.

With each passing day, the growing population and unplanned urban development negatively affects the quality standards of living spaces and creates thermally uncomfortable environments. At this point, disciplines that enable urban design studies to transform living spaces into healthy environments - such as bioclimatology - have emerged. Areas that provide certain climatic conditions needed by people are defined as "comfort zones". The individual's ability to feel healthy, dynamic and productive, while adapting to their environment with minimal energy expenditure is an indicator of comfort. Research to calculate comfort, which began in 1923 with the Effective Heat Index, has developed further with the addition of various parameters.

### Data and Method

In this study, monthly and annual averages of temperature, wind speed and relative humidity data of 35 stations were used as data sets to evaluate the analysis of bioclimatic comfort conditions of Istanbul. Data sets were imported to ArcGIS 10.5 and average temperature, relative humidity and wind speed maps were produced using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method. Threshold values for the comfort maps were determined by examining comfort studies conducted in Turkey and reviewing Istanbul's monthly and annual maximum and minimum datasets. Afterwards, bioclimatic comfort maps were created using "Reclassify" and "Weighted Overlay" tools. In addition to spatial assessment based on annual and monthly averages of climate parameters, trend analysis was applied to statistically evaluate interannual variability. Temporal trends were determined in the data from eight long-term observation stations using the Mann-Kendall rank correlation coefficient method with the Kendall Tau b application in SPSS 18.

### Results and Discussion

In the maps prepared according to annual averages, temperature values ranged between 12.6-18 °C, humidity 70.2-90%, and wind speed 1.7-7.2 m/s. Differences in values in the southern parts of Istanbul, where temperatures increase, humidity decreased, and wind direction changed due to skyscrapers, were also reflected in the maps. However, since this did not

significantly alter the annual bioclimatic comfort conditions, no localised comfortable or uncomfortable areas were identified. In the monthly average temperature maps, the values were lowest between December and March and highest between May and September. While the monthly average temperature varied between 3.3-26 °C, spatially high humidity values were detected throughout the study area. Humidity values varied between 64-90.5% and wind speed values varied between 1.5-9.2 m/s. According to the bioclimatic comfort analyses conducted on monthly average climate parameters, it was observed that five months were completely uncomfortable, while the period from June to September featured a larger area of comfortable zones. Trend analyses conducted using the average temperature and humidity data from 8 long-term observation stations, revealed an overall increasing trend in temperatures, with this trend being most prominent in the average temperatures over both spatial (stations) and temporal (months) dimensions. In examining the results of the humidity analyses, it was found that there were no widespread increases throughout the year except for the Kartal station. Therefore, while no significant increases were observed in humidity, notable increases were detected in temperature series. High temperatures, low humidity values, and varying comfort zones identified in the southern parts of Istanbul are significantly influenced by the dense population and associated urbanization. The tendency of cities to create milder environments compared to their surroundings during cold periods, and hotter environments during warm periods—essentially transforming into Urban Heat Islands—also shapes comfort conditions. The emergence of Urban Heat Islands is particularly pronounced in the southern regions of the city, where temperatures are high, aligning with our findings. Considering that global climate change has an effect in Turkey especially in terms of increased temperature and drought, the current data and maps for Istanbul indicate that Istanbul's comfort conditions will undergo both temporal and spatial changes in the coming years. Due to rising temperatures, the prevailing discomfort during the winter may transform regionally into the emergence of comfortable areas, while the comfortable conditions in the summer could be replaced by uncomfortable conditions, leading to an expansion of these uncomfortable zones. When the findings of bioclimatic comfort analyses conducted specifically for Istanbul evaluated alongside the potential impacts of global climate change in the future, suggest that significant changes in comfort may be expected during the spring and autumn months, as well as in June.

### 1. Giriş

Yüzyıllardır yerleşme alanı seçimlerimizin önemli belirleyicisi olan iklim günlük yaşam aktivitelerimizi de etkilemektedir. Ekonomik faaliyetlerden giyim tercihlerine, habitatlardan kültürel oluşumlara kadar çeşitli şekillerde iklimin etkileri gözlenmektedir. Geniş bir bölgede ve uzun yıllar boyunca değişmeyen ortalama hava koşullarını ifade eden iklim, bu yönüyle coğrafi çevrenin ve insan yaşamının şekillenmesini sağlamaktadır (Erol, 1993).

Dünyanın çok farklı iklimsel özelliklere sahip bölgelerinde yaşamaya adapte olmuş insan için, doğrudan iklim kaynaklı bir habitat kaybindan söz edilmese de iklimsel açıdan konforsuz

koşulların oluşacağı tahmin edilmektedir. İnsanlar tarafından ihtiyaç duyulan belirli iklim koşullarını sağlayan alanlar "konfor bölgesi" olarak tanımlanmıştır. Bu konforun göstergesi; bireyin kendisini sağlıklı, dinamik ve verimli hissetmesi, mümkün olan en az enerjiyi harcayarak çevresine adapte olabilmesidir. Başka bir ifadeyle termal konfor, insanın en az seviyede enerji harcarak çevresine uyum sağlayabildiği koşullar olarak da tanımlanmaktadır (ISO, 2002; ASHRAE, 2004; Auliciems & Szokolay, 2007).

Her geçen gün büyüyen ve nüfusu artan, plansız kentsel gelişim yaşam alanlarının kalite standartlarını olumsuz etkilemekte, hava kirliliğinden, aşırı enerji tüketimine ve termal açıdan konforsuz mekanlara kadar birçok çevre sorununu beraberinde getirmektedir. İşte bu noktada yaşam alanlarını sağlıklı ortamlara dönüştürme konusunda kentsel tasarım çalışmalarına olanak sağlayan alt disiplinler ortaya çıkmıştır. Uygulamalı klimatolojinin önemli alanlarından biri olan ve farklı disiplinlerden bilimsel araştırmaların konusunu oluşturan biyoklimatoloji bunlardan biridir. Konfor indisi çalışmaları, 1923 yılında Etkili Sıcaklık indisi ile başlamış ve zamanla farklı kriterlerin eklenmesiyle geliştirilmiştir (Çağlak, 2021). Ortam koşullarından memnuniyeti ifade eden zihin durumu olarak tanımlanan termal konfor, bu indislerin kullanımıyla iç ve dış mekan çalışmalarında kullanılmıştır. Fiziki ve Beşeri çevrenin insan fizyolojisi üzerindeki etkilerini araştıran termal konfor, biyoklimatik konfor olarak ifade edilmektedir. (Sayigh & Marafia, 1998; Toy, 2010).

Küresel iklim değişikliği birçok alanda olduğu gibi biyoklimatik konfor koşullarında da etkisini göstermektedir. Antropojenik etkilerle ortaya çıkan iklim değişikliği özellikle sıcaklık artışlarında kendini göstermektedir. Kentsel alanların genişlemesine karşılık, vejetatif yüzeylerin ve sulak alanların azalması arazi örtüsünün değiştiğini göstermektedir. Yapay alanlar, yüzeyin ısı depolama kapasitesini arttırmakta, atmosfer ile yeryüzü arasındaki ısı dengesini etkilemektedir. Kentsel alanlardaki sıcaklığın kırsal alanlara göre daha yüksek olmasına neden olan bu durum, Kent Isı Adası (KIA) olarak adlandırılmaktadır (Oke, 1982). Küresel ısınmanın kent ölçeğindeki karşılığı olan KIA, iklim değişikliğinin etkisini şiddetlendirmektedir (Aksak vd., 2023). İstanbul'da yıllık ortalama sıcaklıkların 1912-2016 döneminde 0,94 °C'lik artışına neden olan bu durum, sıcak hava dalgalarının etkilerini arttırarak halk sağlığını olumsuz etkilediği (Yasdıman, 2023), insanların ve diğer canlıların yaşam standartlarını düşürdüğü ve sürdürülebilir çevre çalışmalarında karşılık bulmadığı (Temur, 2023) için üzerinde durulması gereken çevre sorunlarından biridir. Sıcak hava dalgalarının desteklediği KIA nedeniyle, toprak ve beton yüzeyler arasında 25°C'lik sıcaklık farkı oluşmakta ve oluşan bu fark nedeniyle kronik rahatsızlığı olanlar, hamileler, ileri yaşta kişiler ve bebekler ile evcil hayvanlar, kentte yaşayan diğer tüm canlılar (kirpi, kaplumbağa, kertenkele, arı, karınca gibi) için risk ortamı oluşmaktadır (Çelik, 2023). 1990 yılından sonra hızlanan sıcaklık artışları, İstanbul'a yönelik çok sayıda iklim modeli ve senaryo ile oluşturulan projeksiyonları gerekli kılmıştır. Bu projeksiyonların tamamı sıcaklık artışından kuraklığa, deniz seviyesi yükselmesinden şiddetli yağışlara kadar önemli etkilere dikkat çekmektedir. İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü İklim Senaryoları Raporu'nda kullanılan RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 senaryoları, yüzyılın sonuna doğru İstanbul'da yıllık ortalama sıcaklıkların 1986-2005 dönemine göre 1 ila 5 °C arasında

artacağına işaret etmektedir (Kaya, 2018). Güncel çalışmalar ise İstanbul'un özellikle güneyindeki yüksek sıcaklıklara ve düşük yağışa dikkat çekmektedir (Ünal vd., 2020; Balcıoğlu & Gönençgil, 2022; Çapraz, 2024). İstanbul her ne kadar geçiş iklimlerinin etkisi altında bir bölgede yer alsada da, Akdeniz İklimi etkilerinin daha fazla hissedildiği güney kesimlerde sıcaklıklar daha yüksek kaydedilirken, kuzeye doğru kademeli düşüş gözlenmekte, farklar 1.7 °C'ye çıkmaktadır. İstanbul'un güneyi ile kuzeyi arasında enlem ve topografya açısından kayda değer bir farklılık gözlenmesi de ortalama sıcaklık farklarının oluşmasında hem iklim tiplerindeki farklılıklar hem de kentleşme ve sanayileşme etkisi öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar, ortalama sıcaklıkların eğiliminde bölge genelinde bir artışın olduğunu, yağış miktarının ise, İstanbul'un güneyinde azalırken, kuzeye gidildikçe Karadeniz ikliminin etkisiyle arttığını göstermektedir (Turoğlu, 2014; Balcıoğlu & Gönençgil, 2022). Yağışta ortaya çıkan bu durum, bağıl nem dağılımında da gözlenmektedir.

İnsan biyoklimatolojisi üzerine yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak farklı bileşenlerin kombine etkilerini ortaya koyan indis hesaplamalarına dayanır. Sıcaklık, rüzgâr ve nisbi nem gibi parametrelerle tanımlanan ve biyoklimatik konforu sağlayan iklim koşullarının alt ve üst sınırlarının belirlenmesine yönelik pek çok araştırma yapılmış ve birbirinden az da olsa farklılıklar gösteren değerler elde edilmiştir. Ancak, orta enlemlerde yaşayan tüm insanların biyoklimatik konfor gereksinimlerini belirlemek amacıyla geliştirilen Olgay (1973)'in biyoklimatik konfor yaklaşımı bu konuda ayrı bir önem taşımaktadır. Olgay, biyoklimatik konforu sağlayan iklimsel koşulları bir koordinat sistemi yardımıyla belirlemektedir. "Biyoklimatik Çizelge" adı verilen bu çizelgede koordinat sistemi üzerine herhangi bir alandaki iklim verileri işlenerek, o alanda biyoklimatik konforun sağlanabilmesi için gerekli olan iklimsel değerler ortaya çıkarılabilmektedir (Altunkasa, 1987). Olgay'a göre, biyoklimatik konfor değerleri; 21,0 – 27,5 °C sıcaklık, % 30 - 65 bağıl nem ve 5 m/sn'ye kadar rüzgâr hızı kombinasyonu olarak belirlenmiştir (Çınar, 1999). Ancak ilerleyen süreçte farklı indislerle yapılan çalışmalarda, eşik değerler ve parametrelerin bölgesel olarak değişkenlik gösterdiği ortaya konmuştur. Ülke ve arazi koşullarına göre uyarlanan bu değerler doğal olarak farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, Türkiye için buhar basıncı ve nisbi nem ilişkileri dikkate alınarak, etkili sıcaklıkların eşik değerleri 16,7°C–24,7°C olarak hesaplanmıştır (Sungur, 1980). Ancak, Avustralya'nın Akdeniz iklim koşullarına yakın doğu bölgesi için ise bu değerler 17,0°C–24,9°C olarak kabul edilmiştir. Gaffney'e dayanarak Hobbs, bu yönden 17,0°C–24,9°C'lik sıcaklıkların uygun sıcaklık değerleri olduğunu belirtmiştir (Güçlü, 2008). Ayrıca, konfor bölgesinin belirlenmesinde rüzgâr hızının 6 m/sn'den az ve bağıl nem değerlerinin %30-%70 arası olmasının da sıcaklık değerleri ile birlikte ele alınması gerektiği vurgulanmıştır (Ülker, 1988).

Orta enlemlerde, biyoklimatik konfor açısından uygun olarak kabul edilen hissedilen sıcaklık değeri nem ve rüzgâra bağlı olarak 17-24,9°C'ler arasındadır ve bu sıcaklık aralığı Türkiye için de geçerlidir (Çetin, 2016). Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan biyoklimatik konfor çalışmalarında, öncelikli kullanılan kriterler olan sıcaklık, rüzgâr hızı ve nisbi nem verilerinde eşik değerler belirlenirken, çalışmanın yapıldığı alanın iklim özelliklerine göre farklı değer aralıkları kullanılabilir. Karakuş & Demiroğlu (2022), Sivas'ta yaptıkları biyoklimatik konfor ça-



ışmasında kuru ve soğuk hava koşullarını gözönünde bulundurarak eşik değerlerini, sıcaklık 15-20°C, rüzgâr hızı 0-5 m/sn ve nisbi nem % 30-65 olarak belirlemişlerdir. Yeşil vd. (2021) ile Çetin vd. (2010), sıcaklık 15-27°C, rüzgâr hızı 0-5 m/sn ve nisbi nem % 30-70 olarak kabul etmiştir. Türkiye’de ve Dünya’da yapılan çalışmalarda, bulunulan bölgenin coğrafi konumuna ve iklimine göre şekillenebilen konfor aralıkları subjektif bir değer olup zamana, mekâna ve kişiye göre değişiklik göstermektedir (Hobbs, 1980). Birçok araştırmacı tarafından indisler ve bu indislere dayalı eşik değerler belirlenmiş olsa da konfor aralıklarının kalibrasyon sonuçlarına dayalı olarak, yerel koşullara göre ayarlandığı söylenebilir (Pontes vd., 2022). Sungur, 1980 yılında Türk insanları ile yaptığı bir çalışmada optimum etkili sıcaklık değerlerini saptamıştır. Bu değerlerin, 16,7 - 24,7 °C arasında olduğunu, ancak bulunan bu değerlerin subjektif değerler olduğunu belirtmiştir. Koçman ise, 1991 yılında yaptığı çalışmada ülkemiz için etkili sıcaklık değerlerini 17,0 - 24,9 °C olarak tanımlamıştır. Bahsi geçen çalışmalara ek olarak, coğrafi konum, iklim özellikleri ve parametrelerin uzun süreli ortalamaları, maksimum ve minimum değerler incelenerek, İstanbul için referans değerler, sıcaklık 17-24 °C, rüzgâr hızı 0-5 m/sn ve nisbi nem % 30-70 olarak belirlenmiştir.

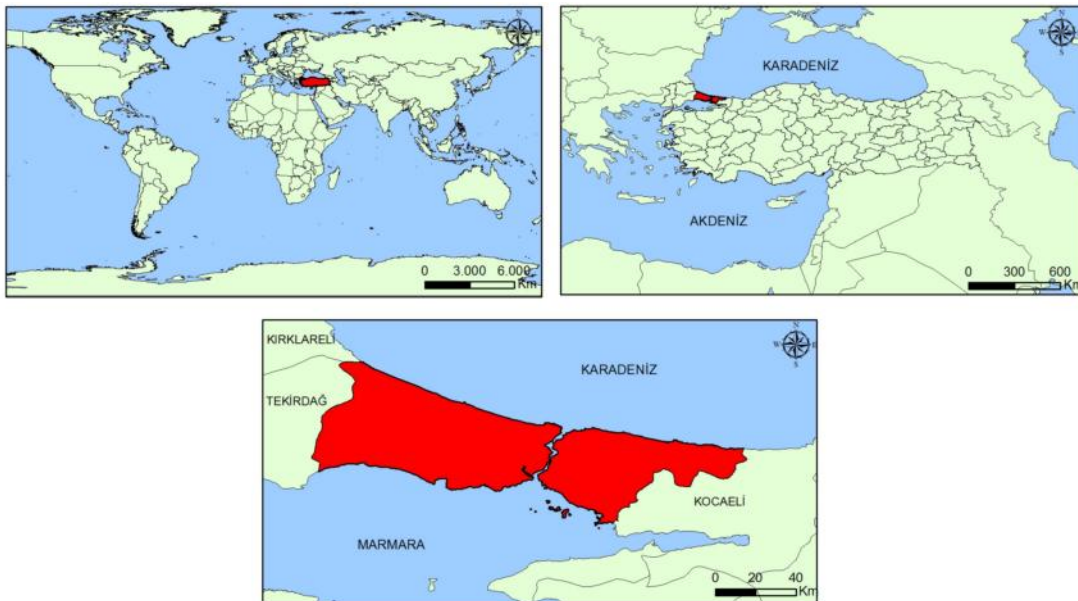
Türkiye’nin metropol kenti İstanbul için biyoklimatik konfor şartlarının yıl içindeki değişimini ve alansal farklılaşmasını ortaya koymak, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmanın yanı sıra; kent, rekreasyon ve turizm planlamalarına yeni bir veri ve anlayış sağlayacaktır. İklim değişikliği etkilerine ek olarak, artan nüfusu ve arazi örtüsü değişimleriyle İstanbul’da biyoklimatik konfor koşullarının araştırılması bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmuştur. Bu bağlamda; İstanbul’da sıcaklık, rüzgâr hızı ve nisbi nem parametreleri kullanılarak aylık ve yıllık biyoklimatik konfor hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarla, kentin biyoklimatik konfor şartlarının zamansal ve mekansal ölçeklerde değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Çalışma Alanı

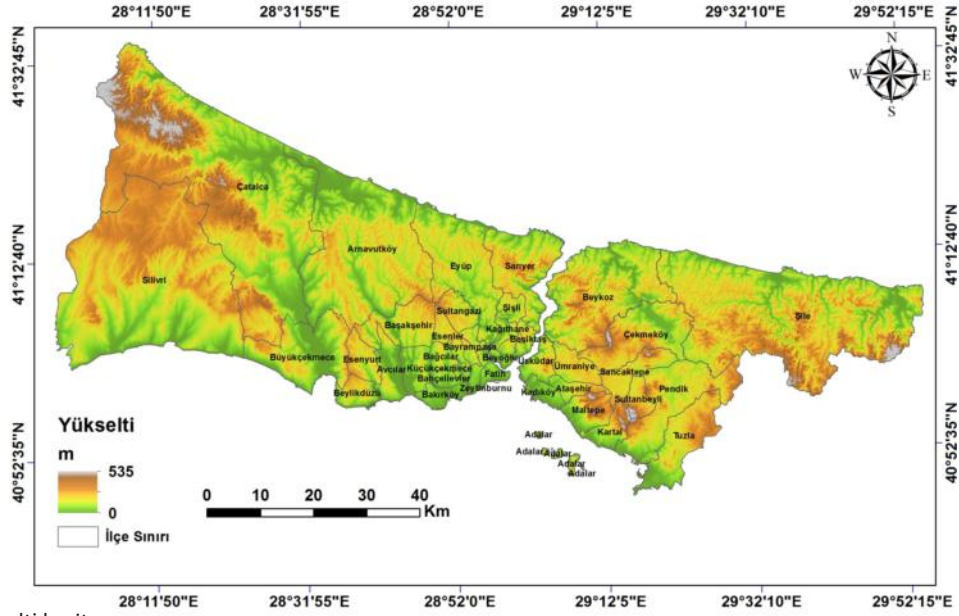
Araştırma alanı olarak seçilen İstanbul, Asya ile Avrupa kıtasının birleştiği bir noktada, Marmara Bölgesi’nde son derece stratejik

bir konumda yer almaktadır. Sadece Türkiye için değil, dünya üzerindeki konumu açısından da kuşkusuz önemli noktalardan biridir. Kocaeli ve Çatalca olarak adlandırılan iki yarımadadan oluşan şehrin ortasında, İstanbul Boğazı yer almaktadır. Şehrin kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Marmara Denizi, doğusunda Kocaeli, batısında Tekirdağ ve Kırklareli bulunmaktadır (Şekil 1). İstanbul’u doğuda Kocaeli Sıradağları, batıda ise Ergene Havzasının su bölümü çizgisi sınırlamaktadır. Flüvyal süreçlerin eseri olan şekillerden oluşan araştırma sahası, orta şiddette kimyasal ayrışma, zayıf derecede fiziksel parçalanma, orta derecede kütle hareketleri, akarsuların maksimum seviyede etkin olduğu, flüvyal morfojenetik bölge sınırları içerisinde bulunmaktadır (Kurter, 1979). Bu flüvyal süreçlerle şekillenen çalışma alanında, platolar baskın yüzey şeklini oluşturmaktadır (Şekil 2). En yüksek noktası 535 m ile Aydos dağı’dır.

İstanbul’un bir Orta Kuşak kenti olması tek düze olmayan iklimsel koşulları yaratmıştır. Farklı basınç sistemleri arasında yıl içinde değişen hava koşulları nedeniyle birden fazla iklim tipinin etkilerini görmek mümkün. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre kışları ılık, yazları sıcak Akdeniz iklim bölgesinde yer almaktadır (Öztürk vd, 2017). İstanbul coğrafi konum gereği yazın, maritime Tropical (mT) hava kütlelerinin etkisi altından, bu dönemde sıcak ve kurak koşullar hakim olmaktadır. Kış döneminde ise, soğuk-nemli ve soğuk-kurak etkiler gösteren maritime Polar (mP) ve continental Polar (cP) hava kütleleri bölgeyi etkisi altına almaktadır. Gerek iklimin ve hava kütlelerinin kendi içindeki karakteristiği, gerekse şehirleşme ve yoğun nüfus İstanbul’un kuzeyinde ve güneyinde iklim elementleri açısından dönemlik farklılıklar yaratmaktadır (Balcıoğlu & Gönencgil, 2022). Antropojenik etkilerin yanı sıra hakim rüzgâr yönünün kuzey yönlü olması, İstanbul’un kuzey kıyılarının özellikle yaz dönemi başta olmak üzere yılın genelinde güneye göre daha düşük sıcaklık ve daha yüksek nisbi nem değerlerine sahip olmasını sağlamıştır. Bu durum doğal olarak kuzey ilçelerde sıcaklıkların güneydekilere göre nispeten daha düşük olmasına neden olmaktadır. Ayrıca Aydos dağı ve Kayışdağı gibi doğal set oluşturan yükseltiler nedeniyle Kartal gibi güneyde bulunan istasyonlar kuzeyli rüzgârlara kapalı konumda yer almaktadır. Antropojenik etkilere ek olarak fiziki ortam koşullarından



Şekil 1. İstanbul lokasyon haritası.  
Figure 1. Istanbul location map.



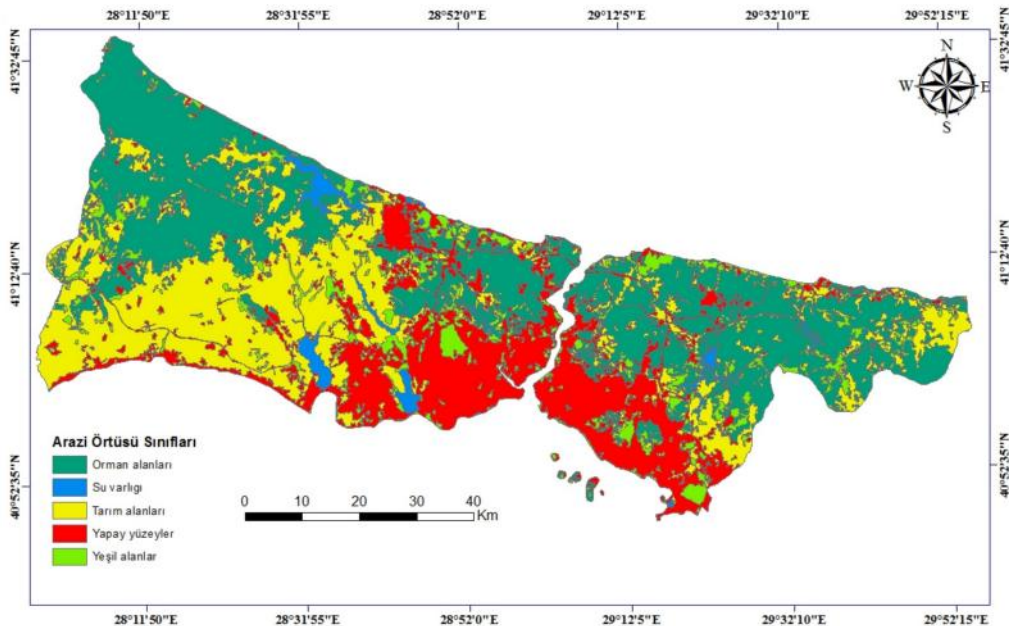
Şekil 2. İstanbul yükselti haritası.  
Figure 2. Istanbul elevation map.

kaynaklanan nedenlerle ilin kuzeyi ve güneyi arasında iklimik farklar oluşmuştur. Balcıoğlu ve Gönencgil (2022), tarafından Yarı Nemli Marmara Geçiş İklimi olarak nitelendirilen İstanbul'un iklim koşulları, güneyde Akdeniz iklimine benzer ancak yazların fazla kurak olmadığı, kışların daha soğuk geçtiği özelliklere sahiptir. Kuzeyde ise daha nemli ve yağışlı, yaz kuraklığının fazla hissedilmediği Karadeniz ikliminin etkileri görülmektedir. Bu yönüyle genel özellikler sunan iklim sınıflandırmalarının enlem, topografya ve gezici orta kuşak depresyonlarının etkisiyle mekansal olarak değişim gösterdiği söylenebilir.

Uzun tarihsel bir geçmişe sahip olan İstanbul'un arazi örtüsü, yoğun nüfus ve ekonomik faaliyetler nedeniyle farklı amaçlarla kullanılmış ve bu kullanım dönemsel olarak değişiklik göstermiştir. 2018 yılı Corine arazi örtüsü verileri, önceki dönemlerde ilin güneyinde yoğunlaşan şehir yapılarının Marmara Denizi kıyı şeridi boyunca doğu-batı yönlü genişlediğini hatta boğaz boyunca kuzeye doğru yayıldığını göstermektedir. Temeli 2014 yılında atılan ve 2018'de faaliyete geçen İstanbul Havalimanı'nın

bulduğu alan da kentleşmeye başlamıştır. İstanbul'da kentleşme oranı her geçen gün artmakta, buna karşılık tarım, mera, doğal su ve orman alanları azalmaktadır. Ormanlar çoğunlukla kuzeyde -Çatalca, Arnavutköy, Sarıyer, Beykoz, Şile, Çekmeköy- bulunurken, tarım alanları Avrupa Yakası'nda Büyükçekmece, Silivri, Arnavutköy ve Çatalca'da yer almaktadır (Şekil 3).

Son yıllarda İstanbul'dan farklı şehirlere 252.027 kişilik nüfus göç etmiş olmasına rağmen, Türkiye'nin en kalabalık şehri olma özelliğini korumaktadır. İstanbul, 5461 km<sup>2</sup> lik yüzölçümüne sahip ve nüfusu 15.907.951'lik metropol bir şehirdir. Türkiye nüfusunun %18,65'nin ikamet ettiği bu şehirde, bugün km<sup>2</sup>'ye 3062 kişi düşmektedir (TÜİK, 2022). Bu veriler nüfus yoğunluğunun, toplam nüfustan daha hızlı arttığını, özellikle şehrin güneyinde bu yoğunluğun daha da yükseldiğini göstermektedir. Bugün, Esenyurt, Küçükçekmece, Bağcılar, Pendik, Ümraniye gibi nüfusu fazla olan ilçeler güneyde Marmara Denizi kıyılarında yer almaktadır (Şekil 4).



Şekil 3. İstanbul CORINE 2018 arazi örtüsü haritası.  
Figure 3. Istanbul CORINE 2018 land cover map.

### 3. Veri ve Yöntem

#### 3.1. Biyoklimatik Konfor Analizi ve Verilerin Seçimi

Çalışmada, İstanbul'un biyoklimatik konfor şartlarının analizini değerlendirmek amacıyla sıcaklık, rüzgâr hızı ve nisbi nem verilerinin aylık ve yıllık ortalamaları veri seti olarak kullanılmıştır. İstanbul'da gözlem yapan, ölçüm eksikliği ve hatası bulunmayan 35 istasyonun verisi analizler için seçilmiştir (Tablo 1). İstasyonlar seçilirken konumların, yükseltilerin ve arazi örtüsü özelliklerinin farklı olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 5). Çalışma konusu gereği kırsal, kentsel ve kentsel-kırsal özellik gösteren istasyonlar seçilmiş, veri içermeyen alanlardaki ortalamaların tahmininde ise yakın çevredeki istasyon verileri temel alınarak enterpolasyon teknikleri kullanılmıştır. Bu amaçla, meteorolojik veri setleri ArcGIS 10.5 programına aktarılmış ve enterpolasyon yöntemlerinden Inverse Distance Weighted (IDW) yöntemi esas alınarak ortalama sıcaklık, nisbi nem ve rüzgâr hızı haritaları üretilmiştir. Enterpolasyon yöntemleri, birbirine yakın noktaların uzaktakilere göre daha fazla korelasyon ve benzerliğe sahip olduğu teorisine dayanmaktadır. IDW'de değeri bilinmeyen bir noktanın, yakınındaki kontrol noktalarından, uzaktaki noktalara oranla daha fazla etkilendiği varsayılmaktadır. Ölçülmüş noktasal veriler genellikle düzenli bir ızgaraya yerleştirilir veya bazen bir alan üzerinde düzensiz bir şekilde dağıtılır ve bir harita oluşturmak için düzenli bir ızgara üzerinde enterpolasyonlar yapılır (Singh & Verma, 2019). Konfor haritaları için esas alınan eşik değerler belirlenirken, Türkiye için yapılan konfor

çalışmaları incelenmiş, İstanbul'un aylık, yıllık maksimum ve minimum veri setlerine bakılmıştır. Yapılan bu araştırmalar sonucunda, Tablo 2'de yer alan veri setleri konfor analizlerinde kullanılmıştır. Ardından, aynı programda "Reclassify" ve "Weighted Overlay" araçları kullanılarak biyoklimatik konfor haritaları oluşturulmuştur. Biyoklimatik konfor çalışmalarında her ne kadar farklı iklim verileri tek ya da kombine kullanılmış olsa da ve zamanla bu iklim verileri indislere göre değişiklik gösterse de hissedilen sıcaklık üzerindeki etkisi nedeniyle nisbi nem ve rüzgâr hızı önem arz ettiğinden, bu çalışmada da sıcaklık verilerine ek olarak tercih edilmiştir. Hobbs (1980)'a göre, temeli hissedilen sıcaklığa dayalı biyoklimatik konfor durumu, subjektif bir değer olup zamana, mekâna ve kişiye göre değişiklik gösterdiğinden, kalibrasyon sonuçlarına göre, yerel koşullardaki farklılıklar indis hesaplamalarında dikkate alınmaktadır.

Giriş bölümünde bahsedildiği üzere, orta enlemlerde bulunan Türkiye için belirlenen referans değerler, bölge ve kent özelliklerine göre yerel farklılıklar, kalibrasyonu gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, İstanbul gibi nemli ve fazla sıcak olmayan bir kent için değerlerin alt ve üst sınırlarında düzenleme yapılmıştır (Tablo 2).

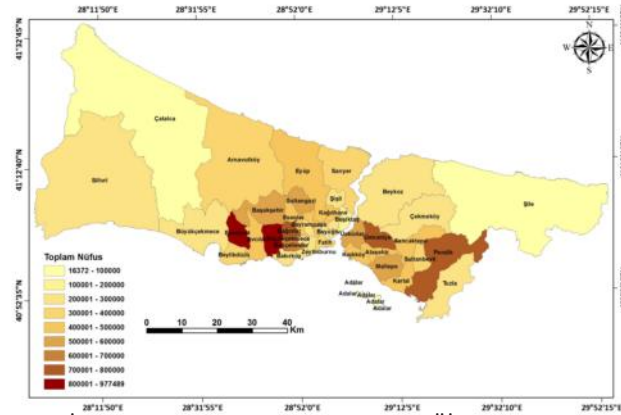
#### 3.2. Trend Analizi

İklim parametrelerinin yıllık ve aylık ortalamalarına dayanan alansal değerlendirmeye ek olarak, yıllar arası değişkenliği istatistiksel olarak değerlendirmek için trend analizi uygulandı. Mann-Kendal sıra korelasyon katsayısı yönteminin Kendall Tau b uygulaması kullanılarak zamansal eğilimler belirlendi. Kendall's Tau b, zaman serilerindeki monotonik trendleri kontrol etmek için yaygın olarak kullanılan testlerden biridir. Orijinal seri yerine sıralamaları değerlendiren, dağılımdan bağımsız ve parametrik olmayan bu analiz sonucunda elde edilen test istatistiği, % 5 ve % 1 anlamlılık seviyelerine göre değerlendirilerek değişimin yönü (artış/azalış) ve büyüklüğü belirlenir (Kendall, 1975). İstanbul'da biyoklimatik konfor analizine ek olarak, trend analizi uygulanarak zaman içerisinde gözlenen değişimlerin boyutu ve biyoklimatik konfor bakımından etkileri tartışılmaya çalışılmıştır. Bu amaç için uzun süreli gözlem yapan istasyonların verilerine, SPSS 18 programında Kendall Tau b testi uygulanarak, trend analizi yapılmıştır. Ortalama, minimum, maksimum sıcaklık ile ortalama nemlilik değişkenlerine ait serilerin analizi için ardışık, uzun yıllar gözlem yapan 8 istasyonun (Bahçeköy, Florya, Kadıköy Rihtım, Kartal, Sarıyer, Kumköy/Kilyos, Şile ve Atatürk Havalimanı) 1970-2021 dönemine ait verileri kullanılmıştır.

### 4. Bulgular ve Tartışma

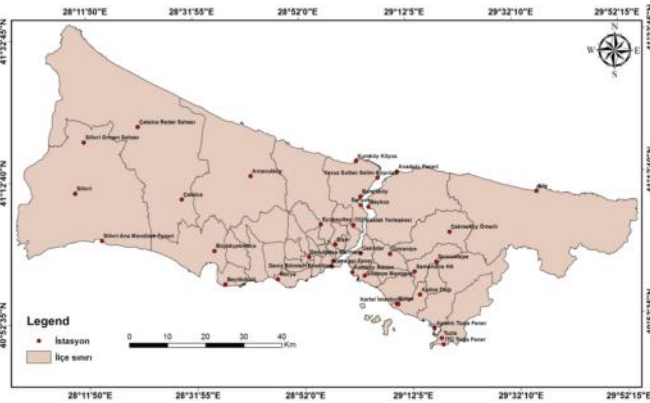
#### 4.1. Yıllık Biyoklimatik Koşulların Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, aylık ve yıllık ortalamalara göre sıcaklık, nisbi nem ve rüzgâr hızı haritaları oluşturuldu. İklim verilerinden, belirlenen referans aralıklara göre aylık ve yıllık konfor haritaları elde edildi. Yıllık ortalama sıcaklığın 12,6-18 °C aralığında olduğu, değerlerin Çatalca'da düşük, ilin güney kesimlerinde yer yer yükseldiği görüldü (Şekil 6). Yıllık ortalama nem değerleri % 70,2-90 aralığında değişirken (Şekil 7), ortalama rüzgâr hızının 1,7-7,2 m/sn aralığında değişkenlik gösterdiği görüldü (Şekil 8). İlin genelinde yıl boyunca nem oranlarının % 70'in üstünde



Şekil 4. İstanbul'da toplam nüfusun dağılışı (TÜİK, 2022).

Figure 4. Distribution of the total population of Istanbul (TUIK, 2022).



Şekil 5. İstanbul'un biyoklimatolojik koşullarının analizi için seçilen istasyonların alansal dağılımı (MGM)

Figure 5. Spatial distribution of the stations selected for the analysis of bioclimatological conditions of Istanbul (MGM)

**Tablo 1.** İstanbul'un biyoklimatolojik koşullarının analizi için kullanılan meteoroloji istasyonları (MGM)**Table 1.** Meteorological stations (MGM) used for the analysis of bioclimatological conditions of Istanbul (MGM)

Sıra	İstasyon Numarası	İstasyon Adı	İlçe	Enlem (° ve ')	Boylam (° ve ')	Rakım (m)	Rasat Süresi
1	18402	Arnavutköy	Arnavutköy	41.13 K	28.42 D	140	8
2	17636	Florya	Bakırköy	40.58 K	28.47 D	37	86
3	18421	Anadolu Feneri	Beykoz	41.22 K	29.16 D	58	7
4	18396	Beykoz	Beykoz	41.14 K	29.07 D	5	8
5	19110	Beylikdüzü	Beylikdüzü	40.57 K	28.37 D	122	5
6	18099	Büyükkçekmece	Büyükkçekmece	41.04 K	28.59 D	20	10
7	17047	Çatalca Radar	Çatalca	41.34 K	28.35 D	381	8
8	19111	Çatalca	Çatalca	41.16 K	28.49 D	78	5
9	18397	Ömerli	Çekmeköy	41.07 K	29.32 D	80	9
10	18101	Eyüpsultan	Eyüp	41.10 K	28.55 D	54	10
11	17603	İst. Den. Bil.Ens.	Fatih	41.01 K	28.57 D	10	16
12	17454	Kumkapı Fener	Fatih	41.00 K	28.57 D	12	10
13	17814	Davutpařa Marmara	Güngören	41.02 K	28.53 D	68	9
14	17813	Göztepe Marmara	Kadıköy	40.58 K	29.05 D	41	9
15	17062	Kadıköy Rıhtım	Kadıköy	40.58 K	29.01 D	5	93
16	17064	İstanbul Bölge	Kartal	40.54 K	29.15 D	18	15
17	19112	Aydos Dağı	Kartal	40.55 K	29.22 D	330	5
18	17638	Kartal İstanbul	Kartal	40.51 K	29.16 D	27	53
19	17065	Samandıra Havaalanı	Sancaktepe	40.59 K	29.21 D	123	18
20	18399	Sancaktepe	Sancaktepe	41.01 K	29.28 D	110	9
21	17061	Sarıyer	Sarıyer	41.14 K	29.05 D	59	74
22	17059	Kumköy-Kilyos	Sarıyer	41.25 K	29.04 D	38	73
23	18980	İTÜ Maslak Yerleşkesi	Sarıyer	41.10 K	29.02 D	75	5
24	19365	Yavuz Sultan Selim Köprüsü	Sarıyer	41.21 K	29.10 D	34	5
25	17619	Bahçeköy	Sarıyer	41.16 K	29.05 D	130	57
26	17438	Silivri Ana Mendirek Feneri	Silivri	41.07 K	28.24 D	9	10
27	18400	Silivri	Silivri	41.11 K	28.15 D	195	8
28	18793	Silivri Orman Sahası	Silivri	41.30 K	28.18 D	208	6
29	17610	Şile	Şile	41.17 K	29.36 D	83	83
30	18401	Şişli	Şişli	41.05 K	28.58 D	60	8
31	17437	Aydınlı Tuzla Liman Feneri	Tuzla	40.51 K	29.16 D	8	10
32	18100	Tuzla	Tuzla	40.49 K	29.29 D	3	10
33	17448	İTÜ Tuzla Güney Mendirek Feneri	Tuzla	40.48 K	29.17 D	13	10
34	18403	Ümraniye	Ümraniye	41.03 K	29.14 D	191	8
35	18404	Üsküdar	Üsküdar	41.03 K	29.04 D	75	8

**Tablo 2.** Biyoklimatik konfor sınıflandırması için referans aralıklar ve değerler (Sungur, 1980; Koçman, 1991; Hobbs, 1980; Güçlü, 2008).  
**Table 2.** Reference ranges and values for bioclimatic comfort classification (Sungur, 1980; Koçman, 1991; Hobbs, 1980; Güçlü, 2008).

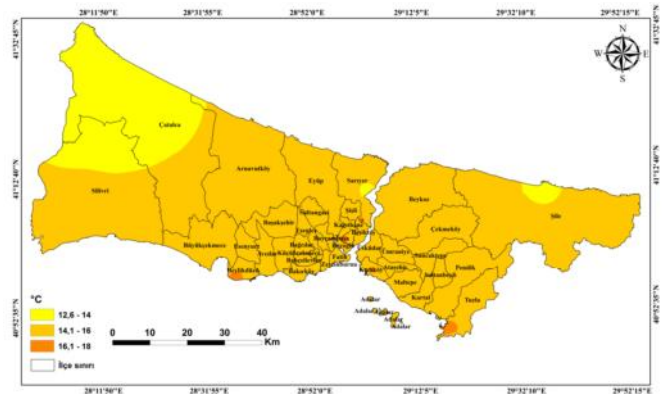
Parametreler	Referans aralıklar	Biyoklimatik konfor değeri
Sıcaklık	< 17	0 Konforsuz
	17-24	1 Konforlu
	24 >	0 Konforsuz
Nisbi nem	< 30	0 Konforsuz
	30-70	1 Konforlu
	70 >	0 Konforsuz
Rüzgar hızı	< 0	0 Konforsuz
	0-5	1 Konforlu
	5 >	0 Konforsuz

olduğu, rüzgâr hızı ve nemin özellikle Çatalca'da yükseldiği tespit edildi. Nem değerlerinde iklimsel farklılıkların da etkisiyle, kuzeye gidildikçe oranların arttığı görüldü. Sıcaklığın düştüğü, kırsal arazi örtüsünün daha hakim olduğu, nüfus ve yerleşmenin azaldığı bu bölgelere karşı, kentsel arazi örtüsünün hakim olduğu, daha kalabalık güney kesimlerde nem oranlarında azalma tespit edildi. Topografik koşulların da desteklediği bu durum rüzgâr hızında da ortaya çıktı. Referans aralıklarına göre yapılan analizler sonucunda, İstanbul'un yıllık ortalama iklim verileri, koşulların konforsuz olduğunu gösterdi (Şekil 9). Yerelde görülen iklim farklılıklarının yıllık ortalamalara yansımadağı, koşullara fiziki unsurlar kadar beşeri unsurların da etki ettiği görüldü. Giderek artan nüfusun yarattığı kentleşme, buna bağlı bitki örtüsü tahribatı ve doğal su kaynaklarının azalması, etkinin boyutuna göre sıcaklık ve nem haritalarına yansıdı. Sıcaklığın çevresine göre arttığı, nem miktarının azaldığı, gökdenler nedeniyle rüzgâr yönünün değiştiği İstanbul'un güney kesimlerindeki değer farklılıkları haritalarda da görüldü. Ancak bu durum yıllık biyoklimatik konfor koşullarını değiştirecek ölçüde olmadığından, lokal konforlu veya konforsuz alanlar tespit edilmedi. Literatürde yer alan farklı biyoklimatik konfor aralıkları ile yapılan analizlerde de farklılık elde edilmedi. Her ne kadar konfor aralığına giren rüzgâr hızı ve sıcaklık değerlerine sahip istasyonlar bulunsun da, üç iklim elemanının analizini içeren bu çalışmada nem oranı çoğunlukla konfor aralığı dışında değerlere sahip oldu. Bu nedenle, İstanbul nem oranlarındaki yüksekliği, yıllık konfor haritasındaki homojenlik üzerinde belirleyici olduğu düşünülmektedir. İstasyon seçiminde farklı yükselti (3-381 m arası) ve farklı arazi örtüleri seçilmiş olsa da, kısa mesafelerde değişen konfor aralıkları belirlenmedi. İstanbul'un kuzey ve güney kıyıları arasında da yıllık konfor açısından benzer bir sonuç elde edildi. Elde edilen bu sonuçta, daha az yükselti ve engebenin ve düşük sıcaklık farklarının da rolü olduğu düşünülmektedir. İstanbul'un yıllık konfor koşulları üzerinde sıcaklık ve nemin daha etkili olduğunu söylemek mümkündür. Ancak farklı alanlarda yapılan çalışmalarda farklı iklim parametreleri ön plana çıkabilmektedir. Lin vd., (2011), Tayvan'da yaptıkları çalışmada insanların termal algılarının hava sıcaklığı ile bağlantılı olduğunu ancak rüzgâr hızı ve nemin algılamada önemli olmadığını belirtmiştir. Chen vd., (2020) ise, hava sıcaklığının ve güneş radyasyonunun Harbin'deki (Çin) termal duyum için daha etkili olduğunu belirtse de, güvenilir sonuçlar için yetersiz olduğunu söylemiştir. Yaptığımız çalışmada kullandığımız sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı verileri konfor hesap-

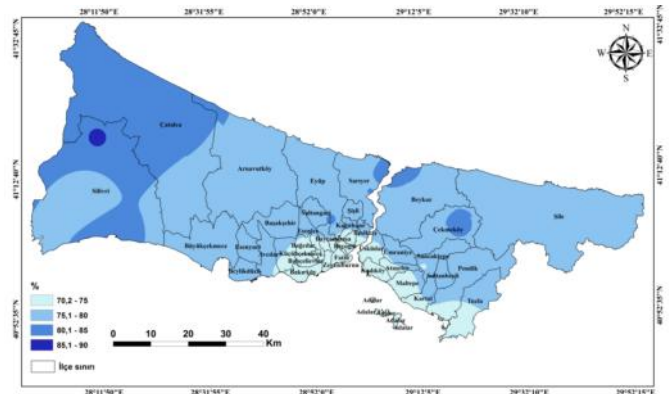
lamalarında kullanılan temel parametreler olsa da, bunlara ses, kirlilik, kent geometrisi, nüfus, kültürel özellikler ve iklimatik geçmiş gibi verilerin eklenerek analiz yapılmasının daha sağlıklı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

#### 4.2. Aylık Biyoklimatik Koşulların Değerlendirilmesi

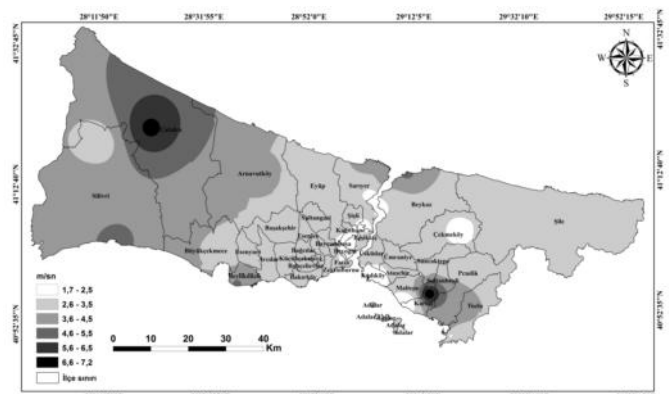
Yıllık ortalamalara göre hazırlanan biyoklimatik konfor haritasından elde edilen homojenlik geniş bir zamansal aralığa karşılık geldiğinden mevcut durumu yansıtmak açısından yetersiz görülmektedir. Bu nedenle, zamansal çözünürlük yükseltılarak aylık analizlere geçilmiş ve yıl içi farklılıklar gösterilmeye çalışılmıştır. Aylık ortalama sıcaklık haritalarında, aralık-mart arasında değerler en düşük, mayıs-eylül arasında ise en yüksek seviyelerdedir. Aylık ortalama sıcaklık 3,3-26 °C aralığında değişirken, ortalamalar kışın 7,1°C, ilkbahar'da 12,8 °C, yazın 23,4 °C ve sonbahar'da 16,7 °C'yi göstermektedir. Sıcaklık ortalama-



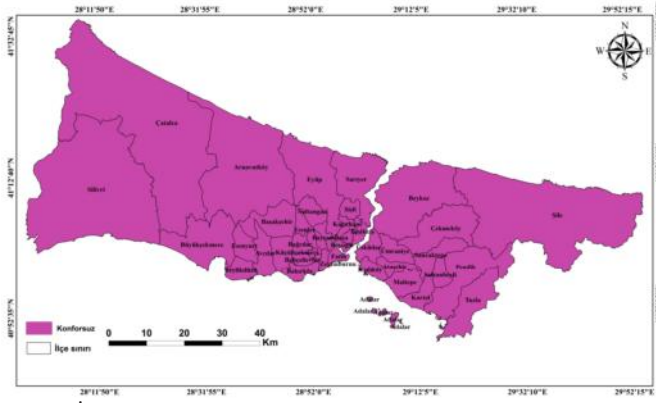
**Şekil 6.** İstanbul yıllık ortalama sıcaklık haritası.  
**Figure 6.** Istanbul annual average temperature map.



**Şekil 7.** İstanbul yıllık ortalama nisbi nem haritası.  
**Figure 7.** Istanbul annual average relative humidity map.



**Şekil 8.** İstanbul yıllık ortalama rüzgâr hızı haritası.  
**Figure 8.** Istanbul annual average wind speed map.

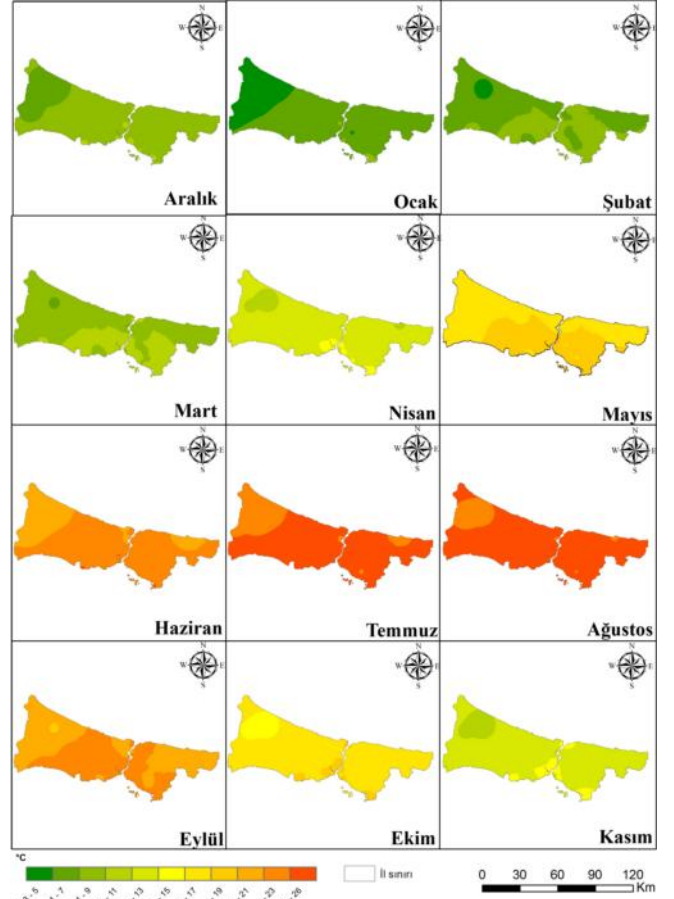


Şekil 9. İstanbul yıllık biyoklimatik konfor haritası.

Figure 9. Istanbul annual bioclimatic comfort map.

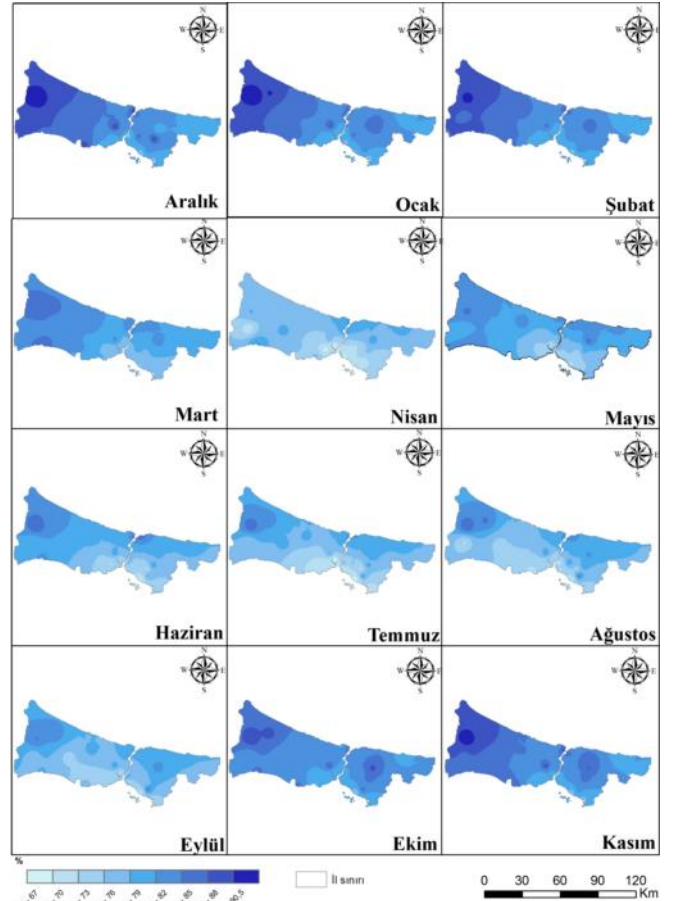
ları mevsimsel olarak; kışın 3,3-9,9 °C, ilkbahar'da 7,1-18,9 °C, yazın 19,6-26 °C ve sonbahar'da 9,9-22,7 °C arasında değişmektedir. Aylık ortalama değerlere göre en soğuk ay 6 °C ile ocak, en sıcak ay ise 24,4 °C ile ağustos ayıdır. Soğuk dönemin en fazla Çatalca, Beykoz ve Şile gibi kuzey ilçelerde yaşandığı -bölge istasyonları kırsal istasyonlardır- sıcak dönemin ise Kadıköy, Zeytinburnu, Bakırköy, Üsküdar, Kartal ve Maltepe ilçelerinde -bölge istasyonları kentsel istasyonlardır- daha belirgin şekilde yaşandığı söylenebilir. Özellikle kentleşmenin yoğun olduğu güneyde sıcaklık değerleri artarken, kuzeye ve Çatalca'ya doğru azalmaktadır. Sıcaklık değişimlerinde enlem, yükselti, kentleşme ve sanayileşmenin etkileri gözlenmektedir. Sıcaklık haritaları aylık ve dönemlik incelendiğinde çevresine göre farklılaşan ilçeler boğaz kenarına ve ilin güneyine karşılık gelmektedir. Sanayileşen bu bölgelerde, dar sokaklar, yüksek bina kat sayıları, azalan yeşil alanlar, daralan toprak ve su yüzeyleri kentsel ısı adası oluşumlarını beraberinde getirmiştir. Aksak vd. (2023), İstanbul'un sanayileşmiş bölgelerinde ısı adalarında artış olduğunu, Ünal vd. (2020) ise ısı adalarında yüksek değerlerin kentsel alanlarda yoğunlaştığını belirtmiştir. Bu bölgeler kışın daha ılıman, ilkbahar ve sonbaharda daha sıcaktır. Ancak yazın yüksek sıcaklık değerleri ilin güneyi ve boğaz kenarı ile sınırlı kalmayıp, kuzeye, batıya ve doğuya doğru geniş bir coğrafyaya yayılmıştır (Şekil 10). Kuzey-Güney yönlü sıcaklık farklarının nedenlerini istasyonların özel konumlarının yanı sıra kuzey sektörlü hava akımlarına topografik koşulların yaratmış olduğu engellerle de açıklamak mümkündür. Topografik koşulların etkisi aynı zamanda Çatalca ve Aydos dağı gibi yükseltilerde düşük sıcaklık değerlerinde görülmektedir.

Çalışma alanının genelinde mekansal olarak yüksek nem değerleri tespit edildi. Nisan, temmuz, ağustos ve eylül aylarında değerler en düşük, aralık, ocak ve şubat aylarında en yüksek seviyelerdedir. Konfor analizlerinde kullanılan bir başka iklim verisi olan nisbi nemin, aylık ortalamalarına göre oluşturulan haritalarda değerler % 64-90,5 aralığında değişirken, ortalamalar kışın % 80,7, ilkbaharda % 75,4, yazın % 74,1 ve sonbaharda % 78,3'ü göstermektedir. Nem ortalamaları mevsimsel olarak; kışın % 74,2-90,5, ilkbaharda % 69,7-84,2, yazın % 69,7-84,7 ve sonbaharda % 71-89,8 arasında değişmektedir. Aylık ortalama değerlere göre en nemli ay % 80,8 ile aralık, nem değerlerinin en düşük olduğu ay ise % 72,9 ile nisan ayıdır. İstanbul'un kuzeyi ve Avrupa yakası nem değerleri açısından diğer kesimlerin önüne geçmektedir. Özellikle Çatalca, Silivri, Büyükçekmece, Şile ve Beykoz'da nem değerleri daha fazladır. Haritalarda ayırtıcı bir bölge olarak göze çarpan, Çatalca ve Çatalca Radar



Şekil 10. İstanbul aylık sıcaklık haritaları

Figure 10. Istanbul monthly temperature maps



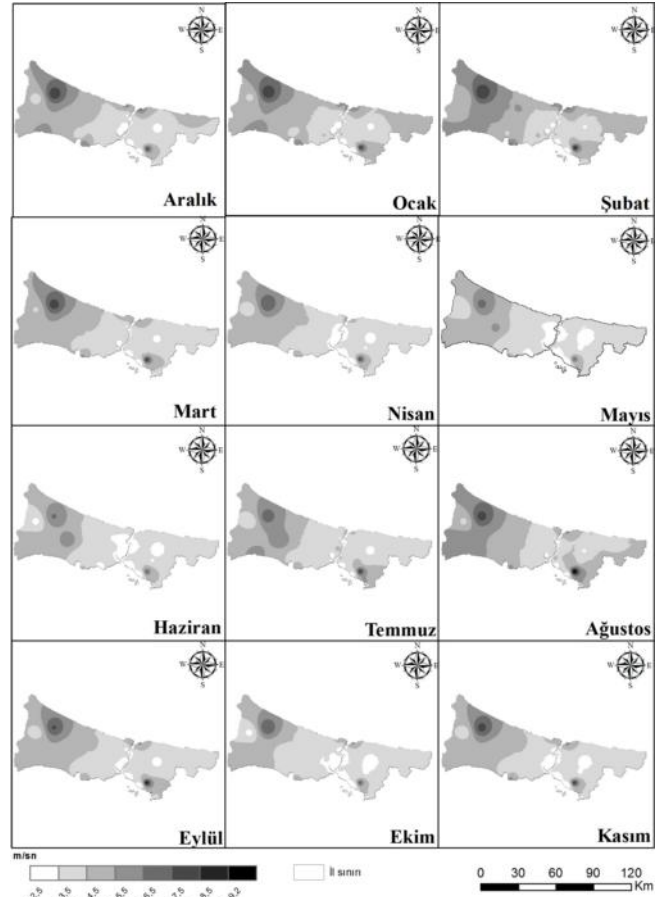
Şekil 11. İstanbul aylık nisbi nem haritaları

Figure 11. Istanbul monthly relative humidity maps

Sahası istasyon verileri incelendiğinde, nem oranlarının % 78,6-83,1 aralığında değiştiği görüldü. Bu durum bölgenin, yükseltiye ek olarak kuzey ve kuzeydoğu yönlü hava akımlarına açık olmasını akla getirmektedir. Buna karşılık haritalarda çevresine göre düşük nem değerleri ile farklılaşan, ilin güneyine karşılık gelen Bakırköy, Zeytinburnu, Fatih, Kadıköy, Maltepe, Pendik ve Kartal gibi ilçeler yoğun şehirleşme ve sanayileşme alanları ile dikkat çekmektedir (Şekil 11). Azalan yeşil alanlar, alsansal olarak daralan yüzey suları, yoğun sera gazı emisyonları ve daha az rüzgâr sirkülasyonu nem değerlerini bu ilçelerde çevresine göre azaltmaktadır.

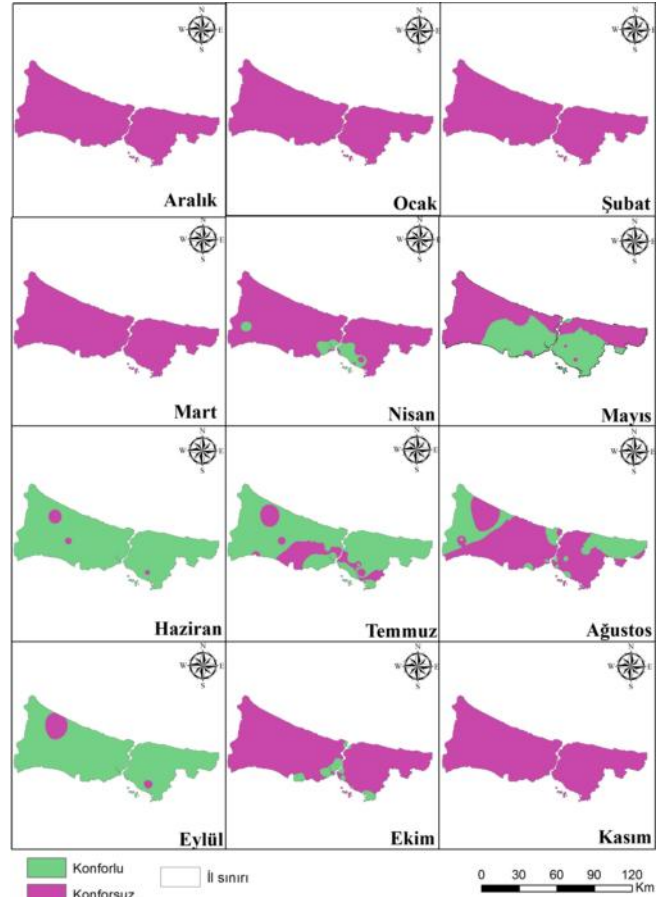
İstanbul'un aylık ortalama rüzgâr hızı değerleri 1,5-9,2 m/sn aralığında değişirken, ortalamalar kışın 3,6 m/sn, ilkbaharda 3,1 m/sn, yazın 3,4 m/sn ve sonbaharda 3,2 m/sn'yi göstermektedir. Rüzgâr hızı ortalamaları mevsimsel olarak; kışın 1,6-7,7 m/sn, ilkbaharda 1,5-7,4 m/sn, yazın 1,6-9,2 m/sn ve sonbaharda 1,5-7,3 m/sn arasında değişmektedir. Aylık ortalama değerlere göre rüzgâr hızının en yüksek olduğu aylar 3,7 m/sn ile ağustos ve şubat, en düşük olduğu ay ise 2,9 m/sn ile mayıs ayıdır. Yükseltinin fazla olduğu alanlar lokal olarak rüzgâr hızının da en yüksek olduğu alanlara karşılık gelmektedir. Çatalca ve Aydos dağında yıl boyunca 5,6-9,2 m/sn aralığında rüzgâr hızı değerleri kaydedilmiştir ki oluşturulan aylık rüzgâr hızı haritalarına da bu yüksek değerler yansımıştır (Şekil 12). Kentleşme, yerşekilleri, bitki örtüsü ve su kaynakları gibi yerel koşullar nedeniyle rüzgâr hızı farklılaşmıştır. İstanbul Boğazı gibi rüzgâr hızı değerlerinin yüksek çıkması beklenen bölgelerde ve güneyde hızın düşmesi yine yoğun şehirleşme ve sanayileşmeyle bağlantılıdır.

Metropol bir kent olan İstanbul'da, aylık ortalama iklim verilerine göre yapılan biyoklimatik konfor analizlerinde, beş ayın tamamen konforsuz koşullar sunduğu görüldü. Bu beş ayda aylık ortalama sıcaklıkların 12 °C'nin altında olması, nem değerlerinin çoğunlukla % 80'nin üzerinde seyretmesi bu sonucu ortaya çıkardı. Rüzgâr hızının aylık ortalamaları yıl boyunca konfor aralığında olduğu için konforsuzluk konusunda ayırt edici bir özellik sunmadı. Mekansal farklılaşmanın başladığı nisan ayında, güneyde -Bakırköy, Zeytinburnu, Fatih, Kadıköy, Maltepe ve Kartal- oluşan konforlu alanlar, mayısta artarak -Başakşehir, Sultangazi, Eyüpsultan, Şişli, Üsküdar, Ümraniye, Çekmeköy, Şile- haziranda ilin çoğunluğuna hakim oldu. Temmuz ve eylül aylarında da yine konforlu alanlar geniş alan kapladı. Konforlu alanların en fazla olduğu haziran ve eylül aylarında sadece Çatalca ve Aydos dağında yükseltiye bağlı yerel iklim farklılıkları nedeniyle konforsuz koşullar oluşturan dar alanlı bölgeler ortaya çıktı. Ancak, ağustos ayında yüksek sıcaklıklar konforsuz alanları arttırdı. Ağustosta Silivri, Çatalca, Sarıyer, Beykoz ve Şile gibi kuzeyde yer alan kırsal ilçeler büyük oranda konforlu koşullar yarattı. Konforsuz koşullar, ekim ayında sıcaklık değerlerindeki azalmayla ilin çoğunluğunda hakim oldu. Bu ayda yoğun kentleşmiş boğazın güney kesimlerinde konforlu alanlar oluştu. Bütün ayları kapsamamakla birlikte serin bahar dönemlerinde boğazın güney kesimleri konforlu koşullar sağlarken, aynı bölgeler sıcak ağustos ayında konforsuz koşullar yaratabilmektedir (Şekil 13). Kentlerin soğuk dönemlerde çevrelerine göre daha ılıman, sıcak dönemlerde ise daha sıcak ortam yaratma özelliği başka bir ifadeyle Kent Isı Adası'na dönüşmesi konfor koşullarını şekillendirmektedir. Nem oranlarındaki artış, insanların yazın daha sıcak ve kışın daha soğuk ve geçiş mevsimlerinde



Şekil 12. İstanbul aylık rüzgâr hızı haritaları.

Figure 12. Istanbul monthly wind speed maps.



Şekil 13. İstanbul aylık biyoklimatik konfor haritaları.

Figure 13. Istanbul monthly bioclimatic comfort maps.

daha serin hissetmelerine neden olmaktadır. Yüksek nem ve sıcaklık özellikle yazın Kent Isı Adası etkisini arttırmaktadır. Sıcaklık, nem, rüzgâr ve konfor haritaları incelendiğinde, ilin güneyinde ısı adası etkilerini görmek mümkündür. Düşük albedo, asfalt ve beton yüzeyler; gölge ve buharlaşmayı sınırlayan azaltılmış bitki örtüsü ve geçirgen yüzeyler; genel rüzgar sirkülasyonunu değiştiren ve kentsel kanyonlar yaratan yüksek binalar, dar sokaklar; araba ve binalarda kullanılan fosil yakıtlar (Wang vd., 2016), İstanbul'un sanayileşmiş güney bölgelerinde Kent Isı Adası oluşumlarının nedenleri arasındadır.

Mevsimlik olarak bakıldığında, İstanbul kış mevsimini konforsuz geçirmektedir. İlkbahar aylarının çoğunluğu konforsuz olmakla birlikte, nisan ve mayıs aylarında güney ilçelerde konforlu ortamlar oluşmaktadır. Yaz ayları diğer mevsimlere göre daha konforlu geçmektedir. Sonbaharda eylül hariç diğer aylarda konforsuzluk hakimdir. Mevsimlik ve aylık durum değerlendirildiğinde, haziran ve eylül aylarının İstanbul için en konforlu dönemler olduğu söylenebilir. İstanbul için mevsim geçişlerine karşılık gelen haziran ve eylül aylarında sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı birlikte değerlendirildiğinde nem hariç konfor eşik değerleri hakim olmaktadır. Nemde ise eylül'de % 74,7 ve haziran'da % 75,1 ortalamaları fazla uç değerlere karşılık gelmediğinden konfor durumunu olumsuz etkilememiştir. Sonuçlar gerek İstanbul'da gerekse yakın coğrafyada yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Matzarakis ve Karagülle (2007), İstanbul'un Ekim 2000-Aralık 2006 dönemine ait konfor analizlerinde Atatürk Havalimanı verilerini kullanmış ve ekim ayından, nisan başlarına kadar soğuk stresinin, haziran'dan, ekim ayı sonuna kadar sıcak stresinin yaşandığını belirtmiştir. Çalışmamızla bu çalışmanın sonuçları kış aylarında tutarlılık göstermektedir. Ancak çalışmamızda yaz aylarının tamamında konforsuzluk yerine mayısdan eylüle kadar büyük oranda konforlu bölgeler tespit edilmiştir. Büyük oranda konforlu olan haziran ve eylül, Yunanistan'da yapılan çalışmada da konforlu çıkmıştır (Nastos & Matzarakis, 2019). Yeşil vd., (2021) ise Ordu'da konforlu ayların mayıs ve eylül, konforlu mevsimin ise sonbahar olduğunu belirtmiştir. Tağil ve Ersayın (2015), Balıkesir ilinde konforlu dönemin mayısta başlayarak eylül ayına kadar devam ettiğini ve yaz mevsiminin diğer mevsimlerden daha konforlu geçtiğini belirtmişlerdir. Soğuk bir il olan Sivas'ta ise yaz mevsiminin konforlu ve diğer mevsimlerin konforsuz geçtiği bildirilmiştir (Karakuş & Demiroğlu, 2021). Gulyas ve Matzarakis (2009), Macaristan'da yaptıkları konfor çalışmasında soğuk dönemin bütün ülkede konforsuzluk yarattığını belirtmişlerdir. Belirtilen bu çalışmalarda kış aylarının çoğunlukla konforsuz geçtiği, bahar aylarında konforlu yada konforsuz alanlar oluştuğu rapor edilmiştir. Bu yönüyle konforlu ve konforsuz mevsimler İstanbul ile benzerlik göstermekle birlikte, aylık bazda farklılıklar bulunmaktadır. Konforlu ayların Türkiye'nin farklı illerinde ve diğer ülkelerde farklılık göstermesi ya da bu ayların kayması çalışılan alanın fiziki ve beşeri koşulları kadar küresel iklim değişikliğiyle de ilgili olabilmektedir.

Küresel iklim değişikliğinin Türkiye'de özellikle sıcaklık ve kuraklık olarak etkisini gösterdiği düşünülürse, İstanbul için mevcut veriler ve haritalar ışığında ilerleyen yıllar konfor durumunun zamansal ve mekansal olarak değişime uğrayacağını göstermektedir. Sıcaklık artışıyla yaşanacak olan bu değişim, kış aylarında hakim olan baskın konforsuzluğa ek olarak konforlu bölgelerin belirmesi, yaz aylarında ise mevcut konforlu

bölgelerin konforsuz alanlara dönüşmesi ve bu alanların genişlemesi şeklinde gelişme gösterecektir. İstanbul özelinde yapılan biyoklimatik konfor analizleri, küresel iklim değişikliği etkilerinin en fazla bahar aylarında belirgin olacağını göstermektedir. Nispeten diğer aylara göre mekansal ve zamansal homojenliğin daha az görüldüğü ilkbahar ve sonbahar ayları ve ek olarak haziran ayı gelecek dönemlerde daha önemli konfor değişimlerine sahne olacaktır. Günümüzde yaşamakta olduğumuz daha sıcak yaz, daha ılıman kış ve sınırları keskin olmayan bahar ayları - yaz etkisi baskın- ortaya çıkacak senaryolarla ilgili fikir vermektedir. Buna göre, mart ayında belirmeye başlayan konforlu alanların nisan, mayıs, ekim aylarında alanını genişleteceği ve kasım ayında da konforlu bölgelere rastlanılabileceği söylenebilir. Işınkaralar (2023), Kocaeli ilinde mevcut biyoklimatik konfor alanları ve 2100'e kadar olası durumları incelediği çalışmasında, günümüzde konforlu alanların ilin % 1,8'ni kapladığını, geri kalanının konforsuz alanlardan oluştuğunu belirtmiştir. 2100'de ise soğuk yada serin özellik gösteren konforsuz alanların ısınarak konforlu bölgelere dönüşeceğini ve bu oranın % 23,5'e çıkacağını SSP 245 ve SSP 585 senaryolarına göre analiz etmiştir. Analiz sonuçları komşusu olması sebebiyle İstanbul için de geçerli sonuçlar sunmaktadır. Çapraz (2024), çalışmasında bu sonuçları destekleyen veriler elde etmiştir. İstanbul'un ortalama hava sıcaklığında son 51 yılda anlamlı bir artış ve yıllık ısınma eğiliminin 0,06 °C olduğunu belirtmiştir. Mevsimsel ortalama hava sıcaklıklarında ise en güçlü artış eğilimini yılda 0,08 °C'lik artışla yaz mevsiminde gözlemlemiştir.

Flüvyal faaliyetlerin etkisiyle meydana gelen plato, tepe ve vadelerin genel topografyaya şekil verdiği İstanbul'da, topoğrafyadan kaynaklı mekansal farklılıkların biyoklimatik konfor üzerinde yıllık ve aylık süreçte etkisi tam olarak tespit edilememiştir. Topografik etkiye bağlı olarak, sadece haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında çevresine göre yüksekte kalan dağlık alanlarda konforsuz noktalar tespit edildi. Ancak dört ayda gözlenen bu farklılığı diğer aylarda konforlu yada konforsuz değişim olarak gözlemlemek mümkün değildir. Belirtilen fiziki özelliklere ek olarak, şehirleşme gibi antropojenik özelliklerin etkisiyle yer yer değerlerde artma/azalma eğilimleri görüldü. Bu durum, daha önceki bölümlerde belirtilen güneydeki ilçelerde, sıcaklıkta artış, nisbi nemde azalma ve yine rüzgâr hızında azalma şeklinde sonuç vermiştir. Arazi örtüsü olarak kent alanlarına karşılık gelen bu bölgede, çevresine göre farklı konfor özellikleri görüldü. Nisan, mayıs ve ekim ayı konfor haritalarında, çalışma alanının büyük bir kısmında konforsuz koşullar hakimken, güneydeki ilçelerde konforlu koşullar oluşmuştur. Kentleşme ile konfor arasında genelleme yapacak kadar olmasa da bir ilişkinin olduğu ancak bunun bütün arazi örtüsü sınıflarında gözlenmediği sonucuna varılabilir. Kentleşme, sanayileşme ve yoğun nüfusa bağlı yaşam alanları Kent Isı Adası faktörünü güçlendirecek ortamlar yaratmaktadır ve bu durum konfor üzerinde yerel düzeyde etki sağlamaktadır. Liu vd. (2016), farklı dış mekan mikro iklim koşulları altında farklı termal konfor gereksinimlerinin oluştuğunu belirtmiştir. Bu durum Kentsel Isı Adası yada Kentsel Soğuk Ada oluşumlarının biyoklimatik konfor çalışmalarından bağımsız olamayacağını göstermektedir. İki oluşum -KIA ve biyoklimatik konfor- yapılan analizlerde de birbirini desteklemektedir.



## 4.3. Trend Analizleri

İstanbul'da uzun dönem gözlem yapan 8 istasyon (Bahçeköy, Florya, Kadıköy Rıhtım, Kartal, Sarıyer, Kumköy/Kilyos, Şile, Atatürk Havalimanı) verilerinde iklimsel eğilimlere bakıldı. Sıcaklık ve nemde istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimleri bulundu. Biyoklimatik konfor açısından esas önemli olan sıcaklık ve nemlilik olduğu için özellikle bu iki veri seti incelendi. Sıcaklıklarda genel olarak bir artış eğilimi hâkim olup, bu eğilimin alansal (istasyonlar) ve zamansal (aylar) en yaygın olduğu değişken ortalama sıcaklıklar olmuştur. Aralık ve ocak dışında hemen hemen tüm istasyon ve aylarda kuvvetli artış eğilimleri tespit edildi (Tablo 3). Küresel ısınmanın genel trendi ve KIA etkisi artış eğilimlerinin devam edeceğini göstermekte ve bu eğilimler geçiş mevsimlerindeki sıcaklık artışları ile son 30 yıllık süreçte biyoklimatik konforun artmasına da katkı sağlamaktadır. Nemlilik analizlerinin sonuçlarına bakıldığında ise, Kartal istasyonu dışında tüm yıla yayılan artışlar söz konusu değildir. Dolayısıyla, nemlilik de önemli artışlar görülmezken, sıcaklıkta anlamlı artışların varlığı gözlenebiliyor. Sıcaklık trendlerindeki anlamlı artışın ısı stresi yaratarak konforsuzluğa katkı sağladığı ve küresel ısınmanın bu durumu desteklediği söylenebilir. Gelecekteki iklim senaryolarına göre kentsel alanlarda yapılan çalışmalarda sıcak stresli günlerde artış, soğuk stresli günlerde ise azalma olacağı ve bu durumun biyoklimatik konforu olumsuz etkileyeceği öngörülmüştür (Matzarakis & Endler, 2010; Cheung & Hart, 2014; Şensoy, 2020; Işınkaralar, 2023). Kambezidis vd. (2021), gelecekte meydana gelebilecek kalıcı ve daha yoğun sıcak hava dalgalarıyla konforsuzluğun daha da artacağını belirtmiştir. İklim değişikliğinin mevcut ve gelecek biyoklimatik konfor koşullarını nasıl etkileyeceğini bilmek hem insan sağlığı hem de sektörel planlama açısından önem arz etmektedir. Turizm faaliyetleri için uygun dönemlerin belirlenmesinde de kullanılan biyoklimatik konfor çalışmaları bu yönüyle yararlı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Çalışkan vd. (2012), Bursa'da yapılan konfor çalışmasında mayıstan eylüle kadar turizm etkinlikleri için uygun koşulların sağlandığını, Abbasnia ve Toros (2019), İstanbul'un nisan ekime kadar 7 ay boyunca turizm faaliyetleri için konforlu olduğunu belirtmiştir. Turizm faaliyetlerinin yoğun olduğu dönemlerde iklim parametrelerinde meydana gelen değişim, konforlu aylarda kaymaya neden olabilmektedir. Nastos ve Matzarakis (2019), Yunanistan'da yakın gelecekte konforlu koşulların mayıs ve ekim aylarında ve uzak gelecekte nisan ve mayıs aylarında yaşanacağını öngörmüştür. Turizm ve diğer etkinlik alanlarındaki planlamada önemi ortaya çıkan biyoklimatik konfor ve küresel iklim değişikliği çalışmalarının sağlık ve enerji alanlarında da kullanımı söz konusu olmaktadır. İnsanların zamanlarının çoğunu klimalı binalarda veya arabalarda geçirmeleri ne kadar enerjinin harcandığı konusunda potansiyel bir bilgi vermektedir. Klima kaynaklı atık ısının, sıcaklık oranlarındaki artışı desteklemesi KIA oluşumunu yaratan etkenlerden biri olmaktadır (Shooshtarian vd., 2020). Vujovic vd. (2021), yansıtıcı ve geçirgen kaldırımlardan, Razzaghmanesh vd. (2016), yeşil duvarlardan, Gomez vd. (2018) ise, çeşme ve havuz tasarımlarıyla ilkbahar ve yaz esintilerinden yararlanarak çevresel alanın konforunda bir iyileşmeye yol açıldığını, KIA etkisinin azaltıldığını ve bunun kentsel ekolojiyi desteklediğini belirtmiştir. Trend analizlerindeki sıcaklık artışları her ne kadar stres ve konforsuzluk yaratsa da termal deneyimlerin (termal geçmiş) ve farklı mevsimlerdeki termal tercihlerinde konfor algısı üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

**Tablo 3.** Uzun yıllar gözlem yapan istasyon verilerinde trend analizi sonuçları.

**Table 3.** Trend analysis results in station data that has been observing for many years.

Ortalama Sıcaklık	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
Bahçeköy (26)	0,09	0,17	0,11	0,05	0,15	0,20	0,46	0,42	0,12	0,08	0,06	-0,12
Florya (40)	0,09	0,37	0,40	0,22	0,47	0,53	0,55	0,52	0,49	0,21	0,32	0,08
Kadıköy Rıhtım (40)	0,22	0,40	0,41	0,23	0,45	0,48	0,57	0,63	0,54	0,28	0,37	0,15
Kartal (27)	0,15	0,19	0,18	0,09	0,22	0,28	0,54	0,36	0,11	0,01	0,10	-0,14
Sarıyer (40)	0,11	0,36	0,34	0,17	0,44	0,55	0,57	0,56	0,45	0,11	0,30	0,04
Sarıyer-Kumköy (40)	0,13	0,38	0,33	0,17	0,45	0,50	0,49	0,58	0,45	0,13	0,30	0,03
Şile (40)	0,14	0,37	0,33	0,18	0,46	0,55	0,59	0,59	0,45	0,16	0,30	0,02
Atatürk Airport (40)	0,19	0,44	0,37	0,25	0,43	0,48	0,55	0,56	0,47	0,28	0,36	0,11
<b>Ortalama Nem</b>												
Bahçeköy (27)	-0,12	-0,22	-0,34	-0,21	-0,20	-0,04	-0,19	-0,02	-0,17	-0,01	0,07	-0,07
Florya (40)	0,36	0,45	0,18	0,09	0,09	0,15	0,05	0,04	0,08	0,28	0,36	0,28
Kadıköy Rıhtım (40)	-0,10	0,14	-0,07	-0,15	-0,06	0,11	-0,21	-0,16	-0,13	-0,06	0,02	-0,17
Kartal (26)	0,22	0,13	0,10	0,33	0,30	0,35	0,31	0,48	0,39	0,42	0,43	0,25
Sarıyer (40)	0,20	0,22	0,04	-0,03	0,07	0,26	0,00	0,08	0,06	0,22	0,30	0,15
Sarıyer-Kumköy (40)	0,06	0,12	-0,02	0,02	0,03	0,17	-0,11	-0,06	-0,06	0,16	0,17	0,11
Şile (40)	0,08	0,12	-0,06	0,01	-0,02	0,17	-0,09	-0,01	-0,11	0,12	0,03	0,00
	0.05 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı (artış eğilimi)											
	0.01 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı (artış eğilimi)											

Nikolopoulou ve Steemers (2003), psikolojik adaptasyonun insanların termal duyumunu büyük ölçüde etkilediğini belirtmiştir. Mevsimsel ve bölgesel farklılıklar ve termal deneyim açık hava mikro iklim koşulları altında farklı termal konfor gereksinimlerini yansıtmaktadır. Bunun nedeni, iklime uyumun, termal ve kültürel geçmişin ve vücuttaki farklılıkların termal algıları etkileyebilmesidir (Shooshtarian vd., 2020). Kenawy ve Elkadi (2013), Melbourne kentsel ikliminde dış mekan termal ölçütlerini belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmalarında farklı mevsimlerde ve kentsel yer türlerinde farklı referans noktalarında değişimler gözlemlenildi. Ve farklı iklim bölgelerinin yanı sıra etnik farklılığın -aborjinler gibi- konfor gereksinimleri üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bu yönüyle bakıldığında İstanbul gibi çok kültürlü bir metropolde sıcaklık trendlerindeki artış yada KIA oluşumları bir Türk için konforsuzluk yaratırken, termal geçmişi yüksek sıcaklıklara uyum sağlamış Afrikalı için ideal koşul olarak algılanabilmektedir. Nem trendlerinde belirgin artış elde edilmese de nem oranlarının yüksek olması termal algıyı etkileyebilmektedir. Günümüzde İstanbul'un yaz döneminde yaşanan bu durumun, küresel iklim değişikliğinin etkisiyle gelecekte geçiş mevsimlerinde de yaşanması olasıdır.

## 5. Sonuç

Dünya nüfusunun % 50 den fazlasının yaşadığı kentler, ekonomik refah sunma potansiyelleri yüksek olan yoğun nüfuslu alanlardır (UN, 2024). Yoğun nüfusun etkisiyle, antropojenik etkiler kendini kentlerde daha fazla göstermektedir. Bitki örtüsünün tahribiyle daha az yeşil alanların bulunması, toprak yüzeylerinin betonarme yapılarla kapatılması, daha fazla karbon salımı, kentlerde yerel iklim değişiklikleri yaratmış, kent ısı adası fenomeninin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kentleri çevrelerine göre farklı kılan iklimsel koşulların, yoğun nüfuslu ve sanayileşmiş alanlarda belirginleştiği söylenebilir. Ticaret, turizm, sanayi ve kültürel alanların etkisiyle ilin güneyindeki ilçelerin nüfusları hızla artmış, bu durum iklim verilerinde ve biyoklimatik koşullarda farklılaşma olarak karşımıza çıkmıştır. Çalışma kapsamında aylık ve yıllık ortalamalara göre yapılan, sıcaklık, nem, rüzgâr hızı ve bu verilerle oluşturulan biyoklimatik konfor haritalarından elde edilen sonuçlar, nüfus, kentleşme ve sanayileşme etkisiyle işaret etmektedir. Yüksek sıcaklık, düşük nem ve rüzgâr hızı ve çevresine göre farklılaşan konfor kent iklimini yaratmış-

tır. Sıcaklıkta artış eğilimini gösteren trend analizlerinin desteklediği bu sonuçlar küresel ısınmanın kentler üzerindeki somut etkileri niteliğindedir. Hem küresel ısınmanın genel trendi hem de kent ısı adası oluşumları göz önünde bulundurulursa, sıcaklık artış eğiliminin devam edeceği dolayısıyla biyoklimatik konfor üzerinde bir baskı oluşturabileceği ve ilerki yıllarda da devam edeceği düşünülebilir. Bu durumun kuşkusuz insan faaliyetleri ile doğal veya beşeri ortam üzerinde etkileri bulunmaktadır. Kullanılan yapı malzemesi gereği kaldırım ve asfalt sıcaklıklarının 59 °C'ye çıkması, çöplerdeki virüs ve bakterilerin artması, asfalt üzerinde oluşan buharlaşma nedeniyle ortaya çıkan petrol türevlerinin havaya karışması sadece insanlara değil diğer canlılara da zarar vermektedir. Azalan yeşil alanlar, toprak örtüsü ve su kaynakları her geçen gün kentlerdeki sıcaklığın artmasına neden olmakta, ekosistemi tehdit etmektedir. Küresel ısınma her ne kadar kentlerde sıcaklık artışı olarak kendini göstermiş olsada iklim parametrelerindeki anomalilerin etkisiyle oluşan, sel, taşkın, heyelan, aşırı yağış, sıcak veya soğuk hava dalgaları, kuraklık gibi afet niteliği taşıyan doğa olayları da konfor koşullarını etkileyebilmektedir. Günümüzde mevsimlik kaymalarla da kendini gösteren bu oluşumlar konforu değiştirmekte ve insan faaliyetlerinin yürütülmesini zorlaştırmaktadır. Kış turizm faaliyetleri için yeterli kar örtüsünün bulunmaması, yaz turizmi başta olmak üzere diğer faaliyetler için sıcaklığın mevsim normallerinin üstüne çıkması sektörel sorunlar yaratmaktadır. Sadece turizm için değil bütün insan faaliyetleri için konfor koşullarının bozulması planlama, işleyiş ve sağlık açısından bir takım sorunlar oluşturmaktadır. Psikolojik, fizyolojik konforun sağlanması büyük oranda çevresel şartlarla ilişkili olduğundan, yüksek sıcaklık ve düşük hava sirkülasyonuna kirliliğin farklı türleri de eklenince ölümler ve hastalıklar artmakta, ekolojik döngüler bozulmakta ve açık veya kapalı ortam kültürel aktiviteleri aksamaktadır.

Akdeniz iklim bölgesinde yer alan Türkiye sahip olduğu özellikler nedeniyle kısa mesafelerde yükselti ve topoğrafyaya bağlı iklimsel farklılıklar göstermektedir. İstanbul'da ise topografik farklılıklar pek fazla değişirse de etkili olan iklim ve hava kütleleri karakteristiği ve kentleşme ve nüfus açısından bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Belirtilen fiziki ve beşeri şartlar göz önünde bulundurularak çalışmaların yapılması önem arz etmektedir. Bu nedenle, mevcut meteorolojik gözlem istasyonları üzerinden analizlerin yapılması, istasyonların homojen dağılması, bundan sonra yapılacak çalışmalarda, spesifik olarak mobil gözlem yöntemlerinin çalışmalara dahil edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Zamansal olarak analiz detaylarına bakıldığında ise, geniş zaman dilimlerinden ziyade, aylık hatta günlük ve saatlik analizlerde mekansal detayların daha net ortaya çıkabileceği düşünülmektedir ki çalışmada oluşturulan yıllık ve aylık haritalar karşılaştırıldığında parametrelere göre elde edilen aylık veriler daha doğru, açık ve yorumlanabilir bilgiler sunmaktadır. İstanbul yüzölçümünün genişliği göz önünde bulundurulduğunda günlük ve saatlik veri çalışmalarının bütünü sağlayacak şekilde yapılması, kendi içinde çeşitli zorlukları da beraberinde getireceği için, ilçe bazında çalışmalarda bu sorun giderilebilir. İnsanların dış mekan biyoklimatik konfor algılarına yönelik çalışmalarda hem nicel hem de nitel yaklaşımların kullanılması, fiziksel, fizyolojik, psikolojik adaptasyonun göz önünde bulundurulması çok yönlü çalışmaların oluşturulmasını sağlayacaktır. Daha yaşanabilir yerleşim, daha sağlıklı bir nüfus ve daha az enerji tüketimi gibi ortak faydaların elde edilebil-

mesi için konfor koşullarına uygun kentsel planlamaların yapılması önem arz etmektedir. Ayrıca literatürde eksik coğrafi bölgelerin -İstanbul gibi- ve farklı etnik toplulukların çalışmalara eklenmesi alana katkı sağlayacaktır.

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

**Yazar Katkısı/Author Contribution:** Bu çalışma A.O.'nun doktora tezi kapsamında hazırlanmıştır ve bu süreçte F.S. danışman olarak çalışmanın tüm sürecinde katkı sağlamıştır. *This study has been prepared within the scope of A.O.'s doctoral thesis, and throughout this process, F.S. has contributed as the advisor of the study.*

**Etik Kurulu Onayı/Ethics Committee Approval:** Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

#### Kaynakça

- Abbasnia, M. & Toros, H. (2019, 23-26 October). *A monthly assessment of human bioclimatic comfort conditions in Istanbul* [Sempozyum sunumu]. 9th International Symposium on Atmospheric Sciences (ATMOS2019), Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye.
- Aksak, P. Öztürk, Ş.K. & Ünsal, Ö. (2023). Kentsel ısı adasının iklim parametreleri ve uzaktan algılama üzerinden incelenmesi: İstanbul kenti örneği. *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(1),151-171. <https://doi.org/10.51800/ecd.1266060>
- Altunkasa, M. F. (1987). *Çukurova bölgesinde biyoklimatik veriler kullanılarak açık ve yeşil alan sistemlerinin belirlenmesi ilkeleri üzerine bir araştırma* (Yayın No.233) [Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- ASHRAE Standard 55. (2004). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Ventilating and Air-conditioning Engineers.
- Auliciems A. & Szokolay S. (2007). *Thermal comfort. Passive and low energy architectural* (2nd ed.). PLEA International Note 3. [https://dev.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/plea\\_2007\\_thermal\\_comfort.pdf](https://dev.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/plea_2007_thermal_comfort.pdf)
- Balcioğlu, Y.E. & Gönençgil, B. (2022, 12-14 Ekim). *Bir geçiş iklim bölgesi olarak İstanbul'un kuzeyi ve güneyinde sıcaklık ve yağışın eğilimleri* [Sempozyum sunumu]. TÜCAUM 2022 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, Ankara, Türkiye.
- Chen, X. Gao, L. Xue, P. Du, J. & Liu, J. (2020). Investigation of outdoor thermal sensation and comfort evaluation methods in severe cold area. *Science of the Total Environment*, 749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141520>
- Cheung, C. S. C. & Hart, M.A. (2014). Climate change and thermal comfort in Hong Kong. *Int J Biometeorol*, 58, 137–148. Doi: 10.1007/s00484-012-0608-9
- Çağlak, S. (2021). *İklim değişikliğinin biyoklimatik konfor şartları üzerine etkileri ve olası sonuçları* (Yayın No. 690729) [Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi ]. Ulusal Tez Merkezi.

- Çalışkan, O. Çiçek, İ. & Matzarakis, A. (2012). The climate and bioclimate of Bursa (Turkey) from the perspective of tourism. *Theoretical and Applied Climatology*, 107, 417-425. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-011-0489-6>
- Çapraz, Ö. (2024). Trend analysis of air temperature in a megalacity between two continents: the synoptic weather station in İstanbul Atatürk Airport. *Environmental Systems Research*, 13(28). <https://doi.org/10.1186/s40068-024-00363-6>
- Çelik, M. R. (2023). Kentsel ısı adası etkisi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 83, 38-44. [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/015\\_6.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/015_6.pdf)
- Çetin, M. Topay, M. Kaya, L. G. & Yılmaz, B. (2010). Biyoiklimsel konforun peysaj planlama sürecindeki etkinliği: Kültürler örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1, 83-95.
- Çetin, M. (2016). Peyzaj planlamada biyoklimatik konfor alanlarının belirlenmesi: Cide kıyı şeridi örneği. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(9), 800-804. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v4i9.800-804.872>
- Çınar, İ. (1999). *Fiziksel Planlamada Biyoklimatik Veriler Kullanarak Biyokonforun Oluşturulması Üzerine Fethiye Merkezi Yerleşimi Üzerinde Araştırmalar* (Yayın No. 85530) [Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Erol, O. (1993). *Genel klimatoloji*. Gazi Büro Yayıncılık.
- Gómez, F. Valcuende, M. Matzarakis, A. & Cárcel, J. (2018). Design of natural elements in open spaces of cities with a Mediterranean climate, conditions for comfort and urban ecology. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 26643-26652. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2736-1>
- Gulyas, A. & Matzarakis, A. (2009). Seasonal and spatial distribution of physiologically equivalent temperature (PET) index in Hungary. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 113 (3): 221-231.
- Güçlü, Y. (2008). Alanya-Samandağ Kıyı Kuşağında Konforlu Olma Süresi ve Deniz Turizmi Mevsiminin İklim Koşullarına Göre Belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 50, 1-20. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/issue/21231/227830>
- Hobbs, J. E. (1980). *Applied climatology: A study of atmospheric resources*. Westview Press.
- İşınkaralar, O. (2023). Bioclimatic comfort in urban planning and modeling spatial change during 2020-2100 according to climate change scenarios in Kocaeli, Türkiye. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 7775-7786. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04992-9>
- ISO Standard 7726. (2002). *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*. International Organisation for Standardisation.
- Kambezidis, H.D. Psiloglou, B.E. Varotsos, K.V. & Giannakopoulos, C. (2021). Climate change and thermal comfort in Greece. *Climate*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/cli9010010>
- Karakuş, C.B. & Demiroğlu, D. (2022). A study of the relationship between bioclimatic comfort zones and land use: The case of Sivas province (Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 1139. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1035870/v1>
- Kaya, Y. (2018). İklim değişikliğine karşı kentsel kırılabilirlik: İstanbul için bir değerlendirme. *International Journal of Social Inquiry*, 11(2), 219-257. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijisi/issue/41585/502488>
- Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods*. Griffin.
- Kenawy, I. & Elkadi, H. (2013, 10-12 September). *The impact of cultural and climatic background on thermal sensation votes* [Konferans sunumu]. PLEA2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, Munich, Germany.
- Kocman, A. (1991). Affecting of İzmir's urban development of natural environmental factors and problems related to them. *Geography Research Journal*, 3, 101.
- Kurter, A. (1979). *Türkiye'nin morfoiklimatik bölgeleri*. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Matbaası.
- Lin, T.P. Dear, R. & Hwang, R.L. (2011). Effect of thermal adaptation on seasonal outdoor thermal comfort. *International Journal of Climatology*, 31, 302-312. <https://doi.org/10.1002/joc.2120>
- Liu, W. Zhang, Y. & Deng, Q. (2016). The effects of urban microclimate on outdoor thermal sensation and neutral temperature in hot-summer and cold-winter climate. *Energy and Buildings*, 128, 190-197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.086>
- Matzarakis, A. & Karagülle, M. Z. (2007, 19-22 September). *Bioclimate information for İstanbul*. [Konferans sunumu]. Developments in Tourism Climatology, 3rd International Workshop on Climate, Tourism and Recreation, Freiburg, Germany.
- Matzarakis, A. & Endler, C. (2010). Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *International Journal of Biometeorology*, 54, 479-483.
- Nastos, P.T. & Matzarakis, A. (2019). Present and future climate—tourism conditions in Milos Island, Greece. *Atmosphere*, 10 (3): 97-107. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos10030145>
- Nikolopoulou, M. & Steemers, K. (2003). Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35, 95-101.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Olgyay, V. (1973). *Design with climate, bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press.
- Öztürk, M.Z. Çetinkaya, G. & Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Coğrafya Dergisi*, 35, 17-27. <https://doi.org/10.26650/JGEOG295515>
- Pontes, R. H. Najjar, M. K. Hammad, A.W.A.Vazquez, E. & Had-

- dad, A. (2022). Adapting the Olgvyay bioclimatic chart to assess local thermal comfort levels in urban regions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24, 661–675. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02158-0>
- Razzaghmanesh, M. Beecham, S. & Salemi, T. (2016). The role of green roofs in mitigating urban heat island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 15, 89-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2015.11.013>
- Sayigh, A. & Marafia, A.H. (1998). Chapter 1-Thermal comfort and the development of bioclimatic concept in building design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 2, 3-24. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(98\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(98)00009-4)
- Singh, P. & Verma, P. (2019). A Comparative Study of Spatial Interpolation Technique (IDW and Kriging) for determining groundwater quality. *GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science*, 5, 43-56. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815413-7.00005-5>
- Shooshtarian, S. Lam, C.K.C. & Kenawy, I. (2020). Outdoor thermal comfort assessment: A review on thermal comfort research in Australia. *Building and Environment*, Volume 177, 106917. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106917>
- Sungur, K.A. (1980). Türkiye’de insan yaşamı açısından uygun olan ve olmayan ısı değerlerinin aylık dağılışı ile ilgili bir deneme. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 23, 27–36.
- Şensoy, S. (2020). *Turizm sektörünün geleceği açısından sıcaklık indisleri ile termal biyoklimatik indisler arasındaki ilişkiler: Antalya örneği* (Yayın No. 643413) [Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Tağıl, Ş. & Ersayın, K. (2015). Balıkesir ilinde dış ortam termal konfor değerlendirmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8 (41), 747-755.
- Temur, H. (2023). Sürdürülebilirlik kapsamında kentsel ısı adası oluşumu. İçinde Biçen, A. (Ed.), *Mimarlık, Planlama ve Tasarımda Güncel Yaklaşımlar* (ss.65-91). Duvar Yayınları.
- Toy, S. (2010). *Biyoklimatik Konfor Değerleri Bakımından Doğu Anadolu Bölgesi Rekreatyonel Alanların İncelenmesi* (Yayın No. 274669) [Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Turoğlu, H. (2014, 23-24 Ekim). *İklim değişikliği bağlamında İstanbul’un su yönetimi ve problemleri* [Konferans sunumu]. TÜCAUM VIII. Coğrafya Sempozyumu, Ankara, Türkiye.
- TÜİK. (2022). *2022 Nüfus verileri*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2022-49685>
- United Nations-UN. (2024). *World Urbanization Prospects 2018 : Highlight*. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs. <https://population.un.org/wup/DataQuery/>
- Ülker, İ. (1988). *Türkiye’de sağlık turizmi ve kaplıca planlaması*. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Çağdaş Kültür Eserleri Dizisi.
- Ünal, Y. S. Sonuç, C. Y. İncecik, S. Topcu, H. S. & Diren-Üstün, D. H. (2020). Investigating urban heat island intensity in Istanbul. *Theoretical and Applied Climatology*, 139, 175-190. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02953-2>
- Yasdıman, K. (2023). Kentsel ısı adası, sıcaklık dalgaları ve halk sağlığı ilişkisi. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 18(67), 53-65.
- Yeşil, M. Yeşil, P. & Güzel, M. (2021). Ordu ili Biyoklimatik Konfor Bölgelerinin Belirlenmesi. *Kent Kültürü ve Yönetimi Dergisi*, 14(4), 1059-1073. <https://doi.org/10.35674/kent.983103>
- Vujovic, S. Haddad, B. Karaky, H. Sebaibi, N. & Boutouil, M. (2021). Urban heat island: Causes, consequences, and mitigation measures with emphasis on reflective and permeable pavements. *CivilEng*, 2, 459-484. <https://doi.org/10.3390/civileng2020026>
- Wang, Y. Berardi, U. & Akbari, H. (2016). Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings*, 114, 2-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.046>



## 2023 Depremleri afet bölgesinde NO<sub>2</sub> troposferik yoğunlukların mekânsal-zamansal sıcak noktaları

*Spatial-temporal hotspots of NO<sub>2</sub> tropospheric concentrations in the disaster area of 2023 earthquakes*

Derya Özçelik<sup>a</sup>  Muhterem Küçükönder<sup>b\*</sup> 

<sup>a</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye.

<sup>b</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye.

ORCID: D.Ö. 0009-0007-1132-4480, M.K. 0000-0001-5350-7794

### BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 11.07.2024

Kabul/Accepted: 27.08.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Hava Kalitesi

NO<sub>2</sub>

Sentinel-5P

Zamansal-Mekansal Sıcak Nokta

#### Keywords:

Air Quality

NO<sub>2</sub>

Sentinel-5P

Temporal-Spatial Hot Spot

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(M. Küçükönder)

mhtrm.kckndr@gmail.com.

DOI: 10.17211/tcd.1514632



#### Atf/Citation:

Özçelik, D., & Küçükönder, M. (2024). 2023 Depremleri afet bölgesinde NO<sub>2</sub> troposferik yoğunlukların mekânsal-zamansal sıcak noktaları. *Türk Coğrafya Dergisi* (86), 87-103. <https://doi.org/10.17211/tcd.1514632>

### ÖZ/ABSTRACT

Hava kirliliğine neden olan parametrelerin konsantrasyonlarında meydana gelen değişimlerin izlenmesi, hava kalitesi yönetimi ve sürdürülebilir mekânsal planlama süreçlerinin bir parçasıdır. Bu çalışmada 2023 şubat depremleri sonrasında yapısal, sosyolojik, ekonomik boyutlarıyla ciddi bir afet yaşayan ve farklı kademelerde iyileşme-iyileştirme eylemleri planlanan ve uygulanan afet bölgesinde hava kirliliği için önemli parametrelerden biri olan NO<sub>2</sub> troposferik yoğunluğunun, Sentinel 5P tabanlı izlenmesi ve mekânsal zamansal değişim trendlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Kış sezonunda fosil yakıt kullanımında artış ve alçalcı hava hareketleri nedeniyle maksimum değerlere ulaştığı, yaz sezonunda ise İskenderun ve Pazarcık gibi konumlar dışında azaldığı görülmektedir. Yaz sezonu azalma eğilimi Harran ovası gibi tarımsal alanlarda muhtemel anız yakılması ile ilişkili artış eğilimindedir. 2018 ve 2024 yılları arasında aylık ortalama NO<sub>2</sub> değerleri için sıcak ve soğuk noktalar mekânsal-zamansal gelişen sıcak nokta analizi ile tespit edilmiştir. Sıcak nokta alanlarının arazi kullanım ve ilçe ölçeğinde gelişmişlik düzeyleri ile ilişkisi irdelenmiştir. Çalışma alanında yer alan nüfus değerleri 350000 üzerinde, birinci ve ikinci kademe gelişmişlik düzeyinde aynı zamanda yapılaşma yoğunluğu fazla olan yerleşim birimleri daimî sıcak nokta veya yoğunlaşan sıcak nokta sınıfındadırlar. Yoğun ulaşım kavşakları, açık maden işletmelerinin olduğu bazı konumların arazi kullanım ile ilişkili olarak salınımlı veya nadiren sıcak nokta sınıfına katıldıkları belirlenmiştir.

Monitoring changes in the concentrations of parameters that cause air pollution is a critical aspect of air quality management and sustainable spatial planning processes. This study aimed to monitor the NO<sub>2</sub> tropospheric density using Sentinel 5P data, and to determine spatio-temporal change trends, which is one of the important parameters for air pollution, in the disaster area affected by the February 2023 earthquakes. The region experienced significant structural, sociological, and economic impacts, with recovery and improvement actions planned and implemented at different levels. The findings show that NO<sub>2</sub> concentrations reach their maximum values during the winter season due to increased fossil fuel use and descending air movements, and decrease during the summer season, except in locations such as İskenderun and Pazarcık. In agricultural areas like the Harran Plain, there is a noticeable increase in NO<sub>2</sub> levels, likely due to stubble burning, though there is a general tendency for levels to decrease in the summer. A spatial-temporal emerging hotspot analysis was conducted on monthly average NO<sub>2</sub> values from the 2018 to 2024 dataset. The relationship between hotspots and land use, as well as development levels at the district scale, was examined. Settlements within the study area that have population values over 350000, first and second-stage development levels, and a high density of built-up areas are classified as either permanent hotspots or intensifying hotspots. Additionally, locations with high-intensity transportation intersections and open-pit mining areas were classified as oscillating or sporadic hotspots, reflecting their relationship with land use.

## Extended Abstract

### Introduction

The inadequacy of point measurements of air pollutant parameters in urban and spatial planning, coupled with the lack of consideration for climatological elements such as wind and temperature in planning applications, often leads to weak dispersion in certain areas (Köse & Erbaş, 2003). Therefore, it is crucial to focus on air pollution not only temporally but also spatially, necessitating approaches that evaluate these dimensions together. However, large data sizes, the selection of interpretation models, and the transformation of information, such as satellite images, can be time-consuming. Geographic Information Systems (GIS) are an important tool that accelerates these large and intensive data processing tasks.

In this study, we aim to monitor satellite-based parameters and determine spatio-temporal change trends of air pollution ( $\text{NO}_2$ ) in the provinces of Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye, and Şanlıurfa—regions that have experienced a serious disaster with structural, sociological, and economic dimensions, and where recovery and remediation actions have been planned and implemented at different levels. Specifically, this study seeks to identify the hot and cold spots for  $\text{NO}_2$  values between 2018 and 2024 in these regions, which are currently in a significant recovery process. Additionally, we will explore the factors that may be associated with the identified hot or cold areas. The results of this study are expected to serve as an application example for inventory and modeling approaches aimed at developing air quality management practices in line with the Sustainable Development Goals (SDGs) for environmental protection within the Twelfth Development Plan.

### Data and Method

In this study, the Google Earth Engine (GEE) platform was used to select, calculate, and download monthly averages of  $\text{NO}_2$  tropospheric concentration TROPOMI offline version data based on the inversion of differential absorption spectroscopy published by ESA. For the analysis, a  $\text{NO}_2$  monthly image dataset with a spatial resolution of 1113.2 meters was produced for 70 months between July 2018 and April 2024. This dataset was created by calculating monthly averages of approximately four thousand images between 2018 and 2024, applying cloud filtering (0.3) for the study area.

Emerging Hot Spot Analysis is a statistical approach that allows data to be modeled in the context of both time and space (ESRI, 2024). The purpose of hot spot analysis is to determine the temporal and spatial dimensions within the dataset and to identify trends in the development of newly formed, decreasing, or increasing hot and cold spots.

### Results and Discussion

This study was conducted to determine the temporal and spatial change trends of a single air pollution parameter ( $\text{NO}_2$ ). In line with the study's general objective,  $\text{NO}_2$  air pollution levels and hot and cold spots were determined using emerging hot-spot analysis based on S5P data. According to the dataset cover-

ing the years 2018-2024, no significant trend change was detected in  $\text{NO}_2$  tropospheric concentrations in the districts of Antakya, Adıyaman, Malatya, and Kahramanmaraş, which suffered significant structural damage during the February 2023 earthquakes. Similarly, despite a decrease in  $\text{NO}_2$  levels during the COVID-19 pandemic lockdowns, this situation did not indicate a decreasing trend in long-term monthly averages. Bigger settlements are the areas where  $\text{NO}_2$  tropospheric concentration is highest, with peaks in the winter season. Among these settlements, İskenderun and the vicinity of Pazarcık-Narlı were identified as locations where the most intense values were observed throughout the year, despite both their development levels and low population densities. Malatya, Elazığ, and Adıyaman, as settlement centers that are still oscillating hotspots, should be prioritized in regional planning to avoid being classified as persistent hotspots.

The absence of newly developing hot or cold spots in tropospheric  $\text{NO}_2$  density in the study area between 2018 and 2024 indicates that there were no large-scale changes in either land use status or industrialization that would increase development levels. The fact that no new, consecutive, or diminishing hot or cold spots were detected in tropospheric  $\text{NO}_2$  density can be attributed to the lack of effective implementation of air quality improvement measures, as no statistically significant trend was observed during the research period. In the districts of Bağlar, Eyyubiye, and Haliliye, where the predominant wind direction is northwest, it is recommended that local  $\text{NO}_2$  source identification and measures to reduce nitrogen emissions be undertaken to protect public health. In the industrial zones located in the dominant wind direction (Northwest) in the Onikişubat and Dulkadiroğlu districts of Kahramanmaraş province, emission reduction regulations should be implemented, and persistent hot spot situations should be mitigated. Regional air pollution assessments can contribute to planning processes in areas declared as disaster zones following the 2023 earthquakes, where numerous spatial planning processes are ongoing. According to the National Air Quality Monitoring Network web interface data from the Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change, there are a total of 23 air quality stations for 124 districts in the study area, seven of which are in Adana and five in Gaziantep. However,  $\text{NO}_2$  parameter measurements are not consistently carried out in many of these air quality monitoring stations. The study results using S5P satellite data highlight the need for continuous monitoring of the  $\text{NO}_2$  parameter at air quality monitoring stations and for increasing the number of monitoring stations in the region. In the site selection of newly established air quality measurement stations, not only urban areas but also agricultural plains, industrial zones, and important transportation junctions should be considered.

The paradox of defining ideal conditions that increase welfare levels, such as better transportation, heating, and industry, as indicators of quality of life, while simultaneously recognizing them as sources of pollution that create long-term health and environmental problems, poses a challenge for spatial planning approaches (Tonion & Pirotti, 2022). One of the main goals in National Development Plans is to reduce pollutant emissions at their source and determine the most effective measures to reduce emissions at local and national levels. In this context,

temporal-spatial hotspot analysis has been identified as a crucial factor for detecting persistent hotspots in tropospheric NO<sub>2</sub> concentrations, especially in the study area, where industrialization-related developments are affecting the development level and where population density is high. The findings can contribute to planning processes by considering air pollution parameters in the region, which is undergoing reconstruction following the 2023 earthquakes (Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye, Şanlıurfa). It is recommended that the results of this regional-scale study should not be directly applied to local spatial planning processes, particularly in urban designs. In areas identified as persistent and intensifying hotspots, it is advised to map and model large-scale topography, wind, temperature, and pollutant sources to accurately determine and mitigate inversion potential in the city planning process.

## 1.Giriş

İnsan ve çevre sağlığı üzerinde negatif etkileri ile azot oksitler, kükürt oksitler, amonyak, karbon monoksit, doğrudan havada yayılan veya asılı kalan partikül maddeler temel hava kirlenici bileşenler olarak tanımlanmaktadır (Tista vd., 2019). Bunlar arasında atmosferde yüksek oranda bulunan azot, çeşitli yanma reaksiyonlarının ürünü olarak azot oksitleri meydana getirmektedir ve başlıca hava kirlenici bileşenler arasında yer alan NO ve NO<sub>2</sub>'nin toplamı şeklinde değerlendirilmektedirler (Çınar, 2008; Marc vd., 2015). Azot oksitler, doğal süreçler (volkanik patlamalar, orman yangınları, topraktaki mikrobiyolojik süreçler vb.) veya yoğunlukla antropojenik etkiler (çeşitli ulaşım araçları, endüstriyel gaz atıklar, evsel ısınma gibi) sonucunda atmosfere salınmaktadır (Şahin, 1989; Karpuzcu, 2016; Cindoruk, 2018; Swamy vd., 2024). Özellikle insan sağlığı üzerindeki etkileri nedeniyle Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Çevre Ajansı (European Environmental Agency (EEA)) azot dioksit (NO<sub>2</sub>) ile ilgili olarak 21 ppb (40 µg/m<sup>3</sup>) üst sınır olarak belirlemişlerdir. Ülkemizde Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi mevzuatına göre ise yersel ölçümlerde NO<sub>2</sub> insan sağlığının korunması için saatlik sınır değer ortalaması 250 µg/m<sup>3</sup>, 24 saatlik sınır değer ortalaması 300 µg/m<sup>3</sup> ve yıllık ortalaması 100 µg/m<sup>3</sup> üst sınır olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de izleme, kontrol ve bilgilendirme süreci Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı tarafından yürütülmektedir. Aynı zamanda yersel ölçüm istasyonları verilerinden yararlanarak ülkemizde bölge ölçeğinde Marmara bölgesi (Cindoruk, 2018) ve il ölçeğinde Malatya (Sever, 2008), Karaman (Cicibiyik vd., 2019), Sivas (Fertelli, 2020), Siirt (Alkan, 2018), Kütahya (Köse & Erbaş, 2003), Gelibolu (Aydın & Mentşe, 2024), Kahramanmaraş (Yıldırım & Korkmaz, 1998) ve Konya (Kara vd., 2018) hava kalitesinin belirlenmesi ve diğer coğrafi koşullar ile ilişkilendirilmesi çerçevesinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Konvansiyonel yöntemlerin dezavantajları dikkate alındığında hava kirliliğinin izlenmesi, artan nüfus ve yaşam kalitesini artıran tüm ihtiyaçların sağlanmasına yönelik talepler (ulaşım, sanayileşme vb.) doğrultusunda, uydu sistemleri ile gerçekleştirilen yer gözlem uygulamalarının temel hedefleri arasında yer almaktadır (Tonion & Pirotti, 2022). Yersel hava kalitesi izleme çalışmalarının noktasal bağımlılığını ortadan kaldıran uydu temelli yaklaşımlar alansal izleme süreçlerine

önemli katkılar sunmaktadır. OMI/Aura, GOME/ERS-2, SCIAMACHY/ENVISAT, GOME-2/Metop-A ve GOME-2/Metop-B, TROPOMI-S5P gibi uydu tabanlı veriler, havadaki kirlenici konsantrasyon seviyesindeki değişikliklerin mekânsal-zamansal analizlerinin gerçekleştirilmesi sürecinde önemli veri kaynaklarıdır (Boersma vd., 2011; Marc vd., 2015; Georgoulas vd., 2019; Naveed-ul-Zafar, 2021; Wiczorek, 2023). Mevcut yersel izleme yöntemleri için tamamlayıcı ve yersel ölçümlerin gerçekleştirmediği birçok durumda hava kalitesi izleme süreçlerinin birincil kaynağı haline gelmektedirler (Marc vd., 2015). Uydu tabanlı veri setlerine sınırsız ve ücretsiz erişimi göz önüne alındığında, kirlenici kaynakların tespiti, kirlenme derecesinin belirlenmesi ve etkilerinin değerlendirilmesi alanında sürekli izleme çalışmaları açısından önemli hale gelmişlerdir. Özellikle volkanik patlamalar ve COVID-19 pandemi dönemi gibi afet süreçlerinin etkilerini değerlendirmek amacıyla uydu tabanlı verilerin kullanılmasıyla NO<sub>2</sub> gibi hava kalitesi seviyelerinde değişim analizleri yaygınlaşmıştır. Pandemi sürecinde Güney Asya bölgesi için insan hareketliliği ile NO<sub>2</sub> değişimlerinin ilişkilendirilmesi (Liu vd., 2024), dönemsel değişim tespitine yönelik Jakarta (Faisal & Jaelani, 2023), hava kalitesinin izlenmesine yönelik Ekvator (Mejía vd., 2024) ve Tayland (Stratoulas & Nuthammachot, 2020) bölgelerinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ulusal ölçekte ise troposferik NO<sub>2</sub> yoğunluklarının değişiminin belirlenmesine yönelik OMI (Ozone Measuring Instrument) (Yavaşlı ve Ölgen, 2022) ve S5P (Sümsüli & Kalkan, 2022; Çilek, 2022; Makineci, 2022) farklı algılayıcıların kullanıldığı görülmektedir.

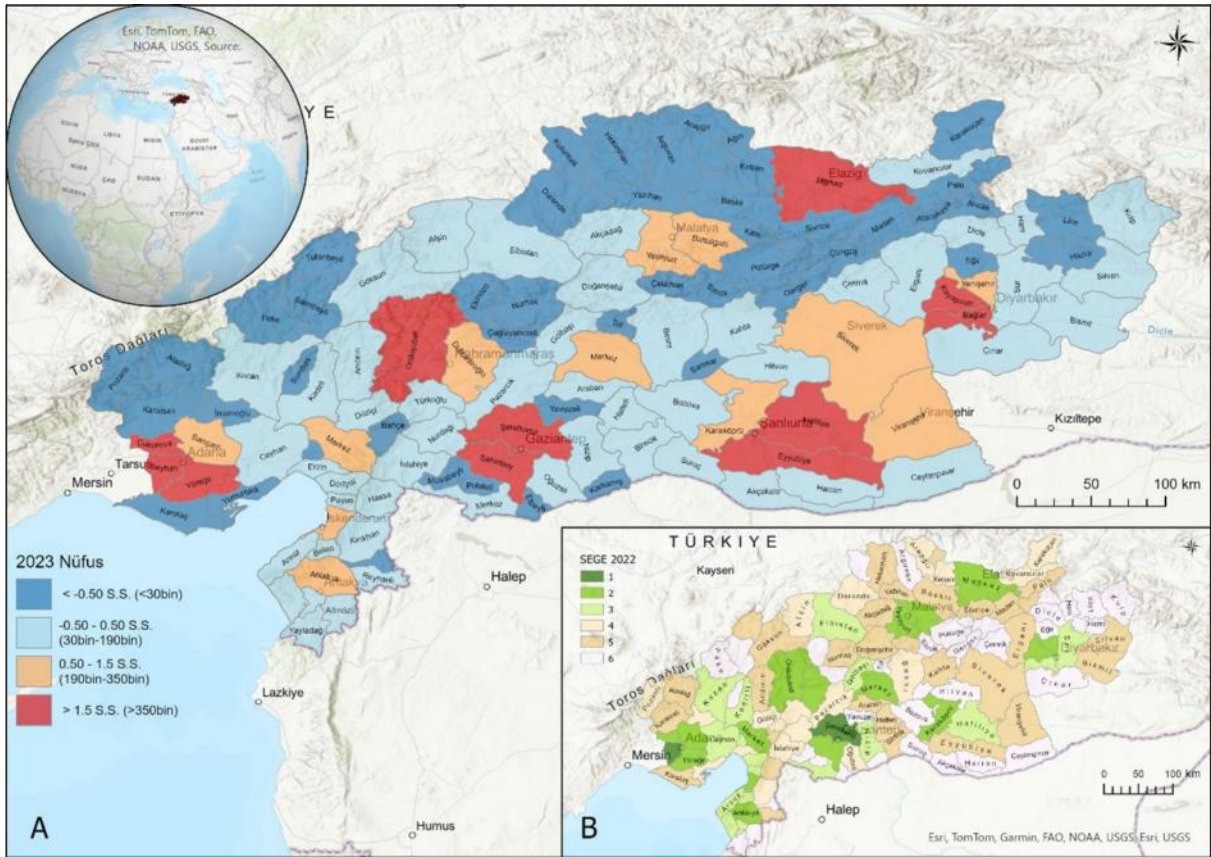
Hava kirlenitçilerin belirli bir yer ve zamandaki konsantrasyonu, emisyon kaynakları, meteoroloji, topografik özellikleri ve fizikokimyasal dönüşümleri etkileyen arazi örtüsü/kullanım özellikleri dahil olmak üzere birçok faktör ile yakından ilişkilidir (Şahin, 1989; Çınar, 2008; Karpuzcu, 2016). Şehir ve mekânsal planlama süreçlerinde hava kirlenici parametrelerin noktasal ölçümünün yetersizliği ve klimatolojik unsurların (rüzgâr, sıcaklık gibi) planlama uygulamalarında dikkate alınmamasının bazı alanlarda zayıf dispersiyon oluşturması konusuna dikkat edilmesi (Köse & Erbaş, 2003) adına hava kirliliği ile ilgili sadece zamansal değil mekân ve zamanı birlikte değerlendiren yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük veri boyutu, yorumlama modelinin seçimi ve uydu görüntüleri gibi bilgi dönüşümü zaman alıcıdır. Coğrafi bilgi sistemleri ise bu gibi büyük ve yoğun veri işleme süreçlerini hızlandıran önemli bir araç olmaktadır. Bu çalışmada, yapısal, sosyolojik, ekonomik boyutlarıyla ciddi bir afet yaşayan ve farklı kademelerde iyileşme-iyileştirme uygulamaları planlanan ve uygulanan Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye, Şanlıurfa illerinde hava kirliliği (NO<sub>2</sub>) parametrelerinin uydu tabanlı izlenmesi ve mekânsal zamansal değişim trendlerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda önemli bir iyileşme süreci içerisinde olan seçilen bölgede 2018 ve 2024 yılları arasında NO<sub>2</sub> değerleri için sıcak ve soğuk noktalar nelerdir? Tespit edilecek sıcak veya soğuk bölgeler hangi faktörler ile ilişkili olabilir? sorularının yanıtları çözümlenmeye çalışılacaktır. Çalışma sonuçlarının, Onikinci Kalkınma Planında, çevrenin korunmasına yönelik olarak Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) doğrultusunda hava kalitesi yönetim uygulamalarının geliştirilmesine yönelik envanter ve modelleme yaklaşımları sürecinde hassas bir alan için uygulama örneği olması düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma Alanı

Coğrafi olarak Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri arasında geçit kuşağı olarak değerlendirilen 2023 yılı Kahramanmaraş merkezli depremlerden etkilenen 11 il çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Bölgede, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) 2023 yılı verilerine göre yaklaşık 14 milyon nüfus yaşamaktadır. Çalışma alanında Şahinbey ve Şehitkamil (Gaziantep), Seyhan, Yüreğir ve Çukurova (Adana), Merkez (Elazığ), Onikişubat (Kahramanmaraş), Kayapınar ve Bağlar (Diyarbakır), Eyyübiye ve Haliliye (Şanlıurfa) nüfusu 350000 üzerinde olan ilçelerdir (Şekil 1A). Hava kirliliği için önemli olan bir bölgede yaşayan nüfus yoğunluğunun yanı sıra bu nüfusun sanayi, ulaşım, tarım gibi sektörlerde katılımının ortaya çıkarma potansiyeli bulunan emisyon kaynakları ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda bölgenin ilçe düzeyinde sosyo-ekonomik gelişmişlik durumu T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırmaları (SEGE) 2022 yılı raporu dikkate alınarak incelenmiştir (Şekil 1B). Birçok kurum ve kuruluş tarafından mevzuat düzenlemelerinde ve politika uygulamalarında referans olan SEGE çalışması, demografik, istihdam ve sosyal güvenlik, eğitim, sağlık, finans, rekabetçilik, yenilikçilik ve yaşam kalitesi göstergeleri ana başlıklarında birçok değişken Güçlü Temel Bileşenler Analizi yöntemiyle değerlendirilmektedir (Acar vd., 2022). Çalışma alanında sadece Şehitkamil (Gazi-

antep) ve Seyhan (Adana) ilçeleri, imalat sanayi ve hizmetler sektörlerindeki iş yeri payları ve altyapı, eğitim, sağlık hizmetlerine erişen nüfus oranı ve diğer yaşam kalitesi göstergelerindeki sıralamalarından dolayı birinci kademe gelişmiş ilçe grubundadır (Şekil 1B). Sarıçam, Çukurova, Yüreğir (Adana), Şahinbey (Gaziantep), Onikişubat, Dulkadiroğlu (Kahramanmaraş), Battalgazi, Yeşilyurt (Malatya), Merkez (Osmaniye), İskenderun, Antakya (Hatay), Merkez (Elazığ), Kayapınar, Yenişehir (Diyarbakır), Merkez (Adıyaman), Karaköprü (Şanlıurfa) ilçeleri ise ikinci kademe gelişmiş ilçe grubundadırlar. İkinci kademe, çoğunlukla büyükşehirlerin birinci kademe de yer almayan ilçeleri, diğer illerin merkez ilçeleri ve turizm merkezi ilçeler olurken imalat sanayinin yoğunlaştığı, ülkemizde sanayi elektrik tüketiminin %51'ini gerçekleştiren ve diğer ilçelere göre yatırım teşviklerinin ön plana çıktığı ilçeler olarak değerlendirilmektedir (Acar vd., 2022). Birinci ve ikinci gelişmişlik kademesi ile karşılaştırıldığında imalat sanayii ve hizmetler sektörleri iş yerlerinin Türkiye payları yaklaşık %50 düşük olan üçüncü kademe gelişmişlik düzeyinde Ceyhan ve Kozan (Adana), Arsuz, Belen, Defne, Dörtöyol, Payas ve Samandağ (Hatay), Bağlar ve Sur (Diyarbakır), Kadiri ve Toprakkale (Osmaniye), Elbistan (Kahramanmaraş), Nizip (Gaziantep), Merkez (Kilis), Haliliye (Şanlıurfa) ve Gölbasi (Adıyaman) ilçeleri yer almaktadır. Çalışma alanında yer alan ilçelerin yaklaşık %70'i ise dördüncü, beşinci ve altıncı kademe gelişmişlik düzeyindedir (Şekil 1B). Bu ilçeler sanayi, eğitim, sağlık hizmetleri ve yaşam kalitesi göstergeleri açısından Türkiye ortalamasının oldukça altında değerlere sahiptirler.

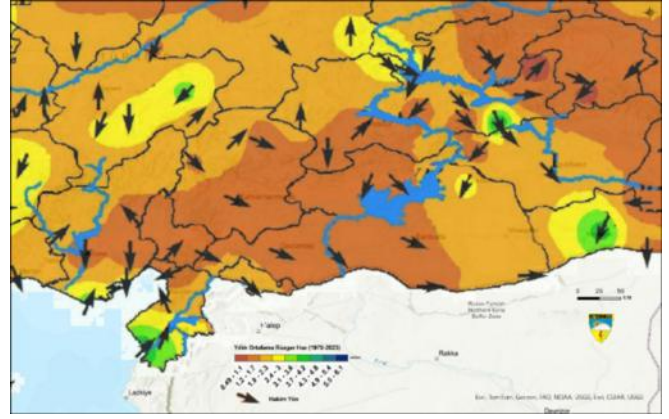


Şekil 1. Çalışma alanı konumu A) İlçelerin 2023 yılı nüfus verilerinin standart sapma (S.S.) gruplarına göre dağılımı, B) İlçelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırmalarına göre kademeleri (Acar vd., 2022).

Figure 1. Location of the study area A) Distribution of the districts' 2023 population data according to standard deviation (S.D.) groups, B) Stages of the districts according to socio-economic development ranking research (Acar et al., 2022).



Gazların atmosferde birkaç saatten bir aya kadar kalıcılığı, çeşitli hava olayları tarafından belirlenen dağılım koşullarına bağlıdır. Hava kirliliği üzerinde etkili olan önemli etmenler arasında bulunan kirletici konsantrasyonun dağılımını kontrol eden bölgenin basınç ve rüzgâr koşullarının alçalıcı davranışı (havanın zemine doğru hareketi) kirleticilerin zararlı etkilerini artırmaktadır (Karpuzcu, 2016). Rüzgârın olmaması, özellikle yerleşim alanlarının topografik koşulları ile de ilişkili olarak inversiyon, kurak ve yağışsız dönemler hava kirliliğinin etkisini artırıcı rol oynamaktadır (Çınar, 2008; Türkes, 2010; Karpuzu, 2016). Yıl boyunca birçok hava kütesinin etkisi altında kalan Türkiye'nin etkilendiği basınç durumlarına bağlı olarak yaz ve kış mevsimlerinde hâkim rüzgâr yönlerinde değişimler meydana gelmektedir. Ülkemiz kış aylarında genel olarak kuzey yönlü Sibiryaya Yüksek Basıncının etkisine girerken yaz aylarında ise güney yönlü Basra Alçak Basıncının etkisi altına girmektedir (Türkes, 2010). Kış mevsiminde hissedilen soğuk havanın etkisiyle oluşan yüksek basınç alanından Anadolu'ya kuzeyden gelen karasal polar hava kütesi Anadolu üzerinde bir yüksek basınç sahasını meydana getirmekte ve bunun sonucunda Akdeniz üzerinde bir alçak basınç sahası oluşmaktadır (Koçman, 1993). Bu durum Doğu Akdeniz'de hissedilen yağışlar ve rüzgâr akımına neden olmaktadır. Bu koşullar eylül ayından itibaren başlamakta ocak ve aralıkta ise iyice belirgin hale gelmektedir. Ocak ayı itibarı ile güneyden Anadolu'ya ulaşan nemli ve sıcak hava ile kuzeyden gelen soğuk havanın karşılaşması sonucunda Akdeniz üzerinden ilerleyen sıcak ve nemli hava Akdeniz ile Güneydoğu Anadolu bölgesinde yağışlara sebep olmaktadır. Toroslar üzerinden Akdeniz'e doğru hareket eden poyraz rüzgârları da yine bu dönemde Akdeniz'deki sıcaklığı düşürücü etki yapmaktadır (Koçman, 1993; Yavaşlı ve Ulukuş, 2020). Kış aylarında yüksek basıncın etkisi ile alçalıcı ve durgun etki ortaya çıkmakta ve havanın düşey doğrultudaki hareketi aşağı yönlü olması hava kirliliği açısından negatif bir durum ortaya çıkarmaktadır (Türkes, 2010). Yaz mevsiminde ise balkanlara kadar sokulan bir Azor Yüksek basıncı ve Basra körfezi üzerinde bir alçak basınç sahası oluşmaktadır. Yaz boyunca Türkiye genelinde Kontinental tropikal (cT) hava kütesinin etkisi görülmektedir. Çöl sıcaklarını taşıyan bu hava kütesi yaz ayları boyunca Basra üzerinde merkezileşerek alçak basınç alanı oluşturmakta ve güneydoğu bölgesinden başlamak üzere geniş bir sahayı kuru ve sıcak hava etkisi altına almasına yol açmaktadır. Yaz aylarında Mersin ve İskenderun körfezleri çevresinde güney sektörlü rüzgarlar haricinde hâkim rüzgâr yönü kuzey sektörlü olmaktadır (Koçman, 1993; Türkes, 2010). Çalışma alanı olarak seçilen bölgenin iklimi ise Eriñç yıllık yağış etkinlik indeksi değerleri ile gerçekleştirilen analizlere göre Yarı Kurak - Yarı Nemli sınıfı içerisinde yer almaktadır (Aydın vd., 2019; Güngör, 2019). Köppen- Geiger iklim sınıflamasını göre ise Akdeniz bölgesi itibarı ile güneydoğu Torosların güney kesimleri çoğunluk olarak Ilıman - Kurak Yaz, Sıcak Yaz (Csa) iklim sınıfı içerisinde yer almaktadır. Kahramanmaraş'ın kuzey kesimleri ile Doğu Torosların kuzeyinde kalan Malatya, Elazığ bölgesi Soğuk - Kurak Yaz, Sıcak Yaz (Dsa) ve Soğuk - Kurak Yaz, Serin Yaz (Dsb) iklim sınıfına dâhil edilmektedir (Yılmaz & Çiçek, 2018). Bazı kirletici türleri atmosferdeki emisyon değişikliklerini yaz sıcaklığında net ve hızlı bir şekilde gösterirken, bazıları ise kış aylarında bunu göstermektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından 1970 ve 2023 yılları arası veriler ile hazırlanan Türkiye rüzgâr istatistiklerine göre çalışma alanının büyük bir bölümü ortalama 1,2 ile 1,7 m/sn rüzgâr hızına sahiptir (Şekil 2). Hatay ve



Şekil 2. Türkiye ortalama rüzgâr hızı ve hâkim rüzgâr yönleri haritası (1970-2023) (MGM, 2023'den değiştirilerek).

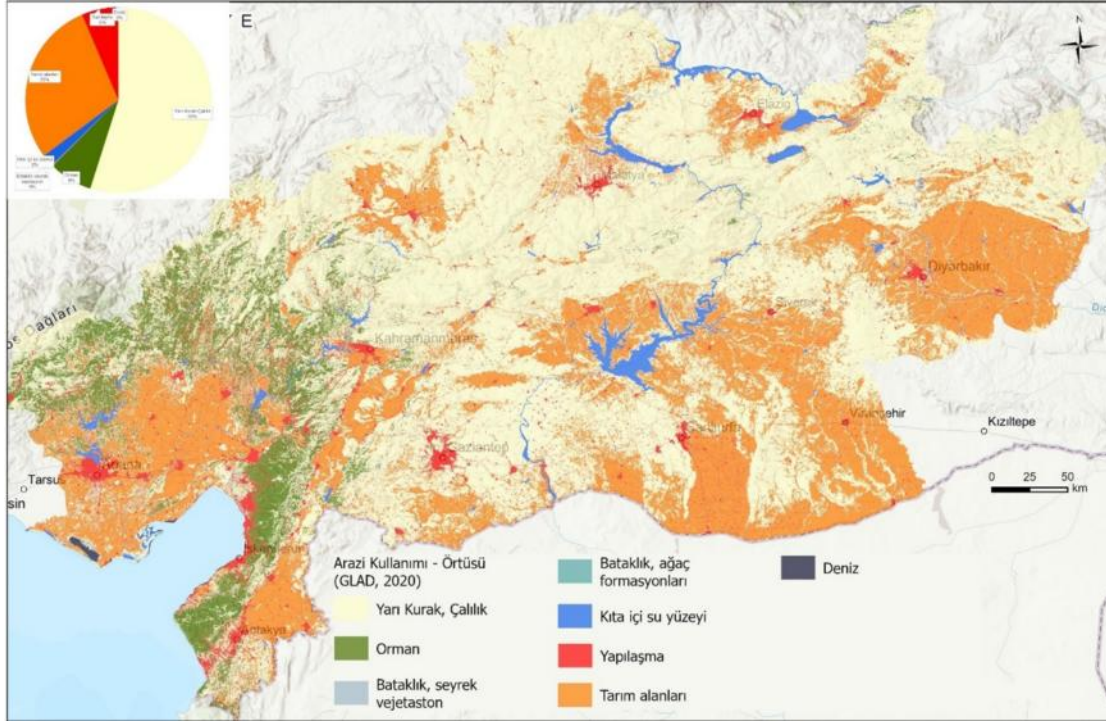
Figure 2. Türkiye average wind speed and predominant wind directions map (1970-2023) (revised from MGM., 2023).

Adana güneyinde, Siverek ve Maden civarında ortalama rüzgâr hızları 2,3 m/sn üzerine çıkmaktadır. Çalışma alanında hâkim rüzgâr yönleri oldukça değişiklik göstermektedir. Kahramanmaraş, Gaziantep, Şanlıurfa ve Kilis illerinde kuzeybatı, Adana ili için kuzey ve Antakya için güney sektörlü rüzgarlar dominant durumdadır (MGM, 2023).

Yer yüzeyinin fiziksel ve termal özelliklerini belirleyen arazi kullanımı ve örtüsü hava kalitesini doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Ormansızlaşma ve şehirleşme gibi arazi kullanımı/örtüsü değişimleri, örtüsüz alanların veya yapay beton, asfalt gibi yüzeylerin artmasına bu durumda yer yüzey sıcaklığının yükselmesi ile ilişkili olarak çeşitli kirletici emisyonların artmasına neden olmaktadır (Jodhani vd., 2024). Arazi kullanım ve arazi örtüsü, Landsat 2020 yılı verilerinden elde edilmiş olan 30 m çözünürlükte, % 85 doğruluğa sahip Küresel Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanımı Değişimi (The Global Land Cover and Land Use Change, 2000-2020; GLAD) veri seti ve veri seti için hazırlanan lejant (Potapov vd., 2022) kullanılarak incelendiğinde çalışma alanının büyük bir bölümü yarı kurak, çalı formasyonu grubunda yer almaktadır (Şekil 3). Çukurova, Harran, Amik ve Kahramanmaraş, Elbistan, Malatya ovalarında ağırlıklı olarak üzere tarım alanları bölgenin ikinci (%29) yaygın arazi kullanım sınıfını oluşturmaktadır. Orman alanları çoğunlukla Toros ve Amanos Dağlarında % 8'lik bir alana sahipken Yapılaşma olarak sınıflanan yerleşim, endüstri ve yollar çalışma alanının yaklaşık % 6'sını teşkil etmektedir. Yapılaşma alanlarının gelişmişlik düzeyi yüksek olarak tespit edilen ilçelerde (Seyhan, Şehitkamil) görece daha fazla olduğu görülmektedir.

## 2.2. NO<sub>2</sub> Verileri

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yürütülen Copernicus programı öncelikli olarak iklim değişikliği yönetimi, okyanus, atmosfer, karasal, çevre güvenliği ve acil durum izleme uygulamalarının geliştirilmesi için altı uydudan oluşan Sentinel adı verilen bir seri çerçevesinde yürütülmektedir. Bu çalışmada Sentinel 5P (S5P) uydusunda yer alan atmosferin ve hava kalitesinin küresel olarak izlenmesi amacıyla geliştirilmiş TROPOMI (The TROPOspheric Monitoring Instrument) algılayıcısı verilerinden yararlanılmıştır. Pasif bir algılayıcı olan TROPOMI ultraviyole (270–320 nm), görünür (310–500 nm), yakın kızılötesi (675–775 nm) ve kısa dalga kızılötesi (2305–2385 nm)



Şekil 3. 2020 yılı arazi örtüsü ve arazi kullanım haritası (Potapov vd., 2022).

Figure 3. Land cover and land use map for 2020 (Potapov et al., 2022).

dalga boylarında görüntü olarak seviye 3 görüntüleri (COPERNICUS/S5P/OFFL/L3\_NO2) 1113,2 m çözünürlükte açık erişim sunulmaktadır.

Yersel veriler bir noktadaki konsantrasyonu ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ölçümlerle elde edilirken uydu tabanlı veriler troposferik yoğunlukları ( $\text{mol}/\text{m}^2$ ) belirlemektedir. Bu nedenle uydu tabanlı elde edilen sonuçların gerek ulusal gerekse uluslararası yönergelerin tanımladığı limit eşik değerler ile doğrudan karşılaştırılmaması önerilmektedir (Müller vd., 2022). Yapılan bazı çalışmalarda S5P elde edilen  $\text{NO}_2$  verilerinin yersel ölçümlerle ilişkisi test edildiğinde İtalya için determinasyon katsayısı ortalama 0,4 ve ortalama karekök sapması ise  $8 \mu\text{mol}/\text{m}^2$  olarak belirlenmiştir (Tonion & Pirotti, 2022).

Polonya ve Ukrayna için yapılan çalışmada ortalama karekök sapmasını  $3,75 \mu\text{mol}/\text{m}^2$  (korelasyon katsayısı 0,50 üzerinde olan istasyonlar için) (Wieczorek, 2023) olarak belirtilirken Madrid için gerçekleştirilen çalışmada korelasyon katsayısı 0,72 olarak (Morillas vd., 2024) hesaplanmıştır. Yersel ölçümler ile S5P değerleri arasında fark, troposferik yoğunlukların hava konsantrasyon değerlerine dönüştürülmesinde kullanılan yaklaşıma, hava kalitesi ölçüm istasyonunun konumuna, topografik özellikler ve atmosferik sirkülasyon paternlerine bağlı olarak değişiklik göstermesine karşın bölgesel ölçekte kirletici kaynakları ve kirlilik düzeyinin mekânsal ve zamansal izlenmesi için kabul edilebilir düzeydedir (Tonion & Pirotti, 2022; Wieczorek, 2023; Morillas vd., 2024).

Bu çalışmada, ESA tarafından yayımlanan diferansiyel absorpsiyon spektroskopisinin ters çevrilmesine dayanan troposferik  $\text{NO}_2$  konsantrasyonu TROPOMI çevrimdışı versiyonunu verilerinin seçilmesi, aylık ortalamalarının hesaplanması ve indirilmesi için Google Earth Engine (GEE) platformundan yararlanılmıştır. Analizlerde kullanılmak üzere çalışma alanı için bulut filtrelemesi (0,3) uygulanarak 2018 ve 2024 yılları ara-

sında yaklaşık dört bin görüntüden aylık ortalamalar hesaplanarak Temmuz 2018 ve Nisan 2024 ayları arasında 70 ay için 1113,2 metre mekânsal çözünürlükte bir  $\text{NO}_2$  aylık görüntü veri seti üretilmiştir.

### 2.3. Mekânsal-Zamansal Gelişen Sıcak Nokta (Emerging Hotspot) Analizi

Coğrafi Bilgi Sistemleri mekânsal verinin zaman boyutuna hassas analiz, simülasyon ve modelleme tekniklerinin kullanımı ile yaygınlaşmaya devam etmektedir. Mekânsal-Zamansal Gelişen Sıcak Nokta Analizi 1960'lı yılların sonlarında İsveçli coğrafyacı Hägerstrand tarafından sunulan (Pavelescu vd., 2022) mekân-zaman küp modeline dayanan verinin zaman ve mekân bağlamında modellenmesini sağlayan istatistiksel bir yaklaşımdır (ESRI, 2024). Gelişen sıcak nokta analizinde hedef, veri kümesinde zaman ve mekân boyutları ile yeni oluşan, azalan veya artış yönünde sıcak ve soğuk noktaların gelişim eğilimlerini belirlemektir. Seçilen bir alanda zamana bağlı veri serileri bir araya getirilerek her bir zaman dilimi Getis-Ord  $G_i^*$  istatistiği için Hatalı Bulgu Oranı (False Discovery Rate -FDR) düzeltmesi kullanılarak Mekansal İlişkilerin Kavramsallaştırılması değerleri hesaplanmaktadır. Her bir dilimin z, p skorları ve sıcak/soğuk nokta değerlerini sunan Getis-Ord  $G_i^*$  istatistiği hesaplanmasının ardından tüm dilimlerde her bir konum için Mann-Kendall trend analizi uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçlar skorlarına bağlı olarak 17 sınıfa ayrılarak incelenmektedir (Tablo1).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Hazırlanan görüntü veri seti için analizler, çalışma alanı içerisinde belirli özelliklerine göre seçilen lokasyonlardaki zaman serileri, çalışma alanının tamamı için uzun yıllar aylık ortalamaları ve mekânsal-zamansal gelişen sıcak nokta analizi olarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında hem 2023 yılı nüfus yoğunlukları hem de S5P  $\text{NO}_2$  veri seti ön incelemele-

**Tablo 1.** Mekânsal-Zamansal Gelişen Sıcak Nokta (HOTSPOT) Analizi sonuçları patern sınıflamaları ve açıklamaları (ESRI, 2024).**Table 1.** Spatial-Temporal Emerging Hot Spot (HOTSPOT) Analysis results pattern classifications and explanations (ESRI, 2024).

Patern Sınıfı	Açıklama
Yeni Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Son zaman adımı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olan ve daha önce hiç istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olmayan bir konum.
Ardışık Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Son zaman adımı aralıklarında istatistiksel olarak anlamlı en az iki sıcak/soğuk nokta bölmesinin kesintisiz bir araya geldiği bir konum. Konum, son sıcak/soğuk nokta tanımlanmasından önce hiçbir zaman istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olmamıştır ve tüm serilerin yüzde 90'ından azı istatistiksel olarak önemli sıcak/soğuk noktalarıdır.
Yoğunlaşan Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Son zaman adımı da dahil olmak üzere tüm zaman adımı aralıklarının yüzde 90'ı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olan bir konum. Ayrıca artan/azalan değerlerin her zaman adımıdaki kümelenme yoğunluğu genel olarak istatistiksel olarak anlamlı artmaktadır/azalmaktadır.
Daimi Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Zaman adımı aralıklarının yüzde 90'ı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olan ve zaman içinde kümelenme yoğunluğunda fark edilebilir bir trend olmayan bir konum.
Azalan Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Her bir zaman adımıdaki kümelenme yoğunluğu genel olarak azalmaktadır ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu, son zaman adımı da dahil olmak üzere zaman adımı aralıklarının yüzde 90'ı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta olan bir konum.
Nadiren Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Son zaman adımı aralığı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta ve aynı zamanda tekrar tekrar açılıp kapanan bir sıcak/soğuk nokta geçmişine sahip olan konum. Zaman adımı aralıklarının yüzde 90'ından azı istatistiksel olarak anlamlı sıcak/soğuk noktalar olmakta ve zaman adımı aralıklarının hiçbiri istatistiksel olarak anlamlı soğuk/sıcak noktalar olmamaktadır.
Salımlı Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	Önceki bir zaman adımı sırasında istatistiksel olarak anlamlı bir soğuk/sıcak nokta olma geçmişine sahip olan, son zaman adımı aralığı için istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak/soğuk nokta. Zaman adımı aralıklarının yüzde 90'ından azı istatistiksel olarak anlamlı sıcak/soğuk noktalar olan konum.
Tarihi Sıcak Nokta veya Soğuk Nokta	En yakın zaman dilimi sıcak/soğuk nokta değildir ancak zaman adımı aralıklarının en az yüzde 90'ı istatistiksel olarak anlamlı sıcak/soğuk noktalarıdır.
Patern yok	Sıcak veya soğuk nokta modellerinden hiçbirine girmemektedir.

rinde diğer bölgelere oranla NO<sub>2</sub> yoğunluğu fazla olan yerleşim merkezlerinden öne çıkan 12 örneklem noktası seçilmiştir (Şekil 4A). Seçilen 12 örneklem noktaları arasında İskenderun 2018 temmuz itibarıyla tüm zaman serisinde en yüksek NO<sub>2</sub> emisyon değerlerine sahip bölgesi olmuştur (Şekil 4B). İskenderun için 2019 Şubat (0,00016 mol/m<sup>2</sup>) ve Aralık (0,00019 mol/m<sup>2</sup>), 2020 Mart (0,00013 mol/m<sup>2</sup>), 2021 Şubat (0,00021 mol/m<sup>2</sup>) ve Kasım (0,00021 mol/m<sup>2</sup>), 2022 Şubat (0,00018 mol/m<sup>2</sup>) ve Aralık (0,00025 mol/m<sup>2</sup>), 2024 Ocak (0,00024 mol/m<sup>2</sup>) ayları hem kendi içerisinde hem de diğer örneklem noktaları arasında maksimum değerleri vermektedir (EK1).

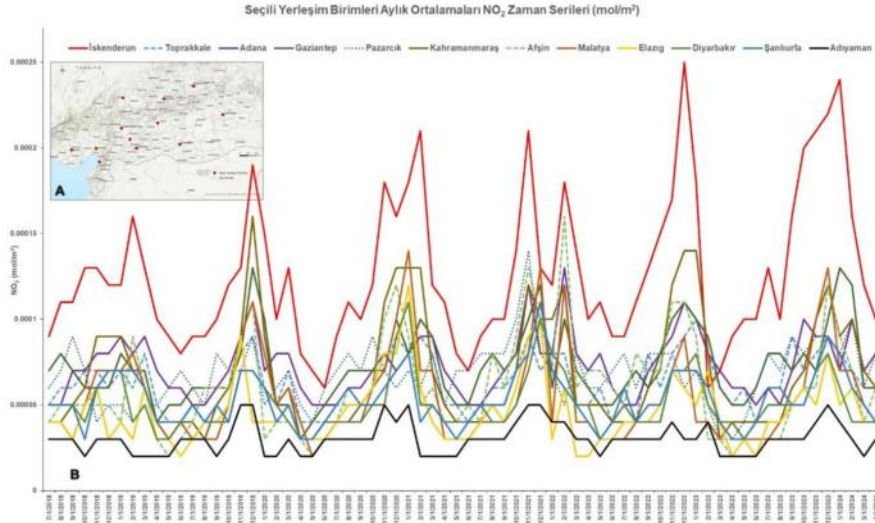
Örneklem lokasyonları içerisinde en düşük değerler Adıyaman (Şekil 4B) lokasyonu için tespit edilmiştir. Zaman serisinde 12 lokasyon için kasım, aralık, ocak ve şubat aylarını içeren kış sezonu değerleri tüm lokasyonlarda artış yönünde iken yaz sezonu ve geçişinde (mayıs, haziran, temmuz) için oldukça düşük yoğunluk değerleri hesaplanmaktadır.

2018 ve 2024 yılları arasında NO<sub>2</sub> aylık ortalamalar incelendiğinde İskenderun, Kahramanmaraş, Toprakkale, Afşin, Malatya, Adana, Gaziantep, Diyarbakır ve Şanlıurfa örneklem noktalarında kasım, aralık, ocak ve şubat ayları en yüksek değer ortalamasının yaşandığı konumlardır (Tablo 2, Şekil 5B). Elazığ ve Adıyaman örneklem konumlarında ise kasım, aralık, ocak ayları yüksek değer ortalaması görülürken şubat ayı yerine ekim ayında en yüksek değer ortalaması elde edilmektedir. Seçilen konumlar içerisinde Pazarcık en yüksek ortalama değerleri kasım ve aralık aylarında ve diğer lokasyonlardan farklı olarak eylül ve ekim aylarında yaşanmaktadır (Şekil 5B). Aylık ortalamaların minimum olduğu ay Kahramanmaraş, Gaziantep, Afşin, Malatya, Diyarbakır ve Şanlıurfa için mayıs iken Pazarcık konumu Nisan ayında minimum değer göstermektedir. Haziran dönemi ortalama aylık en düşük değer İskenderun, Toprakkale ve Elazığ illerinde görülmektedir.

Pazarcık örneği gibi Adıyaman ili en düşük aylık ortalaması diğer lokasyonlardan farklı olarak Temmuz ayında hesaplanmıştır (Tablo 2). NO<sub>2</sub> görüntü veri setinde %30 şeffaflık ayarı ile en düşük 0,000013 (mavi), en yüksek 0,000096 (kırmızı) standartlaştırılmış ölçüğü ile hazırlanan haritalar incelendiğinde (Şekil 6) örneklem konumlarının istatistikleri ile benzer şekilde çalışma alanının yaz sezonu geçişinde (mayıs, haziran ve temmuz) NO<sub>2</sub> yoğunlukları diğer aylara oranla düşüktür. Tüm aylar ortalamalarında arazi kullanım/arazi örtüsü ile karşılaştırıldığında yüksek değerler ile yapılaşma alanları (Şekil 2) belirgin bir şekilde ayırt edilebilmektedir. Bölgenin kuzeyi özellikle dağlık alanlar tüm aylarda en düşük NO<sub>2</sub> değerleri göstermektedir. Görüntü setleri incelendiğinde temmuz ayı ortalamaları genel anlamda düşüş eğilimi göstermesine karşın özellikle Harran ovasında olası anız yakımı ile ilişkili olarak bir artış gözlenmektedir (Şekil 6G).

2018 Temmuz ayından 2024 Nisan ayına kadar hesaplanan aylık ortalama katmanları içeren 70 zaman diliminde NO<sub>2</sub> görüntü veri seti kullanılarak Zamansal-Mekânsal Gelişen Sıcak Nokta analizi uygulandığında çalışma alanının büyük bir kısmı (yaklaşık %35) patern oluşturmamıştır (Şekil 7, Tablo 3). Patern oluşturmayan alanlar yerleşim bulunmayan baskın olarak yarı kurak-çalılık arazi örtüsüne sahip olduğu görülmektedir. Bu zaman serisi içinde çalışma alanında yeni, ardışık ve azalan bir sıcak veya soğuk nokta gelişimi ve aynı zamanda tarihi bir soğuk nokta alanı tespit edilmemiştir.

Çalışmada aylık ortalama değerlerin kullanılması kısa dönemli mevcut arazi kullanımında ve örtüsünde özellikle veri seti zaman aralığında emisyon değerlerini etkileyecek büyük ölçekli bir değişim olmaması ile ilişkilendirilmektedir. Daimî sıcak nokta alanları çalışma alanının %1'inden daha az alanda oluşmasına karşın neredeyse tamamı popülasyon yoğunluğu fazla yerleşim birimlerinde odaklanmaktadır.



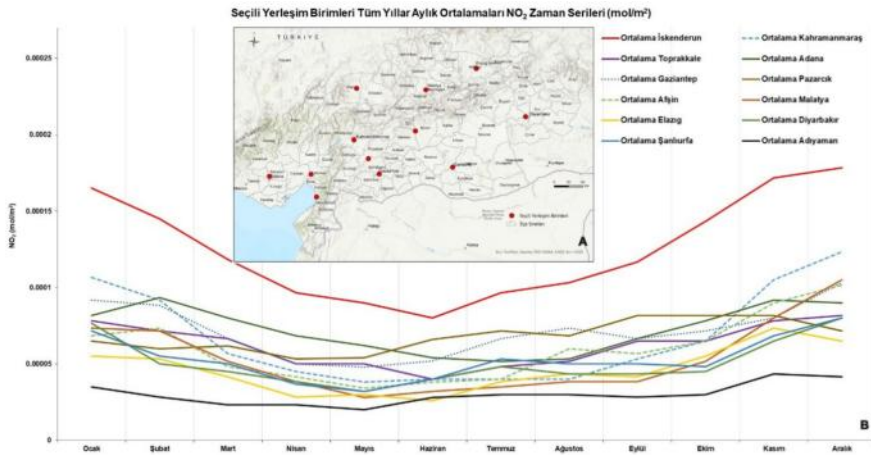
**Şekil 4.** A) 2018 Temmuz-2024 Nisan tarihleri arasında incelenen 12 lokasyon konumu B) İskenderun, Toprakkale, Adana, Gaziantep, Kahramanmaraş, Pazarcık, Afşin, Malatya, Diyarbakır, Adıyaman, Şanlıurfa, Elazığ lokasyonlarında incelenen zaman serisi grafiği.

**Figure 4.** A) Sample points that examined between July 2018 and April 2024. B) Time series graph examined in İskenderun, Toprakkale, Adana, Gaziantep, Kahramanmaraş, Pazarcık, Afşin, Malatya, Diyarbakır, Adıyaman, Şanlıurfa, Elazığ locations.

**Tablo 2.** İskenderun (İsk), Kahramanmaraş (KM), Toprakkale (TK), Adana (Ad), Gaziantep (GA), Pazarcık (P), Afşin (Af), Malatya (M), Elazığ (E), Diyarbakır (DB), Şanlıurfa (Ş) ve Adıyaman (A) örneklem konumlarında 2018-2024 yılları aylık ortalama değerleri. (Ocak – O, Şubat – Ş, Mart – M, Nisan – N, Mayıs – May, Haziran – H, Temmuz – T, Ağustos – A, Eylül – Ey, Ekim – Ek, Kasım – K, Aralık – Ar.)

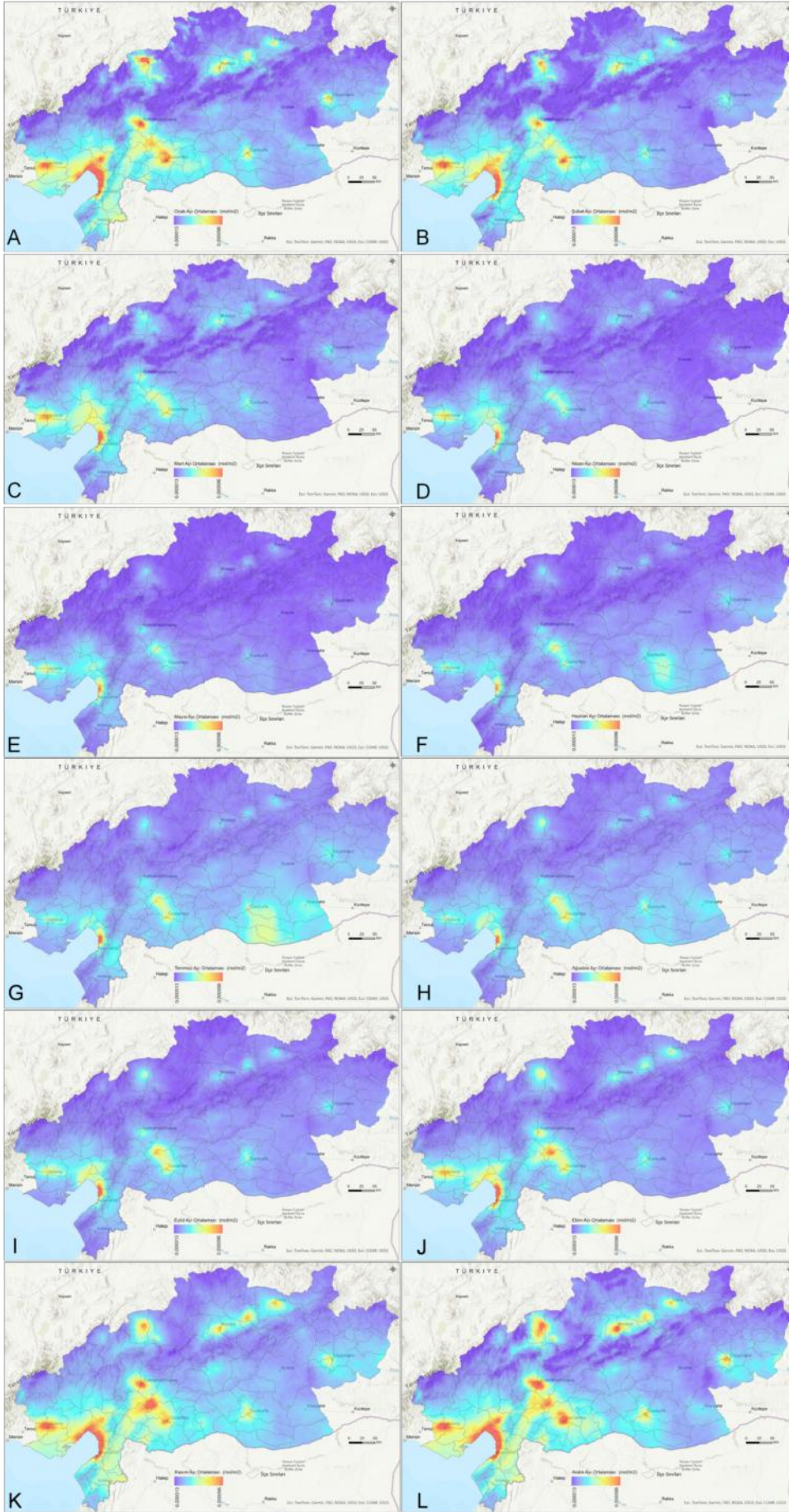
**Table 2.** Monthly average values for the years 2018-2024 in the sample locations İskenderun (İsk), Kahramanmaraş (KM), Toprakkale (TK), Adana (Ad), Gaziantep (GA), Pazarcık (P), Afşin (Af), Malatya (M), Elazığ (E), Diyarbakır (DB), Şanlıurfa (Ş) and Adıyaman (A). (January – O, February – Ş, March – M, April – N, May – May, June – H, July – T, August – A, September – Ey, October – Oct, November – K, December – Ar.)

Ay	İsk.	KM	TK	Ad	GA	P	Af	M	E	DB	Ş	A
O	0.000165	0.000107	0.000078	0.000082	0.000092	0.000065	0.000068	0.000073	0.000055	0.000077	0.000072	0.000035
Ş	0.000145	0.000092	0.000072	0.000093	0.000088	0.000060	0.000073	0.000072	0.000053	0.000050	0.000055	0.000028
M	0.000118	0.000057	0.000067	0.000080	0.000067	0.000062	0.000048	0.000052	0.000042	0.000045	0.000050	0.000023
N	0.000097	0.000045	0.000050	0.000068	0.000050	0.000053	0.000042	0.000038	0.000028	0.000038	0.000037	0.000023
May	0.000090	0.000038	0.000050	0.000062	0.000048	0.000054	0.000034	0.000028	0.000030	0.000032	0.000032	0.000020
H	0.000080	0.000040	0.000040	0.000054	0.000052	0.000066	0.000038	0.000032	0.000026	0.000040	0.000040	0.000028
T	0.000097	0.000040	0.000048	0.000052	0.000067	0.000072	0.000040	0.000035	0.000038	0.000048	0.000053	0.000030
A	0.000103	0.000040	0.000052	0.000053	0.000073	0.000068	0.000060	0.000038	0.000043	0.000043	0.000050	0.000030
Ey	0.000117	0.000053	0.000065	0.000067	0.000067	0.000082	0.000057	0.000038	0.000042	0.000043	0.000050	0.000028
Ek	0.000143	0.000065	0.000065	0.000072	0.000072	0.000082	0.000065	0.000052	0.000055	0.000045	0.000048	0.000030
K	0.000172	0.000105	0.000078	0.000092	0.000080	0.000082	0.000090	0.000080	0.000073	0.000065	0.000068	0.000043
Ar	0.000178	0.000123	0.000082	0.000090	0.000103	0.000072	0.000102	0.000105	0.000065	0.000080	0.000080	0.000042



**Şekil 5.** A) 2018 Temmuz-2024 Nisan tarihleri arasında incelenen 12 lokasyon konumu B) İskenderun, Toprakkale, Adana, Gaziantep, Kahramanmaraş, Pazarcık, Afşin, Malatya, Diyarbakır, Adıyaman, Şanlıurfa, Elazığ lokasyonlarında incelenen tarihler için aylık ortalama değerler grafiği.

**Figure 5.** A) locations of 12 point that examined between July 2018 and April 2024, B) Monthly average values chart for the İskenderun, Toprakkale, Adana, Gaziantep, Kahramanmaraş, Pazarcık, Afşin, Malatya, Diyarbakır, Adıyaman, Şanlıurfa, Elazığ locations.



**Şekil 6.** 2018 Temmuz-2024 Nisan tarihleri arasında NO<sub>2</sub> görüntü veri seti aylık ortalama görüntüleri A) Ocak, B) Şubat, C) Mart, D) Nisan, E) Mayıs, F) Haziran, G) Temmuz, H) Ağustos, I) Eylül, J) Ekim, K) Kasım, L) Aralık.

**Figure 6.** Monthly average images of NO<sub>2</sub> image dataset between July 2018 and April 2024 A) January, B) February, C) March, D) April, E) May, F) June, G) July, H) August, I) September, J) October, K) November, L) December.

2018 ve 2024 yılları arası aylık adımların %90'unda istatistiksel olarak anlamlı ve değişim trendine sahip olmayan Diyarbakır (Şekil 8A), Şanlıurfa (Şekil 8B), Kahramanmaraş (Şekil 8C) ve İskenderun (Şekil 7 ve 9) daimî sıcak nokta alanları olmuştur. Bu alanlar 2. seviye gelişmişlik düzeyleri (Şekil 1B) ile nüfusu (Şekil 1A) 350000 üzerinde olan bölgelerdir. Yapılaşma yoğunlukları yanı sıra endüstriyel üretim açısından da bölge içerisinde önemli yerleşim birimleridir.

Daimî sıcak nokta alanları içerisinde İskenderun bölgesinin nispeten düşük popülasyonu ve ılıman iklimine (kış dönemi fosil yakıt kullanımı düşüklüğü) karşın demir-çelik sanayii ve liman işletmeleri nedeniyle tüm inceleme döneminde NO<sub>2</sub> troposferik yoğunluğu fazla olduğu görülmektedir (Şekil 9).

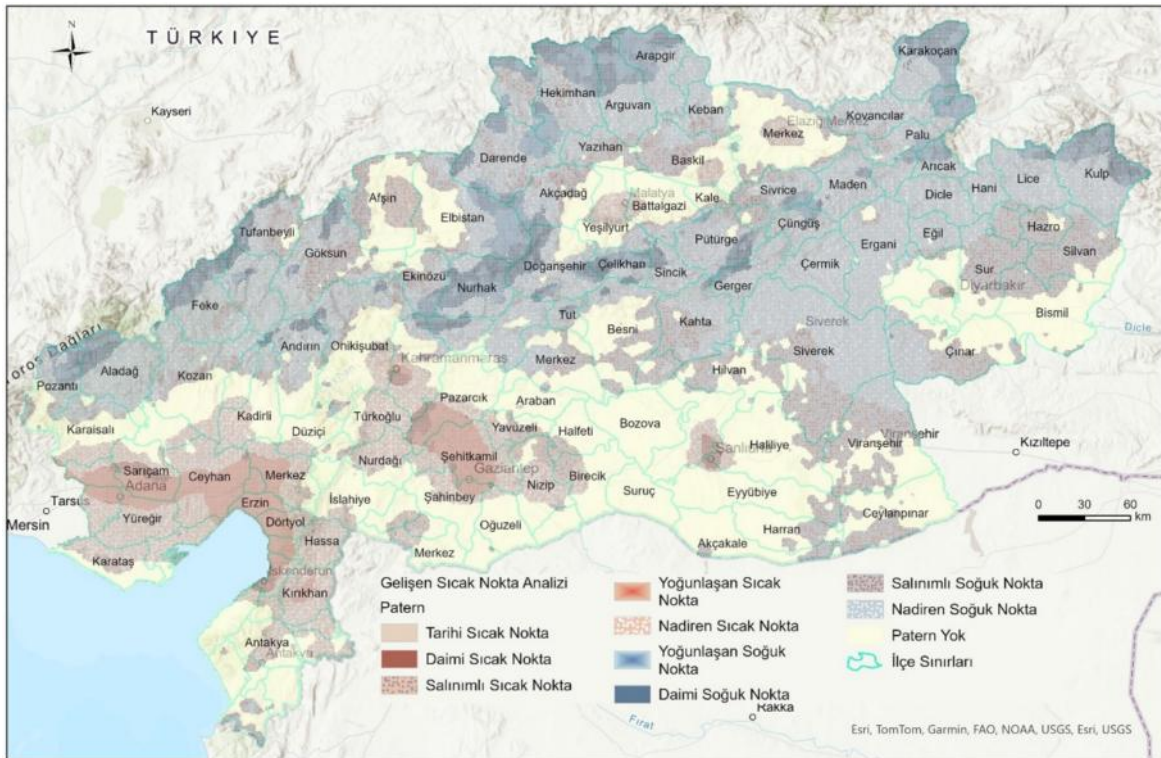
İskenderun çevresi ise hâkim rüzgâr yönünün özellikle batılı sektörlerde (Şekil 2) baskın olması ve düşük yapılaşmaya sahip ormanlık alanlar yanı sıra topografik koşulları nedeniyle nadiren sıcak nokta sınıfında yer almıştır.

Tarihi Sıcak Nokta sınıfı Diyarbakır merkezin güneyinde çok dar bir alanda (%0,003) görülmektedir (Şekil 8A, Tablo 3).

Çalışma alanında gelişmişlik seviyeleri 1 olmasına karşın Adana (Seyhan) (Şekil 8D) ve Gaziantep (Şehitkamil) (Şekil 8E) incelenen zaman aralığında istatistiksel olarak anlamlı bir artış trendine sahip Yoğunlaşan Sıcak noktalar. Nüfus ve yapılaşma yoğunluğu fazla olan bu iki yerleşmenin kent içi endüstriyel üretim oranının düşük olması yanı sıra hâkim rüzgâr yönü etkisi nedeniyle bu durumun açıklanabileceği düşünülmektedir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi (HKDY) Yönetmeliği kapsamında 2013 yılı itibarıyla faaliyete alınan Temiz Hava Eylem

Planlarının öncelikli büyükşehir statüsünde yüksek nüfus yoğunluğuna sahip Adana (7 hava kalitesi izleme istasyonu) ve Gaziantep (5 hava kalitesi izleme istasyonu) illerinde uygulamasının bu duruma katkısı söz konusudur. Bölgede nüfus oranı fazla olan Elazığ (Şekil 8F) ve Malatya (Şekil 8G) ise salınımlı ve nadiren sıcak nokta sınıfına dahil olarak bazı dönemlerde NO<sub>2</sub> yoğunluğu artmasına karşın istatistiksel olarak anlamlı bir sıcak nokta serisi devam ettirmeyen bölgelerdir.

Gelişmişlik düzeyi 2 tanımlanan Elazığ ve Malatya kentlerinde topografik koşulların ve kuzey sektörlü rüzgarların NO<sub>2</sub> yoğunluğunu azaltıcı bir etkiye sahip olması söz konusu olabilir. Gelişmişlik düzeyleri düşük olan Afşin (Şekil 8H) bölgedeki termik santral etkisi ile salınımlı sıcak nokta iken önemli bir yerleşim alanı barındırmayan Elazığ-Malatya arasında yer alan Kömürhan mevki (Şekil 8I) bölge içerisinde ulaşım yoğunluğu nispeten yüksek tünel ve köprü bağlantısının yanı sıra açık maden işletmeleri ile de salınımlı ve nadiren sıcak nokta alanları olarak sınıflanmışlardır. Çalışma alanı içerisinde diğer dikkat çeken yoğun yerleşim birimleri dışında kalmasına karşın daimî sıcak nokta olarak Pazarcık-Narlı mevkiidir (Şekil 10). Yapılaşmanın seyrek endüstriyel üretimin düşük ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu 4. seviye gelişmişlik düzeyinde yer alan Kahramanmaraş Pazarcık ilçesinin Narlı ovası bölgesinde daimî sıcak nokta alanı bu özellikleri ile diğer bölgelerden ayrılmaktadır. Narlı bölgesinin daimî sıcak nokta alanı olmasının maden alanları (taş - kum ocakları) ve çimento sanayii ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda Narlı ovasında tarım alanları için özellikle yaz dönemi anız yakma sürecinin NO<sub>2</sub> yoğunluğunda meydana getirdiği artış ile daimî sıcak nokta sınıfına dahil olmasına katkısı söz konusu olabilir.

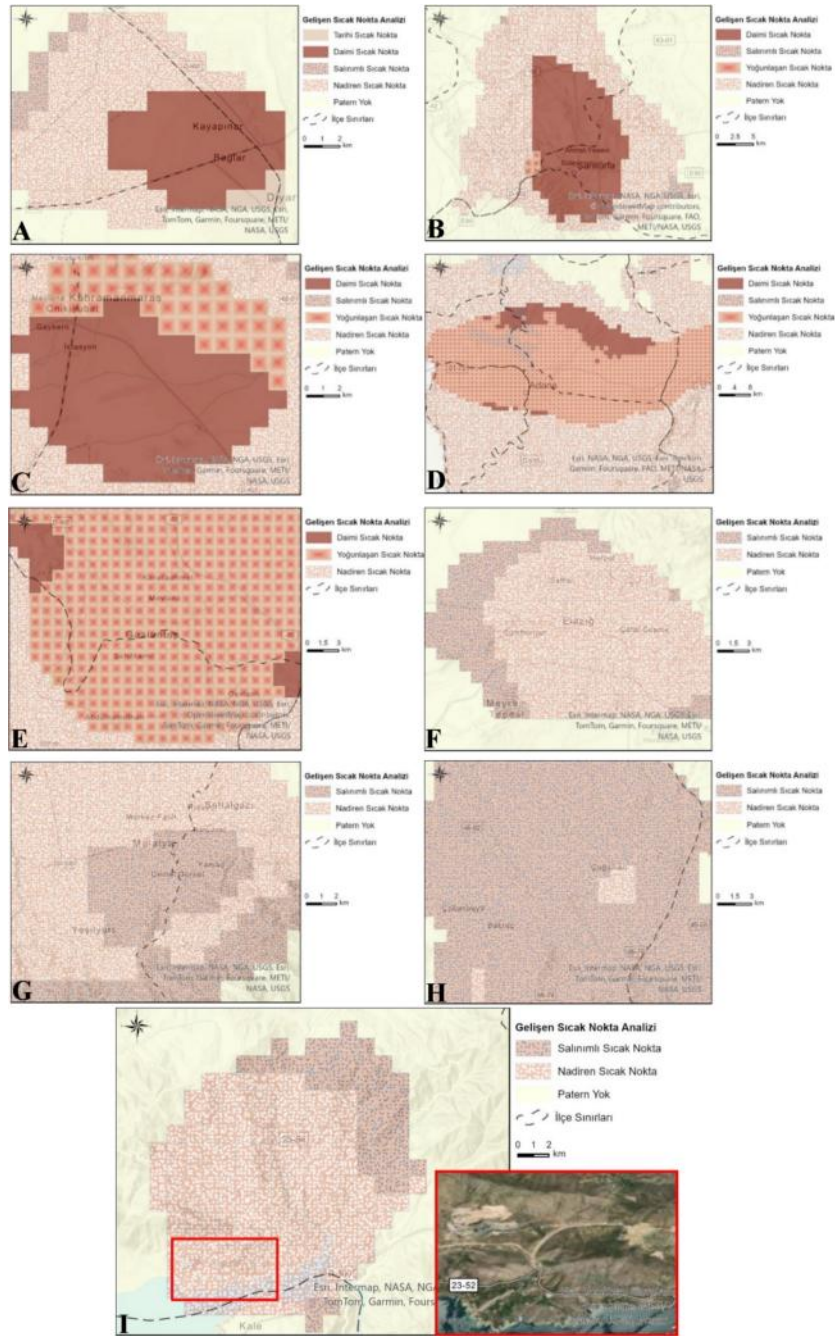


Şekil 7. 2018-2024 yılları arasında NO<sub>2</sub> veri seti Zamansal-Mekânsal Gelişen Sıcak Nokta Analiz Sonucu.

Figure 7. Resulting map of Temporal-Spatial Emerging Hot Spot Analysis of NO<sub>2</sub> data set between 2018-2024.

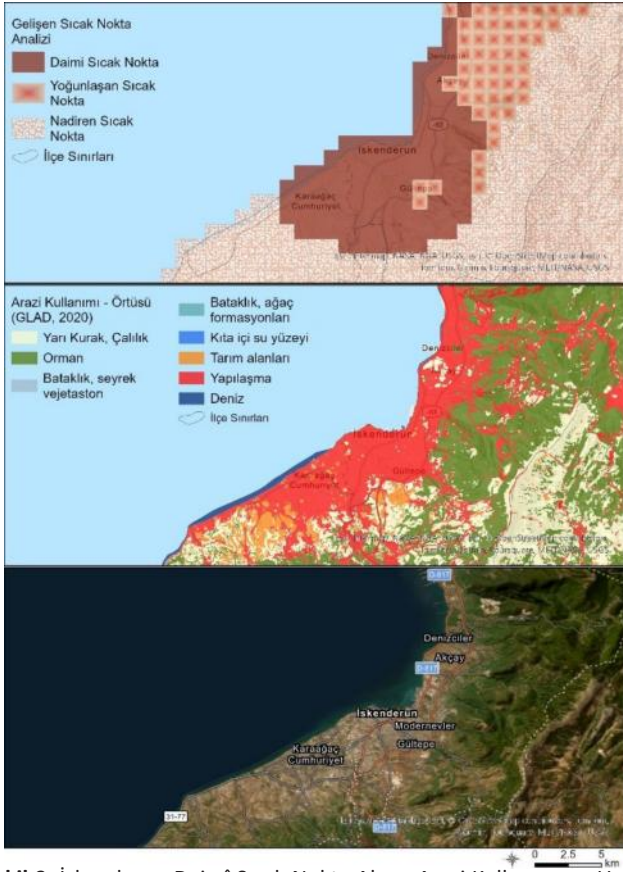
**Table 3.** Zamansal-Mekânsal Gelişen Sıcak Nokta Analiz sınıfları alansal dağılım oranları.**Table 3.** Areal distribution percentages of Temporal-Spatial Emerging Hot Spot Analysis classes.

Zamansal-Mekânsal Gelişen Sıcak Nokta Sınıfı	Dağılım Oranı (%)
Tarihi Sıcak Nokta	0.003
Daimî Sıcak Nokta	0.7
Salımlı Sıcak Nokta	2.2
Yoğunlaşan Sıcak Nokta	3.4
Yoğunlaşan Soğuk Nokta	3.5
Daimî Soğuk Nokta	5.2
Nadiren Sıcak Nokta	9.2
Salımlı Soğuk Nokta	13.7
Nadiren Soğuk Nokta	28.6
Patern yok	33.5



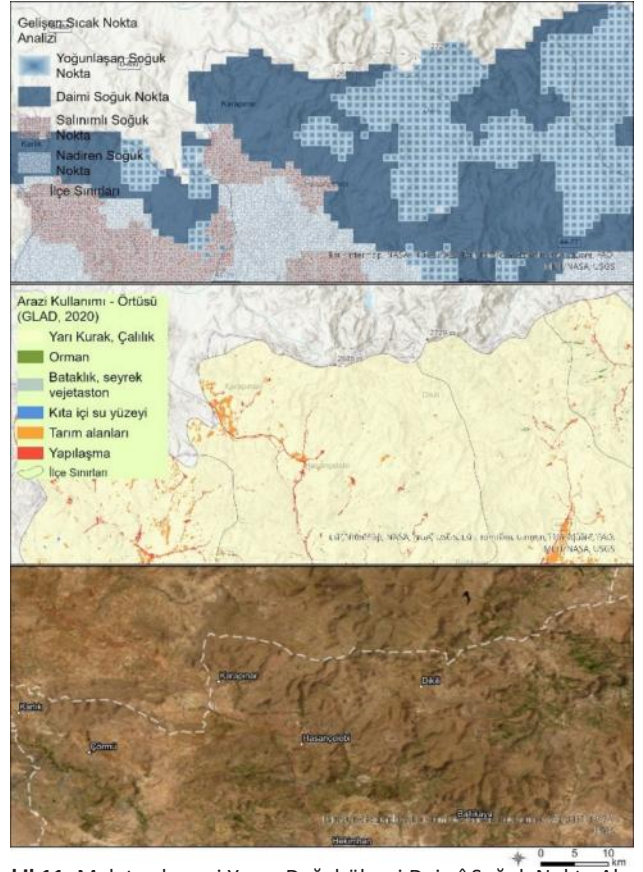
**Şekil 8.** 2018-2024 yılları arasında NO2 veri seti Zamansal-Mekânsal Gelişen Sıcak Nokta Analiz sonuçlarına göre daimî, yoğunlaşan, salımlı, nadiren sıcak nokta tespit edilen bölgeler A) Diyarbakır, B) Şanlıurfa, C) Kahramanmaraş, D) Adana, E) Gaziantep, F) Elazığ, G) Malatya, H) Afşin, I) Elazığ-Malatya bağlantısını sağlayan Kömürhan Köprüsü ve Tüneli mevkii.

**Figure 8.** Temporal-Spatial Emerging Hot Spot Analysis results of the NO2 data set between 2018-2024, the regions where permanent, intensifying, oscillating and rarely hot spots were detected are A) Diyarbakır, B) Şanlıurfa, C) Kahramanmaraş, D) Adana, E) Gaziantep, F) Elazığ, G) Malatya, H) Afşin, I) Kömürhan Bridge and Tunnel location, which provides the connection between Elazığ and Malatya.



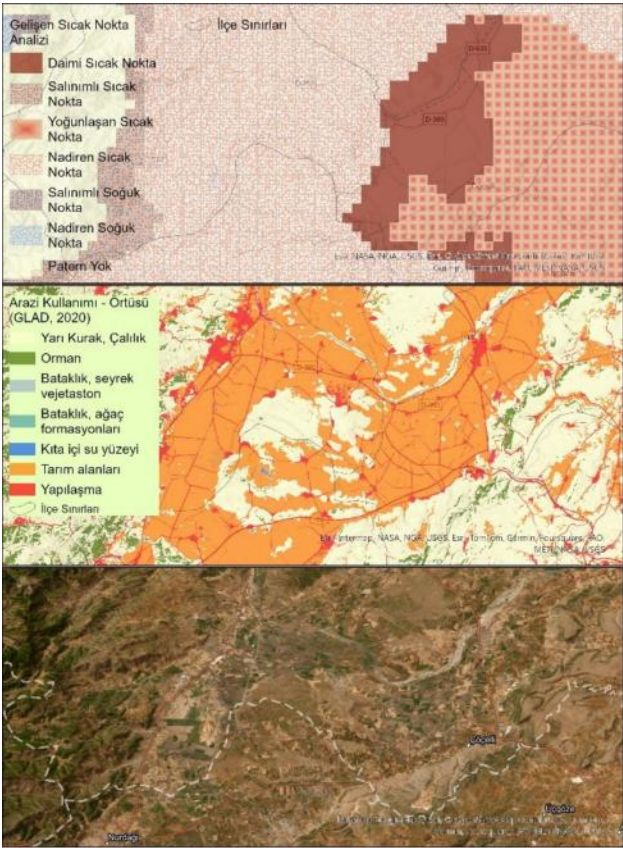
**Şekil 9.** Iskenderun Daimî Sıcak Nokta Alanı, Arazi Kullanımı ve Uydu Görüntüsü.

**Figure 9.** Iskenderun Permanent Hotspot Area, Land Use and Satellite Image.



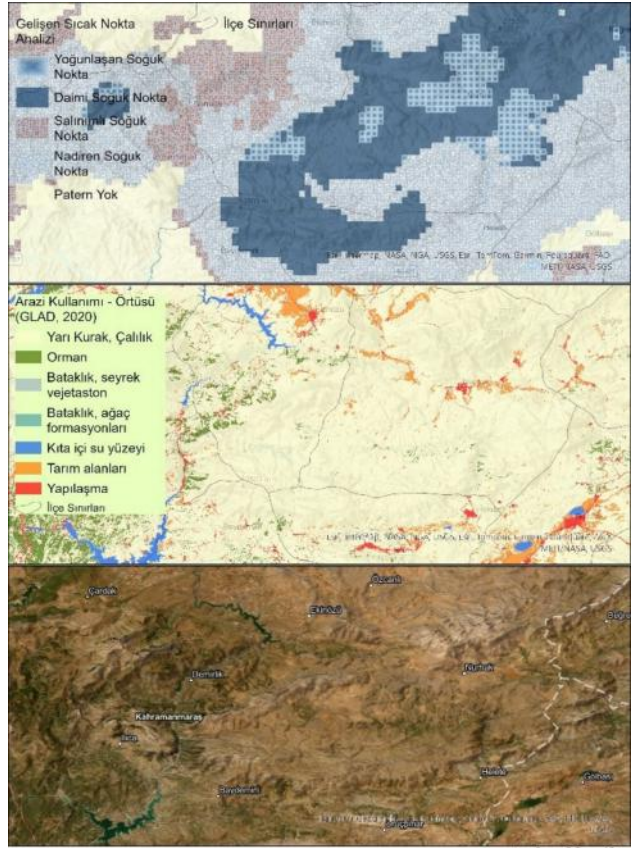
**Şekil 11.** Malatya kuzeyi Yama Dağı bölgesi Daimî Soğuk Nokta Alanı, Arazi Kullanımı ve Uydu Görüntüsü.

**Figure 11.** North of Malatya, Permanent Cold Spot Area, Land Use and Satellite Image of Yama Mountain region.



**Şekil 10.** Pazarcık Daimî Sıcak Nokta Alanı, Arazi Kullanımı ve Uydu Görüntüsü.

**Figure 10.** Pazarcık Permanent Hotspot Area, Land Use and Satellite Image.



**Şekil 12.** Engizek ve Nurhak Dağları Daimî Soğuk Nokta Alanı, Arazi Kullanımı ve Uydu Görüntüsü.

**Figure 12.** Engizek and Nurhak Mountains Permanent Cold Spot Area, Land Use and Satellite Image.



Bölgenin incelenen zaman aralığında NO<sub>2</sub> değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı azalma veya artma yönünde bir eğilim gözlemlenmediği %8'i daimî ve yoğunlaşan soğuk nokta olarak tespit edilmiştir. Daimî soğuk nokta alanlar Toroslar, Malatya kuzeyi (Şekil 11), Nurhak ve Engizek (Şekil 12), Kenger Dağları gibi dağlık bölgelerde Yoğunlaşan Soğuk noktalar ise bu bölgelerin yakın çevresini oluşturmaktadır. Nadiren Soğuk Noktalar çalışma alanının %30'unda istatistiksel olarak anlamlı, düşük NO<sub>2</sub> değeri veren çalışma alanının kuzey ve kuzeydoğu bölgelerinde tespit edilmiştir. Bu alanlarda ortak özellikler yapılaşmanın ve dolayısıyla tarım alanlarının oldukça az olması (Şekil 3), topografik olarak yükseltilerin fazla ve ortalama rüzgar hızının 1,8 m/sn üzeri ve değişken hakim rüzgar yönüne (Şekil 2) sahip olmalarıdır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma tek bir hava kirlilik parametresi (NO<sub>2</sub>) üzerinden zamansal ve mekânsal değişim trendlerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın genel amacına uygun olarak uydu verilerine dayanarak NO<sub>2</sub> hava kirliliği düzeylerini ve sıcak ve soğuk noktalar gelişen sıcak nokta analizi ile belirlenmiştir. 2018-2024 yıllarını kapsayan veri setine göre 2023 Şubat depremlerinde önemli yapısal hasar alan Antakya, Adıyaman, Malatya ve Kahramanmaraş ilçelerinde NO<sub>2</sub> troposferik yoğunluklarında önemli bir trend değişimi tespit edilmemiştir. Bu durum aynı şekilde COVID-19 pandemi dönemleri kapanmalarının etkisiyle bir azalma olmasına karşın uzun süreli aylık ortalamalar için bir azalma trendi ortaya çıkarmamaktadır. Önemli yerleşim birimleri kış sezonunda maksimumlarını sergilemek ile birlikte NO<sub>2</sub> troposferik yoğunluğunun en yüksek kaydedildiği alanlar olmaktadır. Bu yerleşim alanları içerisinde İskenderun ve Pazarcık-Narlı civarı ise gerek gelişmişlik düzeyleri gerek ise düşük nüfus yoğunluklarına karşın tüm yıl içerisinde en yoğun değerlerin görüldüğü lokasyonlar olarak tespit edilmişlerdir. Malatya, Elazığ ve Adıyaman henüz salınımlı sıcak nokta olan yerleşim merkezleri olarak daimi sıcak nokta sınıfına geçilmemesi adına, yapılaşma ve sanayileşme planlamaları öncelikli olarak bölge planlamasında bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Çalışma alanında 2018 ve 2024 zaman aralığında NO<sub>2</sub> troposferik yoğunluğunda yeni gelişen bir sıcak veya soğuk nokta tespit edilmemesi gerek arazi kullanım durumunda gerek gelişmişlik düzeyini artırıcı sanayileşme alanında büyük ölçekli bir değişimin yaşanmadığının bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. NO<sub>2</sub> troposferik yoğunluklarda ardışık ve azalan sınıfa dahil olan bir sıcak ve soğuk nokta belirlenmemesi yine araştırma periyodu içerisinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim ortaya çıkarmayan, hava kalitesini iyileştirmeye yönelik önlemlerin bir parçası olarak politikaların uygulanmaması ile ilişkilendirilebilir. Hâkim rüzgâr yönünün kuzeybatı olduğu Bağlar (Diyarbakır), Eyyübiye ve Haliliye (Şanlıurfa) ilçelerinde halk sağlığını korumak üzere yerel NO<sub>2</sub> kaynak tespiti yapılması ve azot emisyonlarını azaltıcı önlemlerin alınması önerilmektedir. Kahramanmaraş ili Onikişubat ve Dulkadiroğlu ilçelerinde hâkim rüzgâr yönünde (Kuzeybatı) bulunan sanayi bölgelerinde emisyon azaltıcı düzenlemelere gidilmesi ve daimî sıcak nokta durumlarının iyileştirici adımlar atılması gerekmektedir. 2023 depremleri ile afet bölgesi ilan edilen ve birçok mekânsal planlama sürecinin yürütüldüğü alanda planlama süreçlerine böl-

gesel hava kirliliği değerlendirmelerinin katkı sağlayabileceği görülmektedir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı web arayüzü verilerine göre çalışma alanında 124 ilçe için 7'si Adana ve 5'i Gaziantep olmak üzere toplam 23 adet hava kalitesi ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Bu hava kalitesi izleme istasyonlarının birçoğunda ise sürekli NO<sub>2</sub> parametre ölçümü gerçekleştirilmemektedir. S5P uydu verilerinin kullanıldığı çalışma sonuçlarına göre bölgede NO<sub>2</sub> salınımının gerçekleştiği ve bu nedenle hava kalitesi ölçüm istasyonlarında sürekli NO<sub>2</sub> parametresinin izlenmesi ve izleme istasyon sayısının artırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Yeni kurulacak hava kalitesi ölçüm istasyonlarının yer seçiminde sadece kent içi değil tarım alanları, sanayi bölgeleri ve önemli ulaşım kavşaklarının da dikkate alınması gerekmektedir.

Yaşam kalitesinin bir göstergesi olarak daha iyi ulaşım, ısınma, sanayi gibi refah düzeyi yükselten ideal koşullara kavuşmanın uzun vadede sağlık ve çevre problemleri oluşturan kirlilik kaynakları olarak tanımlanması paradoksu (Tonion ve Pirotti, 2022) mekânsal planlama yaklaşımlarının bir meydan okuması olarak karşımıza çıkmaktadır. Ulusal Kalkınma Planlarında ana hedefler arasında yer alan, kirletici emisyonları kaynağında azaltmak ve emisyonları yerel ve ulusal düzeyde azaltmak için en etkili önlemleri belirlemektir. Bu bağlamda zamansal-mekânsal gelişen sıcak nokta analizi özellikle popülasyonun fazla olduğu gelişmişlik düzeyini etkileyen sanayileşme ile ilgili gelişmelerin çalışma alanında NO<sub>2</sub> troposferik yoğunluklarda ortaya çıkan daimî sıcak noktalar için belirleyici bir etmen olarak tespit edilmiştir. 2023 yılı depremleri sonrasında yeniden yapılanma sürecine giren bölgede (Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye, Şanlıurfa) hava kirliliği parametrelerinin göz önünde bulundurulması açısından planlama süreçlerine katkı sağlayabileceği görülmektedir. Bölgesel ölçekte gerçekleştirilen bu çalışma sonuçlarının yerel mekânsal planlama sürecinde özellikle kent tasarımlarında doğrudan kullanılmaması önerilmektedir. Sıcak ve yoğunlaşan sıcak nokta olarak belirlenen alanlarda şehir planlama sürecine inversiyon potansiyelinin doğru tespiti ve iyileştirilmesi adına büyük ölçekli topografya, rüzgâr, sıcaklık ve kirletici kaynakların haritalandırılarak modellenmesi önerilmektedir.

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

**Yazar katkısı/Author contribution:** Çalışma konsepti ve tasarımı M. K. tarafından yapılmıştır. M. K. tarafından veriler toplanmış ve analiz edilmiştir. Yazım kısmı M. K. ve D.Ö. tarafından yapılmıştır. *The study concept and design were made by M. K. Data were collected and analyzed by M. K. Writing part was made by M. U. and D.Ö.*

**Etik Kurulu Onayı/Ethics Committee Approval:** Bu çalışma için etik kurul izni gerekmemektedir. *Ethics committee approval is not required for this study.*

## Kaynakça

- Acar, S., Şahin Cinoğlu, D., Karagöz, T., Kaygısız, G., Meydan, M. C., & Işık, M. (2022). *İlçelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması SEGE-2022 Raporu*. Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü Yayını, Sayı: 35, Araştırma Raporu Sayı: 8, Ankara.
- Alkan, A. (2018). Hava kirliliğinin ciddi boyutlara ulaştığı kentlere bir örnek: Siirt. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 641-666. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlissos/issue/41200/475981>
- Aydın, M., & Menteşe, S. (2024). Gelibolu hava kalitesinin belirlenmesi. *Environmental Toxicology and Ecology*, 4(1), 11-25. <https://doi.org/10.59838/etoxec.1346416>
- Aydın, S., Şimşek, M., Çetinkaya, G., & Öztürk, M. (2019, 20-22 Haziran). *Erinç yağış etkinlik indisi'ne göre belirlenen Türkiye iklim bölgelerinin rejim karakteristikleri*. [Kongre Sunumu] İstanbul Uluslararası Coğrafya Kongresi Bildiri Kitabı, s. 752-760, İstanbul. <https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.074>
- Boersma, K. F., Eskes, H. J., Dirksen, R. J., Van Der A, R. J., Veefkind, J. P., Stammes, P., Huijnen, V., Kleipool, Q. L., Sneep, M., Claas, J., Leitão, J., Richter, A., Zhou, Y., & Brunner, D. (2011). An improved tropospheric NO<sub>2</sub> column retrieval algorithm for the Ozone Monitoring Instrument. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(9), 1905-1928. <https://doi.org/10.5194/amt-4-1905-2011>
- Cicibiyık, A., Şarlak, N., & Üstün, D. (2019). Karaman ili hava kirliliği durumu. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 59-69. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kmujiens/issue/57687/820866>
- Cindoruk, S. (2018). Havadaki NO ve NO<sub>2</sub> Parametrelerinin Marmara temiz hava merkezi ölçümleri kapsamında incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 600-611. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.443194>
- Çınar, Ö. (2008). *Çevre kirliliği ve kontrolü*. Nobel Yayın Dağıtım.
- Çilek, M. Ü. (2022). Troposferik Nitrojen Dioksitin (NO<sub>2</sub>) COVID-19 pandemisinde mekânsal ve zamansal analizi: Adana-Mersin bölgesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(3), 581-594. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1119418>
- ESRİ. (2024, Mayıs). Emerging Hot Spot Analysis (Space Time Pattern Mining) ArcGIS Pro Resources, How emerging hot spot analysis works. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/space-time-pattern-mining/learn-moreemerging.htm>
- Faisal, M., & Jaelani, L. M. (2023). Spatio-temporal analysis of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) from Sentinel-5P imageries using Google Earth Engine changes during the COVID-19 social restriction policy in Jakarta. *Natural Hazards Research*, 3(2), 344-352. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.02.006>
- Fertelli, A. (2020). Sivas ilindeki hava kirliliğine doğal gaz kullanımının etkileri. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 18-23. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bjesr/issue/57523/766724>
- Georgoulas, A. K., van der A, R. J., Stammes, P., Boersma, K. F., & Eskes, H. J. (2019). Trends and trend reversal detection in 2 decades of tropospheric NO<sub>2</sub> satellite observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(9), 6269-6294. <https://doi.org/10.5194/acp-19-6269-2019>
- Güngör, T. (2019). *Belirli iklim sınıflandırmalarının Türkiye için karşılaştırmalı analizi*. (Tez No: 591492) [Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. [https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=eYVqJCysySdR51vqcbU90Q&no=pdkBPhoKIPxfZ\\_i3MgYEIlg](https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=eYVqJCysySdR51vqcbU90Q&no=pdkBPhoKIPxfZ_i3MgYEIlg)
- Jodhani, K. H., Gupta, N., Parmar, A. D., Bhavsar, J. D., Patel, H., Patel, D., Singh, A.D., Mishra, Um, & jee Omar, P. (2024). Synergizing google earth engine and earth observations for potential impact of land use/land cover on air quality. *Results in Engineering*, 22, 102039. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102039>
- Kara, G., Yalçınkaya, B., & Özdil, B. (2018). Konya ilinin hava kirliliğine bazı meteorolojik faktörlerin etkisi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 104-109. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ucbad/issue/38487/447121>
- Karpuzcu, P. D. (2016). *Çevre kirlenmesi ve kontrolü*. Kubbealtı Yayınevi.
- Koçman, A. (1993). *Türkiye iklimi* (No. 72). Ege Üniversitesi.
- Köse, R., & Erbaş, O. (2003). Bazı meteorolojik faktörlerin Kütahtya'daki hava kirliliğine etkisi. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, 004, 255-269. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dpufbed/issue/36325/410919>
- Liu, Z., Li, Y., Law, A., Tan, J. Y. K., Chua, W. H., Zhu, Y., Feng C.C. & Luo, W. (2024). Association between NO<sub>2</sub> and human mobility: a two-year spatiotemporal study during the COVID-19 pandemic in Southeast Asia. *Annals of GIS*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/19475683.2024.2325577>
- Makineci, H. B. (2022). İstanbul ili merkez ilçelerindeki NO<sub>2</sub> ve CO emisyonlarının uzaktan algılama ve yersel istasyon verileri kullanılarak incelenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(2), 62-74. <https://doi.org/10.51489/tuzal.1160333>
- Marc, M., Tobiszewski, M., Zabiegala, B., De La Guardia, M., & Namiesnik, J. (2015). Current air quality analytics and monitoring: A review, *Analytica Chimica Acta*, 853, 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.10.018>
- Mejía, D., Faican, G., Zalakeviciute, R., Matovelle, C., Bonilla, S., & Sobrino, J. A. (2024). Spatio-temporal evaluation of

- air pollution using ground-based and satellite data during COVID-19 in Ecuador. *Heliyon*, 10(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28152>
- MGM. (2023). *Meteorolojik parametrelerin Türkiye analizi, Türkiye ortalama rüzgâr 2023*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/2023-ortalama-ruzgar.pdf>
- Morillas, C., Alvarez, S., Pires, J. C., Garcia, A. J., & Martinez, S. (2024). Impact of the implementation of Madrid's low emission zone on NO<sub>2</sub> concentration using Sentinel-5P/TROPOMI data. *Atmospheric Environment*, 320, 120326. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120326>
- Müller, I., Erbertseder, T., & Taubenböck, H. (2022). Tropospheric NO<sub>2</sub>: Explorative analyses of spatial variability and impact factors. *Remote Sensing of Environment*, 270, 112839. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112839>
- Naveed-ul-Zafar, M. (2021). Spatio-temporal analysis of tropospheric NO<sub>2</sub> pollution during the COVID-19 pandemic lockdowns [Unpublished doctoral dissertation] Aalborg University.
- Pavelescu, A. Ş., Badea, A. C., & Croitoru, C. (2022). Analyzing air quality using GIS tools. *RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre*, 32, 75-84. [http://revcad.uab.ro/upload/53\\_838\\_pavelescu\\_badea\\_croitoru.pdf](http://revcad.uab.ro/upload/53_838_pavelescu_badea_croitoru.pdf)
- 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., 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*, 3, 856903. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>
- Sever, R. (2008). Malatya'daki hava kirliliğine coğrafi bakış. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 13(20), 59-76. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunidcd/issue/2444/30985>
- Stratoulas, D., & Nuthammachot, N. (2020). Air quality development during the COVID-19 pandemic over a medium-sized urban area in Thailand. *Science of the Total Environment*, 746, 141320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141320>
- Sünsülü, M., & Kalkan, K. (2022). Sentinel-5p uydu görüntüleri ile azot dioksit (NO<sub>2</sub>) kirliliğinin izlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(1), 1-6. <https://doi.org/10.51489/tuzal.1056261>
- Swamy, G.S.N.V.K.S.N., Erva, R. R., Pujari, M., & Kodavaty, J. (2024). An overview on patterns, monitoring, and modeling of the urban climate changes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 103625. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103625>
- Şahin, C. (1989). Hava kirliliği ve hava kirliliğini etkileyen doğal çevre faktörleri. *Atatürk Kültür Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 194-208.
- Tista, M., Gager, M., Gaisbauer, S., & Ullrich, B. (2019). *European Union Emission Inventory Report 1990–2017 under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (LRTAP)*. Publications Office of the European Union.
- Tonion, F. & Pirotti, F. (2022). Sentinel-5P NO<sub>2</sub> Data: Cross-Validation and Comparison with Ground Measurements, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B3-2022, 749–756. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-749-2022>
- Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve meteoroloji*. İstanbul: Kriter Yayınevi.
- Wieczorek, B. (2023). Air pollution patterns mapping of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, and CO derived from TROPOMI over Central-East Europe. *Remote Sensing*, 15(6), 1565. <https://doi.org/10.3390/rs15061565>
- Yavaşlı, D. D., & Ölgün, M. K. Impacts of COVID-19 pandemic on tropospheric NO<sub>2</sub> over Turkey. *Ege Coğrafya Dergisi*, 31(2), 255-264. <https://doi.org/10.51800/eecd.1109104>
- Yavaşlı, D. D., & Ulukuş, Ş. (2020). *Atmosferik tozun uzaktan algılama ile belirlenmesi*. İstanbul: Kriter Yayınevi.
- Yıldırım, U., & Korkmaz, H. (2014). Kahramanmaraş'ta coğrafi faktörlerin hava kirliliğine etkileri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 33, 389-411. <https://doi.org/10.17211/tcd.62014>
- Yılmaz, E., & Çiçek, İ. (2018). Detailed Köppen-Geiger climate regions of Turkey (Türkiye'nin detaylandırılmış Köppen-Geiger iklim bölgeleri). *Journal of Human Sciences*, 15(1), 225-242. <https://doi.org/10.14687/jhs.v15i1.5040>

## EK1

Seçilen 12 örneklem noktası için tüm veri seti aylık ortalama NO<sub>2</sub> yoğunluk değerleri.

Zaman	İskenderun	Toprakale	Adana	Gaziantep	Pazarcık	Kahramanmaraş	Afşin	Malatya	Elazığ	Diyarbakır	Şanlıurfa	Adıyaman
Jul-18	0.00009	0.00005	0.00005	0.00007	0.00006	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00005	0.00003
Aug-18	0.00011	0.00006	0.00005	0.00008	0.00007	0.00004	0.00005	0.00004	0.00004	0.00005	0.00005	0.00003
Sep-18	0.00011	0.00006	0.00007	0.00007	0.00009	0.00005	0.00005	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00003
Oct-18	0.00013	0.00007	0.00007	0.00006	0.00007	0.00006	0.00005	0.00005	0.00005	0.00004	0.00003	0.00002
Nov-18	0.00013	0.00007	0.00008	0.00006	0.00004	0.00009	0.00005	0.00007	0.00006	0.00006	0.00006	0.00003
Dec-18	0.00012	0.00006	0.00008	0.00006	0.00005	0.00009	0.00005	0.00007	0.00003	0.00007	0.00007	0.00003
Jan-19	0.00012	0.00007	0.00009	0.00008	0.00005	0.00009	0.00004	0.00007	0.00004	0.00007	0.00007	0.00003
Feb-19	0.00016	0.00006	0.00008	0.00007	0.00004	0.00007	0.00009	0.00008	0.00003	0.00004	0.00007	0.00002
Mar-19	0.00013	0.000058	0.00009	0.00007	0.00005	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00005	0.00006	0.00002
Apr-19	0.0001	0.00005	0.00007	0.00004	0.00005	0.00004	0.00003	0.00004	0.00003	0.00003	0.00004	0.00002
May-19	0.00009	0.00004	0.00006	0.00005	0.00006	0.00003	0.00002	0.00003	0.00003	0.00003	0.00004	0.00002
Jun-19	0.00008	0.00004	0.00006	0.00005	0.00007	0.00004	0.00003	0.00004	0.00002	0.00004	0.00004	0.00003
Jul-19	0.00009	0.00003	0.00005	0.00006	0.00006	0.00004	0.00004	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00003
Aug-19	0.00009	0.00004	0.00005	0.00006	0.00005	0.00003	0.00006	0.00003	0.00004	0.00004	0.00004	0.00003
Sep-19	0.0001	0.00005	0.00006	0.00006	0.00008	0.00005	0.00006	0.00003	0.00004	0.00004	0.00005	0.00002
Oct-19	0.00012	0.000046	0.00007	0.00006	0.00007	0.00006	0.00006	0.00005	0.00005	0.00004	0.00004	0.00003
Nov-19	0.00013	0.00008	0.00009	0.00008	0.00007	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00007	0.00007	0.00005
Dec-19	0.00019	0.00009	0.00011	0.00013	0.00009	0.00016	0.00011	0.00011	0.00004	0.00007	0.00007	0.00005
Jan-20	0.00015	0.00006	0.00007	0.0001	0.00005	0.00009	0.00003	0.00008	0.00004	0.00006	0.00006	0.00002
Feb-20	0.0001	0.00005	0.00008	0.00005	0.00006	0.00005	0.00004	0.00005	0.00004	0.00005	0.00004	0.00002
Mar-20	0.00013	0.00007	0.00008	0.00005	0.00007	0.00006	0.00004	0.00006	0.00005	0.00004	0.00005	0.00003
Apr-20	0.00008	0.00004	0.00006	0.00003	0.00005	0.00003	0.00003	0.00004	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002
May-20	0.00007	0.00004	0.00005	0.00004	0.00004	0.00003	0.00002	0.00002	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002
Jun-20	0.00006	0.00004	0.00005	0.00005	0.00006	0.00004	0.00003	0.00003	0.00003	0.00004	0.00004	0.00003
Jul-20	0.00009	0.00005	0.00005	0.00006	0.00007	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00003
Aug-20	0.00011	0.00005	0.00006	0.00007	0.00008	0.00004	0.00006	0.00004	0.00005	0.00004	0.00006	0.00003
Sep-20	0.0001	0.00005	0.00006	0.00007	0.00007	0.00005	0.00005	0.00004	0.00005	0.00004	0.00005	0.00003
Oct-20	0.00012	0.00006	0.00007	0.00007	0.00009	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006	0.00005	0.00005	0.00003
Nov-20	0.00018	0.00007	0.00008	0.00007	0.00007	0.00011	0.0001	0.00007	0.00008	0.00005	0.00006	0.00005
Dec-20	0.00016	0.00009	0.00007	0.0001	0.00006	0.00013	0.00012	0.0001	0.00008	0.00009	0.00007	0.00004
Jan-21	0.00018	0.00008	0.00008	0.00008	0.00007	0.00013	0.00009	0.00014	0.00012	0.00011	0.00008	0.00005
Feb-21	0.00021	0.00009	0.00009	0.0001	0.00006	0.00013	0.00005	0.00007	0.00006	0.00005	0.00004	0.00002
Mar-21	0.00012	0.00008	0.00009	0.00009	0.00008	0.00007	0.00006	0.00007	0.00004	0.00005	0.00005	0.00002
Apr-21	0.00011	0.00005	0.00007	0.00006	0.00005	0.00005	0.00004	0.00003	0.00003	0.00004	0.00004	0.00002
May-21	0.00008	0.00005	0.00006	0.00005	0.00007	0.00004	0.00004	0.00003	0.00003	0.00004	0.00003	0.00002
Jun-21	0.00007	0.00004	0.00005	0.00005	0.00007	0.00004	0.00005	0.00003	0.00003	0.00004	0.00004	0.00003
Jul-21	0.00009	0.00005	0.00005	0.00007	0.00008	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00005	0.00003
Aug-21	0.0001	0.00006	0.00006	0.00008	0.00008	0.00005	0.00008	0.00004	0.00005	0.00004	0.00005	0.00003
Sep-21	0.0001	0.00006	0.00007	0.00007	0.00008	0.00005	0.00006	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00003
Oct-21	0.00014	0.00007	0.00008	0.00008	0.0001	0.00007	0.00009	0.00005	0.00006	0.00005	0.00007	0.00004
Nov-21	0.00021	0.00009	0.00012	0.0001	0.00014	0.00012	0.00013	0.00008	0.00009	0.00007	0.00008	0.00005
Dec-21	0.00013	0.00007	0.00008	0.00012	0.00008	0.0001	0.0001	0.00013	0.0001	0.0001	0.00011	0.00005
Jan-22	0.00012	0.00008	0.00008	0.00006	0.00007	0.0001	0.00007	0.00004	0.00003	0.00008	0.00007	0.00004
Feb-22	0.00018	0.00008	0.00013	0.0001	0.00005	0.00012	0.00016	0.00012	0.00006	0.00007	0.00006	0.00004
Mar-22	0.00014	0.00005	0.00008	0.00007	0.00008	0.00005	0.00006	0.00004	0.00002	0.00005	0.00005	0.00003
Apr-22	0.0001	0.00005	0.00007	0.00006	0.00006	0.00005	0.00007	0.00004	0.00002	0.00005	0.00004	0.00003
May-22	0.00011	0.00005	0.00008	0.00005	0.00006	0.00005	0.00007	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002

---




Jun-22	0.00009	0.00004	0.00006	0.00005	0.00007	0.00004	0.00006	0.00003	0.00003	0.00004	0.00004	0.00003
Jul-22	0.00009	0.00005	0.00005	0.00006	0.00008	0.00004	0.00005	0.00003	0.00004	0.00005	0.00006	0.00003
Aug-22	0.00011	0.00004	0.00005	0.00007	0.00006	0.00004	0.00008	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00003
Sep-22	0.00013	0.00008	0.00007	0.00006	0.00008	0.00006	0.00007	0.00004	0.00004	0.00004	0.00005	0.00003
Oct-22	0.00015	0.00006	0.00008	0.00008	0.00008	0.00007	0.00007	0.00004	0.00005	0.00004	0.00005	0.00003
Nov-22	0.00017	0.00008	0.00009	0.0001	0.00008	0.00012	0.00011	0.00007	0.00007	0.00007	0.00007	0.00004
Dec-22	0.00025	0.00009	0.00011	0.00011	0.00006	0.00014	0.00011	0.00009	0.00006	0.00007	0.00007	0.00003
Jan-23	0.00018	0.0001	0.0001	0.0001	0.00007	0.00014	0.00009	0.00004	0.00005	0.00008	0.00007	0.00003
Feb-23	0.00006	0.00008	0.00008	0.00009	0.00005	0.00008	0.00003	0.00004	0.00007	0.00005	0.00006	0.00004
Mar-23	0.00007	0.00006	0.00007	0.00006	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00004	0.00004	0.00004	0.00002
Apr-23	0.00009	0.00006	0.00006	0.00005	0.00003	0.00004	0.00002	0.00004	0.00002	0.00004	0.00003	0.00002
May-23	0.0001	0.00006	0.00006	0.00005	0.00004	0.00004	0.00002	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003	0.00002
Jun-23	0.0001	0.00004	0.00005	0.00006	0.00006	0.00004	0.00002	0.00003	0.00002	0.00004	0.00004	0.00002
Jul-23	0.00013	0.00006	0.00006	0.00008	0.00008	0.00004	0.00003	0.00003	0.00004	0.00005	0.00006	0.00003
Aug-23	0.0001	0.00006	0.00005	0.00008	0.00007	0.00004	0.00003	0.00004	0.00004	0.00005	0.00006	0.00003
Sep-23	0.00016	0.00009	0.00007	0.00007	0.00009	0.00006	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00003
Oct-23	0.0002	0.00007	0.0001	0.00008	0.00008	0.00007	0.00006	0.00006	0.00006	0.00005	0.00005	0.00003
Nov-23	0.00021	0.00008	0.00009	0.00007	0.00009	0.0001	0.00006	0.0001	0.00005	0.00007	0.00007	0.00004
Dec-23	0.00022	0.00009	0.00009	0.0001	0.00009	0.00012	0.00012	0.00013	0.00008	0.00008	0.00009	0.00005
Jan-24	0.00024	0.00008	0.00007	0.00013	0.00008	0.00009	0.00009	0.00007	0.00005	0.00006	0.00008	0.00004
Feb-24	0.00016	0.00007	0.0001	0.00012	0.0001	0.0001	0.00007	0.00007	0.00006	0.00004	0.00006	0.00003
Mar-24	0.00012	0.00006	0.00007	0.00006	0.00006	0.00007	0.00004	0.00005	0.00004	0.00004	0.00005	0.00002
Apr-24	0.0001	0.00006	0.00008	0.00006	0.00008	0.00006	0.00006	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004	0.00003

---



# İklim değişikliğine bağlı olarak zeytinin (*Olea europaea* L.) Türkiye'de gelecekteki dağılımının modellenmesi ve uyum stratejileri üzerine bir inceleme<sup>1</sup>

Review on modeling and adaptation strategies of the future distribution of olives (*Olea europaea* L.) in Türkiye depending on climate change<sup>1</sup>

Muhammed Mustafa Özdel<sup>a\*</sup>  Beyza Ustaoglu<sup>b</sup>  İsa Cürebal<sup>c</sup> 

<sup>a</sup> Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Balıkesir, Türkiye.

<sup>b</sup> Sakarya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Sakarya, Türkiye.

<sup>c</sup> Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Balıkesir, Türkiye.

ORCID: M.M.Ö. 0000-0003-0715-4566; B.U. 0000-0002-9876-3027; İ.C. 0000-0002-3449-1595

## BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 29.07.2024

Kabul/Accepted: 26.08.2024

### Anahtar Kelimeler:

Zeytin

İklim Değişikliği

Uyum Stratejisi

Tür Dağılım Modeli

MaxEnt

### Keywords:

*Olea europaea* L.

Climate Change

Adaptation Strategy

Species Distribution Model

MaxEnt

### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(M. M. Özdel) m.mustafaozdel@gmail.com

DOI: 10.17211/tcd.1524269



### Atıf/Citation:

Özdel, M. M., Ustaoglu, B., & Cürebal, İ. (2024). İklim değişikliğine bağlı olarak zeytinin (*Olea europaea* L.) Türkiye'de gelecekteki dağılımının modellenmesi ve uyum stratejileri üzerine bir inceleme. *Türk Coğrafya Dergisi* (86), 105-120. <https://dergi-park.org.tr/pub/tcd/article/1524269>

## ÖZ/ABSTRACT

Bu çalışma, MaxEnt modelleme aracı kullanılarak zeytinin (*Olea europaea* L.) dağılımında etkili olan biyoiklim değişkenlerini belirlemeyi ve yetiştiricilik için günümüzdeki potansiyel ile gelecekteki olası uygunluk modellerini oluşturmayı amaçlamaktadır. Günümüzdeki potansiyel habitat alanlarının belirlenebilmesi için yakın geçmişe (1970-2000) ilişkin biyoiklim değişkenleri kullanılmıştır. Gelecek tahminleri ise MRI-ESM2-0 modelinin SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 emisyon senaryolarına dayalı olarak 2041-2060 ve 2081-2100 dönemlerine ait biyoiklim değişkenlerinden yararlanılarak yapılmıştır. Modelleme sonucunda, zeytinin dağılımına en fazla katkı sağlayan değişkenlerin Bio12 (yıllık yağış), Bio7 (yıllık sıcaklık değişim aralığı) ve Bio9 (en kurak 3 ayın ortalama sıcaklığı) olduğu belirlenmiştir. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarından simüle edilen gelecek iklim modelleri, genel olarak günümüzle kıyaslandığında, uygun alanların gelecekte daha yüksek rakımlı alanlara ve kuzey yönüne doğru kayma olasılığı gösterebileceğini tahmin etmektedir. Ayrıca daha önce zeytin yetiştiriciliğine elverişsiz olan bazı alanların, gelecek dönemlerde daha uygun hale gelebileceğini öngörmektedir. Özellikle, ilerleyen yıllarda Karadeniz ve Marmara kıyılarının zeytin yetiştiriciliği için daha elverişli hale gelmesi beklenmektedir. İklim değişikliğinin zeytin üzerindeki zorlayıcı etkilerini hafifletmek ve sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla iklim değişikliğine uyum stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması önemlidir. Bu doğrultuda, çalışmada sulama ve toprak yönetimi, çeşit seçimi, hastalık ve zararlılarla mücadele, hasat teknikleri, teknoloji kullanımı ve eğitim gibi faktörler ele alınmış ve uyum stratejileri açısından değerlendirilmiştir.

*This study aims to determine the bioclimatic variables influencing the distribution of olive (*Olea europaea* L.) using the MaxEnt modeling tool and to create current potential and future suitability models for cultivation. Bioclimatic variables from the recent past (1970-2000) have been used to determine the current potential habitat areas. Future predictions have been made based on bioclimatic variables from the MRI-ESM2-0 model, using the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 emission scenarios for the periods 2041-2060 and 2081-2100. The modelling indicated that Bio12 (annual precipitation), Bio7 (annual temperature range), and Bio9 (mean temperature of the driest quarter) are the key bioclimatic variables influencing olive distribution. Future climate models simulated under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios suggest that, compared to the present, suitable areas are likely to shift toward higher altitudes and more northern latitudes in the future. Additionally, it is projected that regions previously unsuitable for olive cultivation may become more conducive in the future. In particular, it is expected that the Black Sea and Marmara coastlines will become more suitable for olive cultivation in the coming years. It is essential to develop and implement climate change adaptation strategies to mitigate the challenging impacts of climate change on olives and ensure their sustainability. In this context, the study addresses factors such as irrigation and soil management, biodiversity, pest and disease control, harvesting techniques, technology use, and education, and evaluates them in terms of adaptation strategies.*

<sup>1</sup> Bu çalışma birinci yazarın "İklim Değişikliğinin Türkiye'deki Zeytin Tarımına Etkisi: Kırılma ve Uyum Stratejilerinin Belirlenmesi" başlıklı doktora tezinin bazı bulgularını içermektedir.

<sup>1</sup> This study contains some findings from the first author's doctoral thesis titled "The Impact of Climate Change on Olive Farming in Türkiye: Identifying Vulnerabilities and Adaptation Strategies".

## Extended Abstract

### Introduction

Climate change is a major natural factor affecting biodiversity, agricultural production, and food security globally (Vermeulen et al., 2012). Increasing temperature trends, changes in precipitation regimes, and the growing frequency and severity of extreme weather events (Türkeş, 2020) pose significant challenges to ecosystems and ecological environments (Malhi et al., 2020). Studies emphasize that climate change will reshape biodiversity and species distribution (Pacifiçi et al., 2017; Örucü et al., 2024). The growth, development, distribution, and seasonal behavior of plants are governed by climatic elements. Changes in climate parameters, especially temperature and precipitation, affect plant phenology (Piao et al., 2019), geographical distribution (Parolo and Rossi, 2008), and population size (Qu, Wang, and Zhang, 2018). For example, increasing temperatures can cause phenological progression (Fraga et al., 2016) and force plants to shift from their adapted climates to higher altitudes or latitudes (Feeley et al., 2020; Muluneh, 2021). However, climate change may exceed the adaptive capacity of some plant species and cause local extinctions at the species level (Panetta, Stanton and Harte, 2018). Species Distribution Models based on climate change scenarios are widely used tools to assess the impacts of climate change on species distribution and predict habitat suitability (Booth, 2018). This study utilized the MaxEnt modelling tool to determine the current and future distribution of olive (*Olea europaea* L.) areas in Turkey under recent past and projected climate scenarios.

### Data and Method

*Olea europaea* L. constitutes the primary material of the study. A total of 512 presence records of the species were compiled from the literature and open access databases (Davis, 1978; Ustaoglu et al., 2022; GBIF, 2023). A total of 19 bioclimatic variables with 30-second spatial resolution (~1 km<sup>2</sup>) derived from temperature and precipitation data in the open access WorldClim database (<https://worldclim.org/data/index.html>) such as Bio1 (Annual mean temperature), Bio3 (Isothermality), Bio9 (Mean temperature of the driest quarter), Bio12 (Annual rainfall) and Bio15 (Rainfall seasonality) were used to identify current and potential future habitat areas. Recent data from the WorldClim database for the reference period 1970-2000 were utilized to determine the current potential distribution areas. The medium-optimistic SSP2-4.5 and pessimistic SSP5-8.5 emission scenarios representing the near future (2041-2060) and far future (2081-2100) periods of the MRI-ESM2-0 model were used to estimate the possible future distribution. During the modelling process, correlation analysis was applied to the 19 bioclimatic variables for the period 1970-2000 to address multicollinearity issues, identify the most influential variables for the model, and enhance its performance. Based on the correlation analysis result, variables with a correlation coefficient greater than 0.85 were excluded from the modeling process. To model current and potential future distributions, the maximum entropy approach was applied using MaxEnt 3.4.4 software. The contributions of bioclimatic variables to the model were assessed using the Jackknife test within MaxEnt. Comparative analysis was conducted to evaluate changes between the current potential distribution and the predicted future dis-

tributions.

### Results and Discussion

Among the 9 environmental variables used in the modelling, annual precipitation (Bio12), annual temperature range (Bio7) and the mean temperature of the driest quarter (Bio9) were found to have the highest contribution to the distribution of olives compared to other variables. The significant contribution of Bio12 (annual precipitation) to the distribution of the species has also been highlighted in several studies (Ashraf et al., 2016; Kassout et al., 2022). These findings suggest that rainfall is a limiting factor for olive distribution. According to the current potential geographical distribution model, approximately 76% of Türkiye is unsuitable for olive cultivation. Very slightly suitable areas account for 11% of the country, while 13% is classified as suitable (including suitable, very suitable, and extremely suitable). Changes in the geographical distribution of olives are anticipated under the near-future (2041-2061) and far-future (2081-2100) SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios. These scenarios generally predict that high-altitude areas currently unsuitable for olive distribution may become suitable, and the distribution may shift northward. All future scenarios predict a continuous decrease in unsuitable areas over time. It is anticipated that today's suitable and very suitable areas may expand in response to changing climatic conditions. The change analyses also reveal that the gains in suitable areas will outweigh the losses over time. The Black Sea Region is expected to experience one of the most significant increases in olive distribution under climate change scenarios. Gutierrez et al. (2009) indicated that olive cultivation in Italy could spread to higher elevations in the Apennine Mountains and the northern Po Valley due to global warming. Tanasijevic et al. (2014) reported that areas currently unsuitable for olives may become suitable in the future, with olive groves potentially moving to higher elevations and northward. Similarly, Ögütçü and Kırac (2020) predicted that olive groves in Çanakkale will shift to higher elevations in the future. In this context, the findings obtained in the literature and the findings obtained in this study are similar. Mitigating the challenging impact of climate change on olive cultivation, ensuring yield stability and sustainability of olive cultivation in commercial sense depends on effective implementation of adaptation strategies such as irrigation management, soil management, fertilisation, diversity, disease and pest control, protection from extreme weather events, pruning, planting, harvesting, use of technology and education by taking local characteristics into consideration.

### 1.Giriş

İklim değişikliği küresel ölçekte biyoçeşitliliği, tarımsal üretimi ve gıda güvenliğini etkileyen önemli doğal faktörlerden biridir (Vermeulen vd., 2012). Sıcaklığın artma eğilimi, yağış rejimindeki değişiklikler ve ekstrem hava olaylarının sıklığının ve şiddetinin artması (Türkeş, 2020), ekosistemleri ve ekolojik ortamları büyük bir zorlukla karşı karşıya bırakmaktadır (Malhi vd., 2020). İklim değişikliğinin biyoçeşitliliği ve tür dağılımını yeniden şekillendireceği araştırmalarda vurgulanmaktadır (Pacifiçi vd., 2017; Örucü vd., 2024). Bitkilerin büyüme ve gelişmesi, dağılımı ve mevsimsel davranışları iklim elemanları tarafından yönetilmektedir. İklimin özellikle sıcaklık ve yağış pa-

rametrelerinde ortaya çıkan değişiklikler bitki fenolojisini (Piao vd., 2019), coğrafi dağılımı (Parolo & Rossi, 2008) ve popülasyon büyüklüğünü (Qu vd., 2018) etkilemektedir. Örneğin artan sıcaklıklar, fenolojik evrelerde değişime neden olabilirken (Fraga vd., 2016), bitkilerin uyum sağladıkları iklimden daha yüksek rakımlara veya daha yüksek enlemlere doğru kaymalarına neden olabilir (Feeley vd., 2020; Muluneh, 2021). Bununla beraber iklim değişikliği, bazı bitki türlerinin adaptasyon kapasitesini aşabilir ve tür düzeyinde yerel yok oluşlara neden olabilir (Panetta vd., 2018). Diğer yandan, küresel ısınmanın ana nedenlerinden biri olan CO<sub>2</sub> miktarının artması, bir seviyeye kadar fotosentezin artmasına katkıda bulunarak bazı türlerin bitki büyümesi ve fizyolojisi üzerinde olumlu etki yaratabileceği de ifade edilmektedir (Fraga vd., 2021).

İklim değişikliğinin türlerin habitatları üzerindeki etkilerini mekânsal ve zamansal olarak analiz etmek, hem türlerin iklim değişikliğine verecekleri tepkileri anlamak hem de biyoçeşitliliğin etkili bir şekilde yönetimi ve korunması açısından büyük önem taşımaktadır (Hosseini vd., 2024). İklim değişikliğinin tür dağılımı üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek ve habitat uygunluğunu tahmin edebilmek için iklim değişikliği senaryolarına dayalı, tür dağılım modelleri yaygın olarak kullanılan araçlardır (Booth, 2018). Bu amaç için BIOCLIM, CLIMEX, DOMAIN, GARP, MAXENT ve Random Forest gibi farklı modelleme araçları kullanılmaktadır. MaxEnt'in alanındaki çoğu modelleme aracına kıyasla daha yüksek tahmin performansı ve avantaj sağladığı çalışmalarda ifade edilmektedir (Ahmadi vd., 2023). Maksimum entropi ilkesine göre muhtemel tür dağılım tahmini yapan MaxEnt, sıcaklık ve yağış gibi çevresel değişkenlerle birlikte sadece varlık verileri kullanarak analizler yapılabilir olması, kolay kullanım imkânı sağlaması, lokasyon verilerine bağlı çevresel hatalara karşı daha duyarsız olması (Phillips vd., 2006; Phillips, vd., 2017) ve yüksek tahmin becerisine sahip olması (Elith vd., 2006) gibi özellikler sunması, onu tür dağılım modelleri arasında popüler kılmaktadır (West vd., 2016).

Bu çalışmada MaxEnt modelleme aracı kullanılarak Türkiye'deki zeytin (*Olea europaea* L.) alanlarının mevcut dağılışı için yakın geçmiş ve gelecek iklim senaryoları altında günümüzdeki ve gelecekteki dağılışı alanları tespit edilmeye çalışılmıştır. Zeytin, Akdeniz Havzası'nın biyoendikatör türüdür (Sağlıker & Darıcı 2005; Uzun & Ustaoglu 2022) ve aynı zamanda ekonomik ve tarihi-kültürel değeri olan Akdeniz kültürlerinin sembolik bitkisidir (Carrion vd., 2010). Kültür zeytinin (*Olea europaea sativa*) Akdeniz havzasının doğusunda yer alan Levant Bölgesi'ndeki yabani zeytin ya da delicenin (*Olea europaea oleaster*) aşılmasıyla elde edildiği ve buradan Akdeniz Havzası boyunca yayıldığı ifade edilmektedir (Besnard vd., 2013). Zeytin, Türkiye'de Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden başlayarak Akdeniz, Ege, Marmara ve yer yer Karadeniz Bölgeleri'nde, Akdeniz ve bozulmuş Akdeniz iklimi ile belirli mikroklima sahalarında dağılışı gösterir (Efe vd., 2009; Efe vd., 2011; Öztürk vd., 2021). Kullanım alanı (sofralık ve yağlık tüketim, kozmetik, ilaç, el sanatları ve peyzaj gibi) zenginliğinden dolayı Türkiye ekonomisinde zeytin yetiştiriciliği önemli bir yere sahiptir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2013-2023 yılı verilerine göre, Türkiye'deki zeytin üretiminin %52'si Ege Bölgesi, %23'ü Akdeniz Bölgesi, %18'i Marmara Bölgesi ve %7'si Güneydoğu Anadolu Bölgesi tarafından karşılanmaktadır. Şehirsel olarak en fazla paya sofralık üretimde Manisa, yağlık üretimde ise Aydın ili sahiptir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2023). Akdeniz Havzası, Hü-

kümetlerarası İklim Değişikliği Paneli tarafından iklim değişikliğinin sıcak noktası olarak kabul edilir (IPCC, 2022) ve havzanın yıllık ortalama sıcaklıklarında ve sıcak hava dalgalarının sıklığında ve şiddetinde önemli artış eğilimleri öngörülmektedir (Cramer vd., 2018; Lionello & Scarascia, 2018). Akdeniz Havzası'nda yer alan Türkiye, iklim değişikliğinden önemli ölçüde etkilenecek ülkeler arasında yer almaktadır (Türkeş vd., 2016; Yavaşlı & Erat, 2023). Bu nedenle Akdeniz Havzası'nda ve dolayısıyla Türkiye'de öngörülen iklimsel değişiklikler, Akdeniz iklimine oldukça iyi uyum sağlayan zeytin ağaçlarını da etkileyerek büyük bir zorlukla karşı karşıya bırakacaktır (Kaniowski vd., 2023). Özellikle gelecek iklim senaryoları göz önüne alındığında zeytin ağaçlarının fenolojik ve fizyolojik özelliklerinde değişikliklerin meydana gelebileceği, daha şiddetli iklim değişikliği koşullarında ise habitatlarında önemli parçalanmaların veya kayıpların olabileceği düşünülmektedir (Moriondo vd., 2015; Fraga vd., 2021). Bu düşünceden yola çıkarak çalışmada aşağıdaki sorulara cevaplar aranacaktır.

- 1) Zeytinin dağılımını etkileyen biyoiklim değişkenleri nelerdir?
- 2) Yakın geçmiş (1970-2000) biyoiklim değişkenlerine göre, zeytinin Türkiye'deki potansiyel coğrafi dağılışı nasıldır?
- 3) Zeytinin MRI-ESM2-0 modeline göre, yakın gelecek (2041-2060) ve uzak gelecek (2081-2100) dönemlerini temsilen SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında gelecekteki muhtemel dağılışı alanları nasıl olacaktır?
- 4) Günümüz dağılışı alanları ile gelecekteki muhtemel dağılışı alanları nasıl değişim göstermektedir?
- 5) İklim değişikliği karşısında zeytinciliğin sürdürülebilir olması için hangi uyum stratejileri önerilebilir?

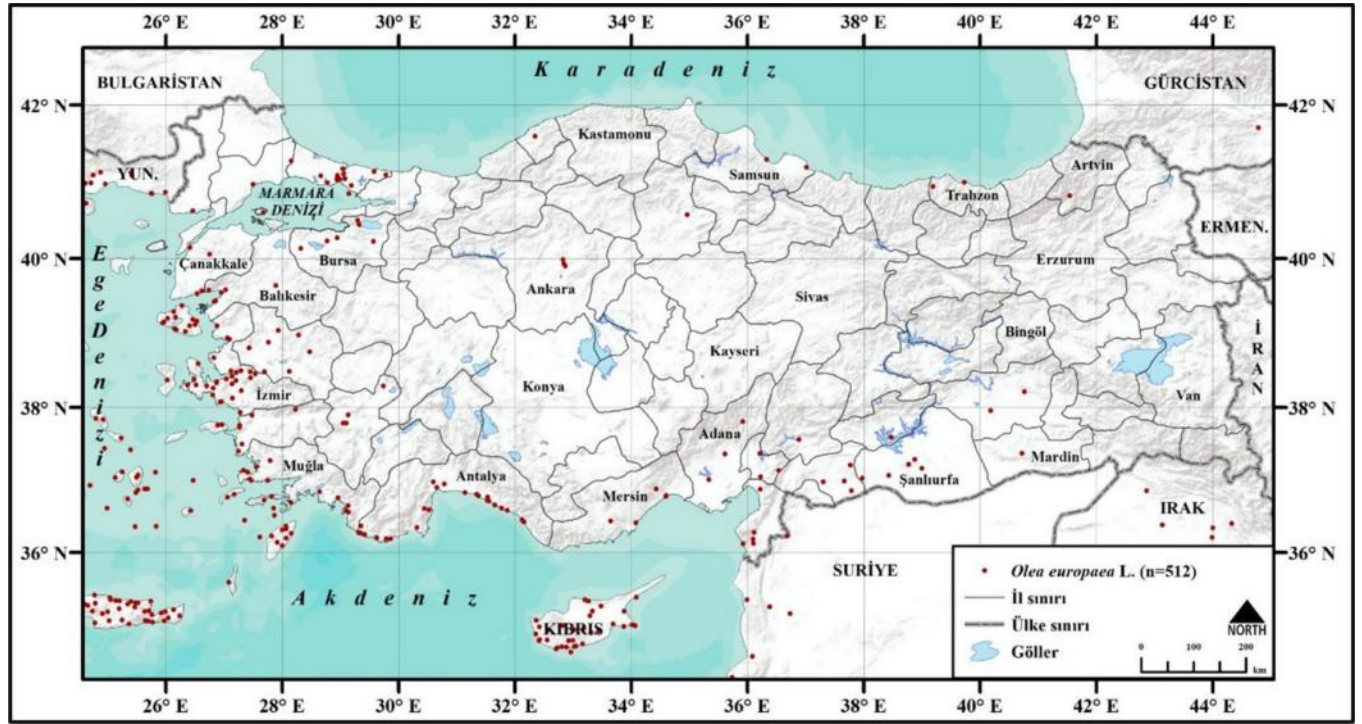
## 2. Veri ve Yöntem

### 2.1. Veri Hazırlama

Çalışmanın ana materyalini *Olea europaea* L. oluşturmaktadır. Türe ait varlık (mevcudiyet) kayıtları, literatür ve açık erişimli veri tabanı kullanılarak derlenmiştir (Davis, 1978; Ustaoglu vd., 2022; GBIF, 2023). Çalışmanın bağımlı değişkenlerini oluşturan varlık kayıtlarının büyük bir kısmı, biyolojik çeşitlilik kayıtlarının açık erişimli olarak sunulduğu Küresel Biyoçeşitlilik Bilgi Sistemi (GBIF) aracılığıyla elde edilmiştir (Koç vd., 2018; Akyol vd., 2023). Türkiye ve yakın çevresi için elde edilen varlık kayıtlarının doğruluğu, Google Earth aracılığıyla kontrol edilmiş ve hatalı kayıtlar veri setinden çıkartılmıştır. Toplamda 512 varlık kaydı, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında koordinatlandırılmış ve MaxEnt yazılımında kullanılması amacıyla .csv formatına dönüştürülmüştür (Şekil 1).

Günümüzdeki potansiyel ve gelecekteki olası habitat alanlarını tespit edebilmek için açık erişimli WorldClim (<https://worldclim.org>) veri tabanında yer alan sıcaklık ve yağış verilerinden türetilen 30 saniye mekânsal çözünürlüğe sahip (~1 km<sup>2</sup>) 19 biyoiklim değişkeni kullanılmıştır (Tablo 1). Bu bağımsız değişkenler, türler üzerinde fiziksel sınırlamalar oluşturabilecek ve coğrafi dağılımlarını etkileyebilecek sıcaklık ve yağış eğilimlerini, mevsimselliği, aşırı ve sınırlayıcı çevresel faktörleri temsil etmektedir (Örücü vd., 2024).





Şekil 1. Zeytin (*Olea europaea* L.) Türkiye ve yakın çevresindeki varlık kayıtlarının coğrafi dağılımı.

Figure 1. Geographic distribution of olive (*Olea europaea* L.) presence records in Turkey and its surrounding regions.

Tablo 1. Biyoiklim değişkenleri.

Table 1. Bioclimatic variables.

Değişken	Açıklama	Değişken	Açıklama
Bio1	Yıllık ortalama sıcaklık	Bio11	En soğuk 3 ayın* ortalama sıcaklığı
Bio2	Günlük ortalama değişim aralığı	Bio12	Yıllık yağış miktarı
Bio3	İsotermallik	Bio13	En nemli ayın yağış miktarı
Bio4	Sıcaklığın mevsimselliği	Bio14	En kurak ayın yağış miktarı
Bio5	En sıcak ayın en yüksek sıcaklığı	Bio15	Yağışın mevsimselliği
Bio6	En soğuk ayın en düşük sıcaklığı	Bio16	En nemli 3 ayın* yağış miktarı
Bio7	Yıllık sıcaklık değişim aralığı	Bio17	En kurak 3 ayın* yağış miktarı
Bio8	En nemli 3 ayın* ortalama sıcaklığı	Bio18	En sıcak 3 ayın* yağış miktarı
Bio9	En kurak 3 ayın* ortalama sıcaklığı	Bio19	En soğuk 3 ayın* yağış miktarı
Bio10	En sıcak 3 ayın* ortalama sıcaklığı		* Birbirini takip eden 3 ay

Kaynak: <https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>

Günümüzdeki potansiyel dağılış alanlarını tespit edebilmek için WorldClim veri tabanında yer alan 1970-2000 referans periyotlu yakın geçmiş verileri kullanılmıştır. Gelecekteki olası dağılış tahmin edebilmek amacıyla MRI-ESM2-0 modelinin 2041-2060 ve 2081-2100 dönemlerini temsil eden orta-iyimser SSP2-4.5 ve kötümser SSP5-8.5 emisyon senaryoları kullanılmıştır. Kullanılan senaryolarda SSP2, emisyonların azaltımı konusunda orta zorluk derecesini ifade ederken, SSP5, azaltım konusunda yüksek zorluk derecesini ifade etmektedir (Riahi vd., 2017). IPCC6 kapsamındaki CMIP6 (Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi) için geliştirilen SSP (Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar) senaryoları, IPCC5 kapsamındaki CMIP5 için değerlendirilen RCP (Temsili Konsantrasyon Rotaları) senaryolarından daha güncel ve geliştirilmiş sıcaklık ve yağış tahmin senaryolarını içermektedir (IPCC, 2013; IPCC, 2021). Bu nedenle çalışmada SSP senaryoları kullanılmıştır. Ayrıca WorldClim v2.1 veri tabanında yer alan birçok CMIP6 modeli

bu çalışmada kullanılmak üzere değerlendirilmiştir. Ancak MRI-ESM2-0 modelinin gelecek dağılış model tahminlerinin daha anlamlı sonuçlar vermesi nedeniyle çalışmada kullanılması tercih edilmiştir. MRI-ESM2-0 (Meteorological Research Institute Earth System Model version 2.0), Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Yer Sistemi Modeli'nin ikinci sürümü olarak yayınlanan, atmosfer, kara yüzeyi, okyanus, aerosoller ve atmosferik kimya bileşenlerini içeren küresel modeldir (Yukimoto vd., 2019). Çalışmada kullanılan biyoiklim değişkenleri, çalışma alanına göre kestirilmiş ve ardından modellemede kullanılabilmesi için .ascii formatına dönüştürülmüştür.

## 2.1. Modelleme

Süreçte ilk olarak çoklu bağlantı problemini giderebilmek, modele katkısı yüksek olan en uygun değişkenleri belirlemek ve modelin performansını arttırabilmek amacıyla 1970-2000 dö-

nemine ait 19 biyoiklim değişkenine korelasyon analizi uygulanmıştır (Khan vd., 2022). Analiz sonucunda korelasyon katsayısı 0,85'den büyük olan değişkenler modellemede kullanılmamak üzere süreçten elenmiştir (Koç vd., 2021). Korelasyon analizi, SDMtoolbox 2.0 adlı CBS yazılım eklentisi aracılığıyla uygulanmıştır (Brown vd. 2017).

Mevcut ve gelecekteki olası dağılımları modelleyebilmek için MaxEnt 3.4.4 yazılımıyla maksimum entropi yaklaşımı kullanılmıştır. MaxEnt'te modeller, Auto features özelliği ve rastgele seçilen 10.000 arka plan noktası kullanılarak, Cloglog çıktı formatında 15 tekrarlı olarak üretilmiştir (Phillips vd., 2006; Phillips vd., 2017; Akyol vd., 2023). Elde edilen modelin performansı, MaxEnt yazılımı aracılığıyla ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi altında kalan AUC (Area Under the ROC Curve) değeri ile belirlenmiştir (Soilhi vd., 2022). AUC değeri 0 ile 1 arasında değişir ve 1'e yakın olması oluşturulan modelin yüksek performans gösterdiğini ve tanımlayıcı olduğunu ifade etmektedir (Oliveira vd., 2010). Ayrıca elde edilen AUC değeri;  $AUC \geq 0,9$ =çok iyi,  $0,9 > AUC \geq 0,8$ =iyi ve  $AUC < 0,8$ =zayıf olarak değerlendirilmektedir (Cao vd., 2021). Kullanılan biyoiklim değişkenlerinin modele olan katkıları MaxEnt yazılımındaki Jackknife testi seçeneği işaretlenerek belirlenmiştir (Phillips, 2005). Jackknife testi ile inceleme alanında dağılışı gösteren zeytinin potansiyel dağılımını belirleyen baskın değişkenlerin hangileri olduğu belirlenebilmektedir (Li vd., 2016). Günümüz ve gelecekteki iklim değişikliği senaryoları altında üretilen modeller, CBS ortamında 5 grupta (Uygun değil, Çok az uygun, Uygun, Çok uygun ve Son derece uygun) sınıflandırılarak haritalanmıştır.

Son olarak günümüzdeki potansiyel ve gelecekte tahmin edilen olası modelleri karşılaştırmak amacıyla değişim analizi uygulanmıştır (Örücü vd., 2023). Değişim analizi sonucunda kazanılan, kaybedilen, değişime uğramayan ve değişimin olmadığı alanlar tespit edilmiş ve  $km^2$  cinsinden hesaplanmıştır. Analiz aşamasında bir üst uygunluk sınıfına geçen kazanç, bir alt uygunluk sınıfına geçen ise kayıp olarak değerlendirilmiştir. Değişim analizi için MaxEnt'te üretilen raster formatlı modeller, CBS ortamında sınıflandırılmış, poligona dönüştürülmüş ve poligona

dönüştürülen modeller çakıştırma (intersect) aracı kullanılarak analiz edilmiştir.

### 3. Bulgular

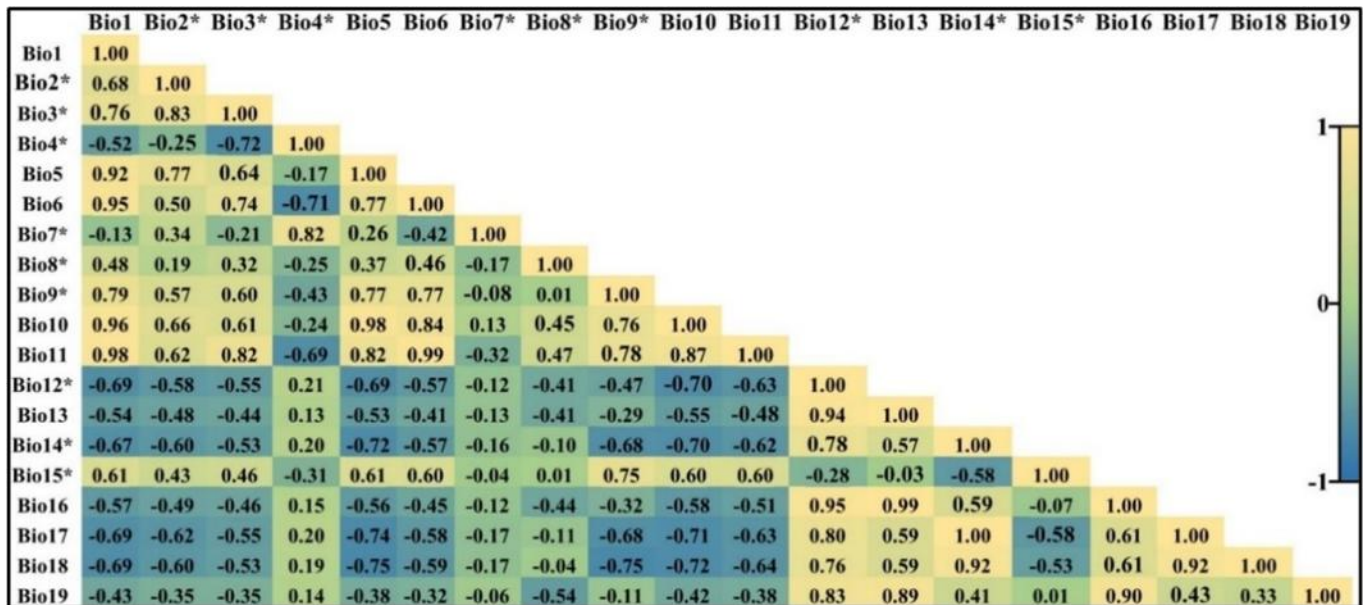
#### 3.1. Günümüzdeki ve Gelecekteki Dağılım Tahminleri

Korelasyon matrisi sonucunda, 10 çevresel değişken modelden hariç tutulmuş ve zeytinin potansiyel dağılım modelini oluşturan 9 çevresel değişken çalışmada kullanılmıştır. Bu değişkenler; Bio2 Bio3, Bio4, Bio7, Bio8, Bio9, Bio12, Bio14 ve Bio15'tir (Şekil 2).

Zeytinin coğrafi dağılımını tespit etmek amacıyla geliştirilen modelin ortalama test AUC değeri 0,933, standart sapma değeri ise 0,023 olarak bulunmuştur (Şekil 3a). Elde edilen AUC değeri, oluşturulan modelin hassas ve yüksek düzeyde tahmin performansı gösterdiğini ifade etmektedir. AUC değerinin 0,9'un üzerinde bir değerde olması, modelin tahmin doğruluğunun çok yüksek olduğunu göstermektedir (Swets, 1988). Jackknife testine göre yüzde katkısı en yüksek olan biyoiklim değişkenleri sırasıyla Bio12, Bio7 ve Bio9'dur (Tablo 2). Modelde tek başına kullanıldığında en yüksek kazancı sağlayan biyoiklim değişkeni Bio7'dir. Bio9 ise modelden çıkarıldığında kazancı en çok azaltan değişkendir (Şekil 3b).

Günümüz modeli, ülke topraklarının %76'sının zeytin için uygun olmayan alanlara karşılık geldiğini, %24'ünün ise farklı uygunluk sınıflarındaki alanlara karşılık geldiğini tahmin etmektedir (Tablo 3). Özellikle Marmara Denizi'nin güney kıyılarından başlayarak Hatay'a kadar uzanan kıyı şeridi boyunca ve Karacabey, Bursa, Bakırçay, Menemen, Gediz, Küçük ve Büyük Menderes, Acıpayam, Çukurova ve Amik ovaları gibi araziler zeytinin yayılışı için farklı uygunluk derecelerine göre uygun sahalar sunmaktadır (Şekil 4).

Yakın geleceğin (2041-2060) SSP2-4.5 senaryosuna göre, zeytinin dağılımı için uygun olmayan alanların, yaklaşık olarak %73'e, çok az uygun alanların %9'a düşeceği, diğer uygunluk derecelerine sahip alanların ise toplamda %18'e çıkacağı tah-

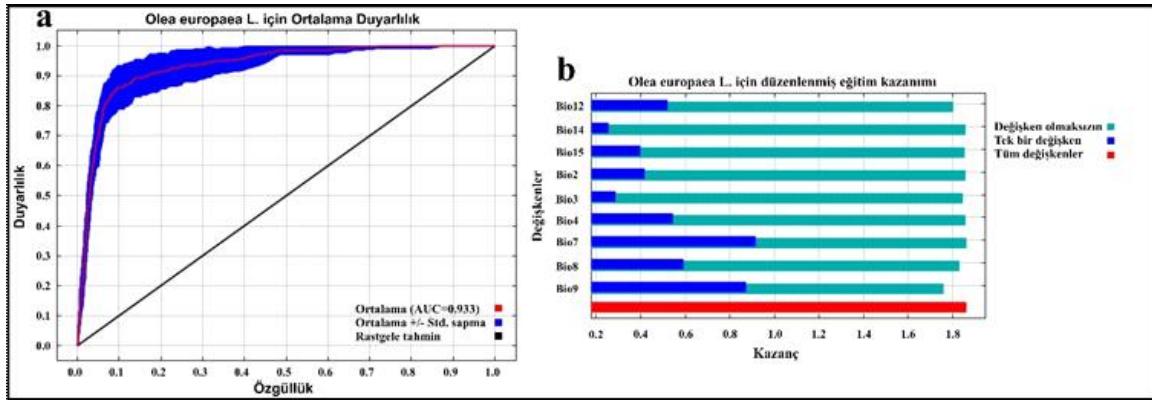
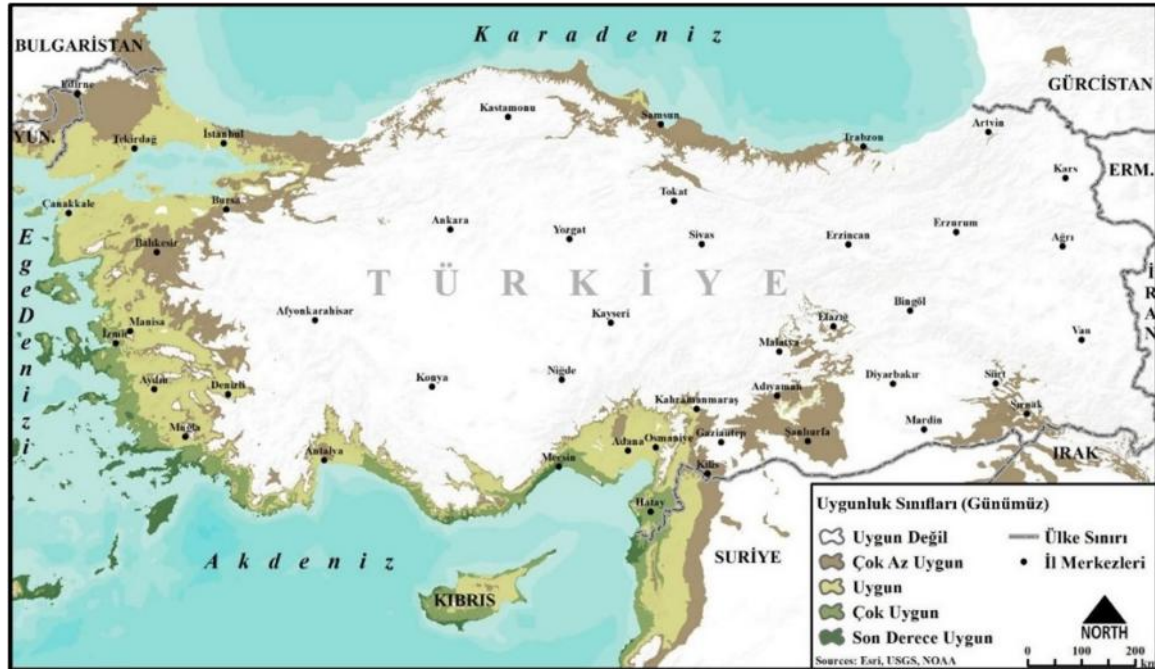


Şekil 2. Modelleme sürecinde kullanılan biyoiklimatik değişkenlerin korelasyon analizi sonuçları (\* seçilen değişkenler).

Figure 2. Correlation analysis results of bioclimatic variables used in the modeling process (\* selected variables).

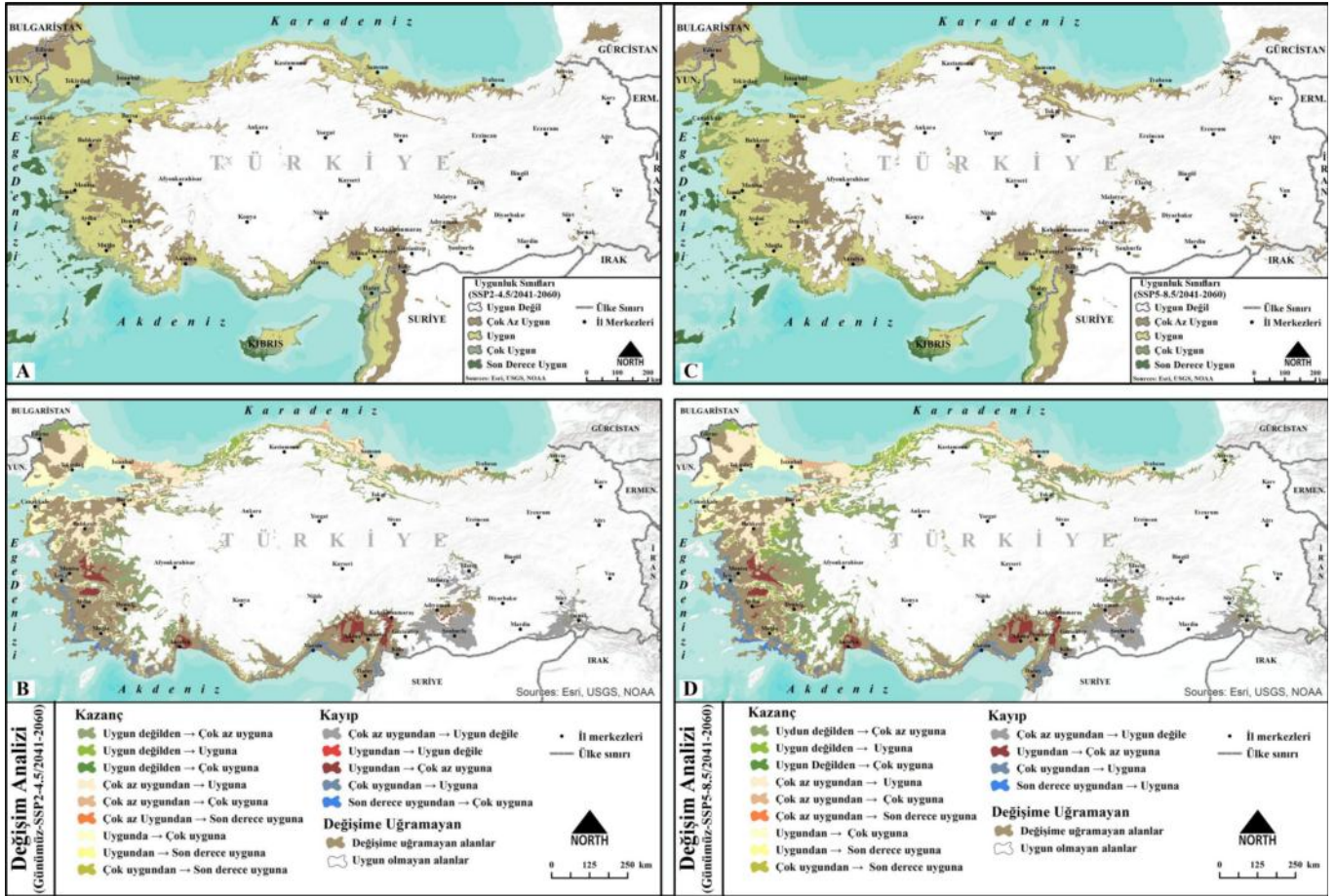
**Tablo 2.** Biyoiklim değişkenlerinin modele katkıları.**Table 2.** Contributions of bioclimatic variables to the model.

Değişken Kodu	Biyoiklim Değişkeni	Birim	Yüzde Katkı (%)
Bio12	Yıllık yağış miktarı	mm	30
Bio7	Yıllık sıcaklık değişim aralığı	°C	29,9
Bio9	En kurak 3 ayın ortalama sıcaklığı	°C	21
Bio15	Yağışın mevsimselliği	%	8,4
Bio3	İsotermallik	%	3,6
Bio8	En nemli 3 ayın ortalama sıcaklığı	°C	3
Bio4	Sıcaklığın mevsimselliği	°C	2,1
Bio2	Günlük ortalama değişim aralığı	°C	1,5
Bio14	En kurak ayın yağış miktarı	mm	0,4

**Şekil 3.** AUC değeri ve Jackknife testi sonuçları**Figure 3.** The AUC value and the results of the Jackknife test**Şekil 4.** Zeytin yetiştiriciliği için uygun alanların günümüzdeki dağılımı.**Figure 4.** The current distribution of suitable areas for olive cultivation.

min edilmektedir (Tablo 3). Bu tahminden elde edilen değişim analizine göre, yakın gelecekte kazancın %13, kaybın ise %4 civarında olacağı düşünülmektedir (Şekil 5B; Tablo 4). Yakın geleceğin kötümser senaryosu olan SSP5-8.5'a göre, uygun olmayan alanların %69'a düşeceği, çok az uygun alanların %12'ye ve diğer uygunluk sınıflarına sahip alanların ise toplamda %19'a çıkacağı öngörülmektedir. Değişim analizine göre, kazancın %18 ve kaybın ise %5 olabileceği tahmin edilmektedir

(Şekil 5D; Tablo 4). 2041-2060 döneminin orta-iyimser ve kötümser senaryoları, günümüzde zeytin yetiştiriciliğinin marjinal şartlarda yapıldığı Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde önemli ölçüde uygun olmayan alanların ortaya çıkabileceğini ve ülke genelinde günümüzde uygun olmayan bazı alanların bu senaryolar kapsamında yerini uygun sınıflı alanlara bırakabileceğini tahmin etmektedir (Şekil 5A; Şekil 5C).



**Şekil 5.** Zeytinin SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryolarına göre 2041-2060 dönemlerindeki olası dağılımı ve değişim analizi (A: SSP2-4.5-2041-2060 dönemi için olası dağılım, B: SSP2-4.5-2041-2060 değişim analizi, C: SSP5-8.5-2041-2060 dönemi için olası dağılım, D: SSP5-8.5-2041-2060 değişim analizi).

**Figure 5.** Probable distribution and change analysis of olive in the periods 2041-2060 according to SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios (A: Probable distribution for the period SSP2-4.5-2041-2060, B: SSP2-4.5-2041-2060 change analysis, C: Possible distribution for the period SSP5-8.5-2041-2060, D: SSP5-8.5-2041-2060 change analysis).

**Tablo 3.** Günümüz ve 2041-2060 dönemi tahmini dağılım alanları (km<sup>2</sup>).

**Table 3.** Current and 2041-2060 estimated distribution areas (km<sup>2</sup>).

Uygunluk Sınıfları	Günümüz	%	SSP2-4.5 2041-2060	%	SSP5-8.5 2041-2060	%
Uygun Değil	582.732	75,92	557.752	72,66	523.636	68,81
Çok Az Uygun	83.102	10,83	69.920	9,11	90.159	12,22
Uygun	75.489	9,83	99.729	12,99	115.402	14,58
Çok Uygun	20.720	2,70	34.922	4,55	34.729	3,98
Son Derece Uygun	5.555	0,72	5.275	0,69	3.672	0,41
Toplam	767.598	100	767.598	100	767.598	100

**Tablo 4.** 2041-2060 dönemi için değişim analizi (km<sup>2</sup>).

**Table 4.** Change analysis for the period 2041-2060 (km<sup>2</sup>).

Uygunluk Sınıfları	Günümüzden SSP2-4.5 2041-2060	%	Günümüzden SSP5-8.5 2041-2060	%
Kazanç	101.832	13,27	138.832	18,09
Kayıp	33.188	4,32	36.678	4,78
Değişime Uğramayan	92.588	12,06	84.617	11,02
Uygun Olmayan	539.991	70,35	507.471	66,11
Toplam	767.598	100	767.598	100

Uzak gelecek (2081-2100) SSP2-4.5 senaryosuna göre, zeytinin yayılışı için uygunluk göstermeyen arazilerin ülke genelinde yaklaşık olarak %68, çok az uygun alanların %12, uygun alanların %15 ve çok uygun alanların ise %4 oranında alan kaplayabi-

leceği tahmin edilirken, SSP5-8.5 senaryosuna göre, uygun olmayan alanların ülkede yaklaşık olarak %69, çok az uygun alanların %14, uygun alanların %14, çok uygun alanların %4 ve son derece uygun alanların ise %1 oranında alan kaplayabileceği

tahmin edilmektedir (Tablo 5). Değişim analizine göre, SSP2-4.5 senaryona göre günümüze kıyasla uzak gelecekte, %17'lik kazanç, %5'lik kayıp olabileceği, SSP5-8.5 senaryonsa göre günümüze kıyasla uzak gelecekte %20'lik kazanç, %10'luk ise kayıp olabileceği öngörülmektedir (Şekil 6B, Şekil 6D; Tablo 6).

**Tablo 5.** Günümüz ve 2081-2100 dönemi tahmini dağılım alanları (km<sup>2</sup>).

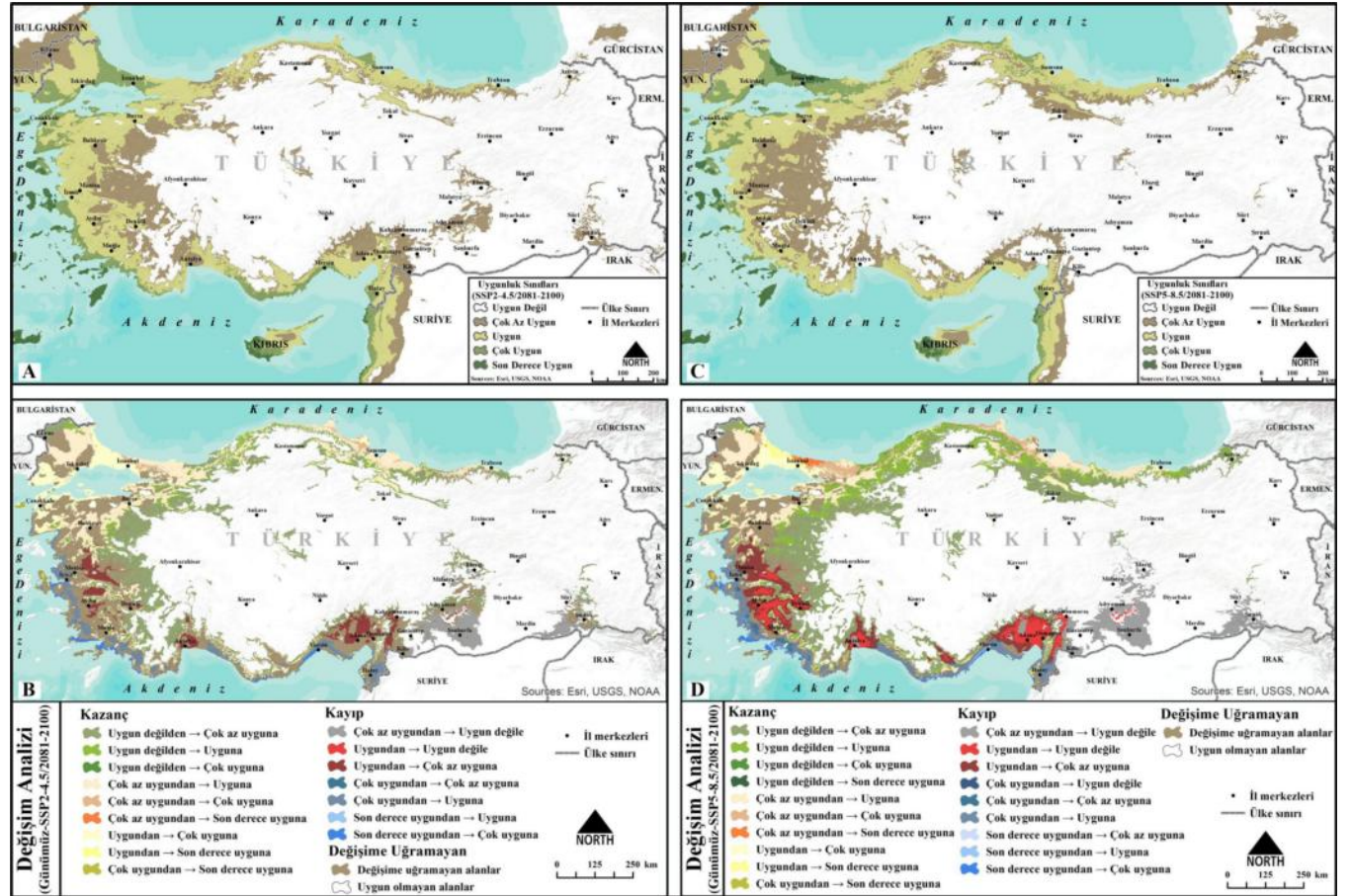
**Table 5.** Current and 2081-2100 estimated distribution areas (km<sup>2</sup>).

Uygunluk Sınıfları	Günümüz	%	SSP2-4.5 2081-2100	%	SSP5-8.5 2081-2100	%
Uygun Değil	582.732	75,92	528.146	68,22	526.489	68,59
Çok Az Uygun	83.102	10,83	93.810	11,75	103.737	13,51
Uygun	75.489	9,83	111.950	15,03	104.490	13,61
Çok Uygun	20.720	2,70	30.534	4,52	28.169	3,67
Son Derece Uygun	5.555	0,72	3.158	0,48	4.713	0,61
Toplam	767.598	100	767.598	100	767.598	100

**Tablo 6.** 2081-2100 dönemi için değişim analizi (km<sup>2</sup>).

**Table 6.** Change analysis for the period 2081-2100 (km<sup>2</sup>).

Uygunluk Sınıfları	Günümüzden SSP2-4.5 2081-2100		Günümüzden SSP5-8.5 2081-2100	
		%		%
Kazanç	129.492	16,87	149.901	19,53
Kayıp	40.408	5,26	80.097	10,43
Değişime Uğramayan	84.421	11,00	50.219	6,54
Uygun Olmayan	513.277	66,87	487.381	63,49
Toplam	767.598	100	767.598	100



### 3.2. Uyum Stratejileri

Elde edilen model sonuçları, günümüze kıyasla uygun olmayan alanların uygun alanlara dönüşebileceğini veya uygun alanların uygun olmayan alanlara dönüşebileceğini göstermektedir. Bu nedenle gelecek iklim koşulları altında zeytin yetiştiriciliğinin sürdürülebilir olması ve hem mevcut zeytin alanlarının korunması hem de önümüzdeki dönemlerde yeni kurulacak zeytin alanlarında verim istikrarının sağlanabilmesi adına uyum stratejilerinin belirlenmesi ve uygulanması son derece büyük önem ifade etmektedir. Ancak yerel özellikler ve bölgesel iklim farklılıkları ile birçok disiplini ve sektörü ilgilendirmesi nedeniyle uyum stratejilerinin belirlenmesi ve uygulanması basit bir süreç değildir. Bu çalışmada iklim değişikliği karşısında mevcut ve gelecekte, sürdürülebilir zeytin yetiştiriciliği için genel bir yargı ile uygulanabilir uyum stratejileri ele alınmıştır (Şekil 7).

#### 3.2.1. Sulama yönetimi

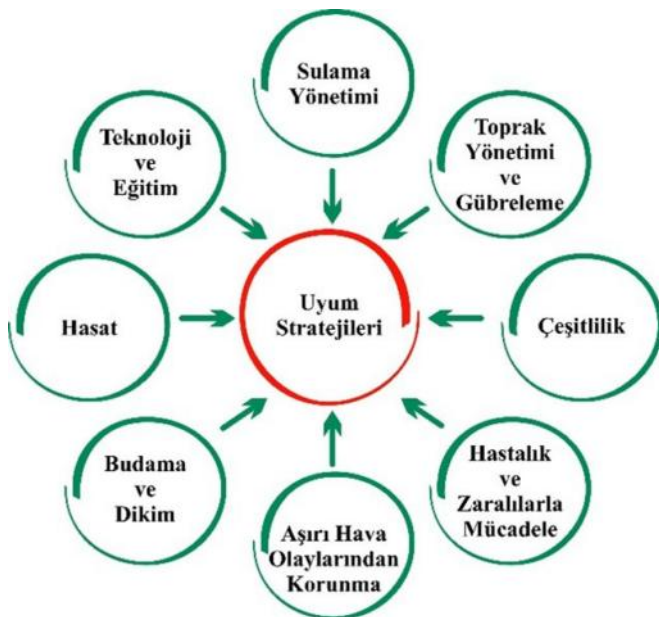
Türkiye’de yayılış gösteren zeytin bahçelerinde daha çok geleneksel olarak yağmurla beslenen koşullar altında zeytin yetiştiriciliği yapılır. Ancak, gelecekte öngörülen daha sıcak ve kurak koşulların, yağmurla beslenen ortamlarda yapılan zeytin yetiştiriciliğini olumsuz etkilemesi beklenmektedir (Tanasijevic vd., 2014; Fraga vd., 2020). Bu nedenle ideal bir verim ve ticari değeri yüksek kaliteli ürünler elde edebilmek için sulamaya olan ihtiyaç artacaktır. Kurak ortam koşullarında suyun etkin ve verimli kullanılması son derece önemlidir ve değişen iklim koşulları altında sulama yönetimi önemli bir uyum stratejisidir. Bu bağlamda, damla sulama veya yüzey altı damla sulama (International Olive Council, 2007) gibi sulama yöntemlerinin benimsenmesi ve bu yöntemlerin kısıntılı sulama stratejileri (Geerts & Raes, 2009; Lorite vd., 2018) ile birleştirilmesi, su tasarrufu sağlayarak suyun etkin ve verimli kullanılması açısından önemlidir. Kaya (2006), zeytin ağaçlarında sulamanın yapıldığı zamanın bitkiye verilen su miktarından daha önemli olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle zeytinin suya en fazla ihtiyaç duyduğu çiçeklenme, meyve tutumu ve meyve büyüme dönemlerinde sulamanın yapılması ve toprak neminin yeterli seviyede tutulması, bitkinin su sıkıntısı çekmesinin önüne geçerek hem o yılın

ürününün olumsuz etkilenmemesine hem de gelecek yılın verimine etki ederek periyodisitenin azaltılmasına olanak sağlar. Bunun yanı sıra doğru sulama, ürünün nitelik ve nicelik olarak iyileşmesine ve ticari değerinin artmasına da katkıda bulunur.

#### 3.2.2. Toprak yönetimi ve gübreleme

Toprak yönetimi, toprak verimliliği ve doğru gübreleme iklim değişikliğine uyum stratejisi kapsamında dikkate alınması gereken önemli konulardır. Değişen iklim koşullarıyla beraber toprak yapısı, toprak derinliği, tuzluluk ve alkalilik gibi faktörlerin de kötüleşebilmesi zeytin yetiştiriciliğini zorlaştırabilecek etkenlerdir. Bu nedenle gerekli toprak analizleri yaptırarak toprağın fiziki ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi, doğru toprak işleme yönteminin uygulanması ve toprağın fiziki ve kimyasal özelliklerine uygun zeytin çeşidinin tercih edilmesi sürdürülebilir zeytincilik için üzerinde durulması gereken önemli faktörlerdir. Geleneksel toprak işleme yöntemlerinin yerine toprak işlemez (sıfır toprak işleme), azaltılmış toprak işleme, bitki örtülü toprak işleme veya malçlı toprak işleme yöntemlerinin benimsenmesi iklim değişikliği karşısında önemli bir uyum stratejisidir. Zeytin ağacının budanmasından elde edilen budama artıklarının veya zeytinin işlenme aşamasında elde edilen artıklar ile diğer organik artıkların ham veya kompostlanarak toprağa bırakılması toprağın organik madde miktarının artmasına, toprakta karbon depolanmasına, toprağın doğrudan güneş ışığından etkilenmesinin engellenmesine ve dolayısıyla buharlaşma ile su kaybının azaltılmasına, yabancı otların gelişiminin ve erozyonun önlenmesine katkı sağlayabilir. Bunun yanı sıra yağışın yeterli seviyede olduğu ve su sıkıntısının olmadığı arazilerde kontrollü olarak yabancı otların gelişmesine izin veren veya doğrudan zeytin üreticisi tarafından belirli dönemlerde yetiştirilen ve kurak aylarda zeytin ağacı ile rekabeti engellemek adına ortadan kaldırılan bitkilerle özellikle su ve rüzgar erozyonunun kontrolünün sağlandığı bitki örtülü işleme yöntemi ve yıl içerisinde herhangi bir toprak manipülasyonunun olmadığı toprak işlemez yöntemin uygulanması, hem toprak muhafazası açısından hem de zeytin verimi açısından önemli etkiye sahiptir (Gómez-Muñoz vd., 2016; Kavvadias & Koubouris, 2019). Ülkemizde yer alan mevcut zeytinliklerin büyük çoğunluğu eğimli araziler üzerinde yayılış gösterir (Efe vd., 2011). Bu nedenle toprak erozyonunun önlenmesi bakımından toprak işleme yöntemlerinin doğru seçilmesi ve gerekli durumlarda ise teraslamanın yapılması oldukça önem arz etmektedir (Akça Uçkun, 2022).

İklim değişikliği nedeniyle sıcaklık ve yağış rejimindeki değişiklikler, aşırı hava olaylarının sıklığının ve şiddetinin artması gibi zeytin ağaçları üzerinde stres unsuru oluşturabilecek ve dayanıklılığı olumsuz etkileyebilecek çevresel faktörlere karşı, doğru ve etkili bir gübrelemeyle direnç sağlanabilir. Gübreleme, zeytin ağaçlarında sağlıklı bir şekilde büyümeyi, çiçeklenmeyi ve meyve tutumunu etkileyerek ağaçlarda daha verimli ve kaliteli ürün alınmasını sağlarken, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığın gelişmesi açısından da önemlidir. Doğru bir gübreleme programı ağaç için olumlu etki yaptığı gibi toprak verimliliğinin sağlanması ve toprak sağlığının korunması açısından da önemlidir. Bu nedenle değişen iklim koşullarına karşı sürdürülebilirliğin sağlanması, istikrarlı bir üretkenlik ve çevresel şartlara direnç ve uyumda gübreleme etkili bir faktördür.



Şekil 7. Sürdürülebilir zeytin yetiştiriciliği için uyum stratejileri.  
Figure 7. Adaptation strategies for sustainable olive cultivation.

### 3.2.3. Çeşitlilik

Zeytinciliğin iklim değişikliği karşısında başarılı bir şekilde sürdürülebilmesi için yerel ekolojik şartlara iyi uyum sağlamış, yüksek sıcaklık, kuraklık ve aşırı hava olaylarına dayanıklı, hastalık ve zararlılara karşı toleranslı, periyodisitesi az, ticari değeri yüksek kaliteli ürünler verebilen çeşitlerin tercih edilmesi önemli bir uyum stratejisidir. Türkiye’de kendi kanıtlamış zeytin çeşitlerinin yanı sıra küresel anlamda da kendini kanıtlamış çeşitlerin küçük alanlarda denemelerinin yapılarak verim ve kalite başarılarının test edilmesi, yeni adaptif çeşitlerin üretilmesi, farklı ekolojik koşullara uyum sağlayabilen geniş bir genetik çeşitliliğin kullanılması ticari zeytin yetiştiriciliği üzerindeki iklim değişikliği baskını azaltabilir.

### 3.2.4. Hastalık ve zararlılarla mücadele

Hastalık ve zararlıların coğrafi yayılışı, biyolojik döngüleri, zararlılık dereceleri değişen iklim şartlarıyla beraber değişiklik gösterebilir. Bu değişiklikler zeytin yetiştiriciliğinde bir tehdit ortamı oluşturabildiği gibi yeni yönetim zorluklarının da ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle hastalık ve zararlılara karşı biyolojik, kimyasal ve kültürel önlemleri içerisinde barındıran etkili bir mücadele stratejisinin benimsenmesi gerekmektedir. Doğru arazi seçimi, sulama yönetimi, toprak işleme, dikim, budama ve hasat teknikleri ile dengeli gübreleme ve yerel ekolojik şartlara uygun isabetli çeşit seçimi hastalık ve zararlılarla mücadele kapsamında dikkate alınması gereken önemli işlemlerdir.

### 3.2.5. Aşırı hava olaylarından korunma

Zeytin yetiştiriciliğinde yüksek sıcaklık, kuraklık, fırtına, yağışın şekli (yağmur, kar ve dolu) ve yüksek güneş radyasyonunun neden olabileceği olumsuz etkiler uyum stratejilerini gerekli kılmaktadır. Düşük sıcaklıkların neden olduğu kısa süreli donlara karşı bakır spreylerinin kullanılabilmesi önerilmektedir (Fraga vd., 2021) ve yeni kurulacak zeytin tesislerinin don tehlikesinden uzak olması önemlidir. Bununla beraber kurak aylarda ağaç üzerinde oluşabilecek su stresini baskılayabilmek adına kaolin spreylerin kullanılması tavsiye edilmektedir (Brito vd., 2018). Özellikle yağışın zeytin ağacının ihtiyacı olan suyu karşılayacak kadar düşmemesi durumunda suyun mutlaka sulama suyu şeklinde doğru sulama yöntemi kullanılarak ağaçlara verilmesi ağaç ve meyve sağlığı ile verim açısından son derece önemlidir. Ağaçların yüksek güneş radyasyonundan korunması adına ağaç gövdeleri kireç ile boyanabilir veya geçici gölgelikler kurulabilir. Doğrudan rüzgarlara açık olan arazilerde rüzgarların şiddetini azaltacak ağaçlar dikilebilir veya rüzgâr kırınlar inşa edilebilir.

### 3.2.6. Budama ve dikim

Budama yaprak/kök veya yaprak/odun oranları arasındaki bozulmuş dengeyi tekrar sağlamak, ağaç sağlığını korumak, periyodisiteyi azaltarak istikrarlı verim elde edebilmek ve meyvenin ticari kalitesini yükseltmek bakımından önemlidir (Gürel, 2006). Aynı zamanda iyi bir ışık dağılımı ve ışıktan en iyi şekilde yararlanmak, yaprakların hava almasını sağlamak, sürgünlerin gelişimini artırmak, hastalık ve zararlıların ağaç üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerin yayılımını azaltmak için budama, zeytin ağaçlarında gerekli olan bir kültür işlemidir. Bu nedenle sürdürülebilir zeytin yönetimine budamanın önemli katkısı var-

dır (Michalopoulos vd., 2020). Budama ile ağaca verilecek şekil, kuraklık stresinin yönetilmesinde ve hayatta kalma başarısının artırılmasında etkili bir stratejidir (Efe vd., 2011).

Dikim teknikleri de iklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle mücadelede önemli bir stratejidir. Son yıllarda dünyanın farklı coğrafyalarında geleneksel dikim tekniklerinin (hektar başına 200’den daha az ağaç) yanı sıra yerel ortam koşullarının izin verdiği zeytin plantasyonlarında sık dikim (hektar başına 300-400 ağaç) ve süper sık dikim (hektar başına 1200’den fazla ağaç) teknikleri uygulanmaya başlanmıştır (Russo vd., 2015). Bu modern dikim teknikleri daha kısa zamanda daha yüksek verim elde edilmesini sağlayarak iklim değişikliğinin sektör üzerindeki baskısını azaltmada önemli bir avantaj sağlamaktadır. Geleneksel dikim yöntemlerine göre makineli hasada imkân sağlaması, bu nedenle de hasat sırasında oluşabilecek zararların en az seviyeye indirilmesi ve karlılığı artırması nedeniyle dikkate alınması gereken stratejik unsurdur. Ancak sık dikim ve süper sık dikim tekniklerinin eğimli arazilerde, su kaynaklarının kısıtlı olduğu alanlarda ve her zeytin çeşidine uygulanamaması gibi dezavantajları vardır (Guerrero-Casado vd., 2021).

### 3.2.7. Hasat

Hasat ürünün kalitesini, ticari değerini ve gelecek yılın verimini belirleyen zeytinin üretim aşamalarının en son kısmını oluşturan kültür işlemidir. Ülkemizde daha çok sıırıyla vurularak veya elle toplama gibi geleneksel yöntemlerle hasat işlemi yapılır. Özellikle sıırıyla dallara vurularak yapılan hasatta, zeytin ağacı olumsuz etkilenebilmektedir. Sırıın çarptığı dallarda oluşan filizlerde ve gözlerde zararlar meydana gelebilir, yeni gelişim gösteren taze sürgünler kırılabilir ve bu durumlar gelecek yılın veriminin azalmasına neden olabilir. Ayrıca sıırıyla vurularak düşürülen meyveler yere çarptıkları için hasar görebilir ve bu durum meyvenin ticari kalitesinin düşmesine neden olabilir. Aynı zamanda bu hasat tekniği hastalıklı ağaçlardan sağlıklı ağaçlara hastalık taşınmasına da yol açabilir (Efe vd., 2011; Güneri, 2016). Bununla beraber dalların silkelenerek meyvelerin düşürülmesinin sağlandığı, yeterli olgunluğa geldikten sonra doğal olarak meyvenin düşmesinin beklendiği, elle sıırıyla veya budama ile hasat gibi farklı geleneksel hasat yöntemlerini tercih eden üreticilerde vardır. Ancak bu teknikler ya doğrudan meyvenin kalitesinde ya da ağaç sağlığında veya gelecek yılın veriminde olumsuz etkilerin oluşmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra küçük el aletlerinin veya daha gelişmiş tam teçhizatlı tarım makinelerinin kullanıldığı hasat teknikleri de vardır. Özellikle zeytin hasadında makineleşme iklim değişikliği karşısında periyodisitenin azaltılması, verimin istikrarlı hale gelmesi ve kaliteli ürünlerin elde edilmesinde önemli bir uyum stratejisidir. Makineli hasadın iş gücü maliyetlerini azaltması, hasat süresini kısaltması, meyvelerin çok beklenmeden işleme tesisine yetiştirilebilmesi ve dolayısıyla daha kaliteli ürünler elde edilebilmesi gibi pek çok avantajlı katkısı vardır. Ancak Türkiye’de mevcutta dağılışı gösteren zeytin bahçelerinin büyük ölçüde eğimli araziler üzerinde yer alması makineli hasadın yapılmasını zorlaştırmaktadır.

### 3.2.8. Teknoloji kullanımı ve eğitim

Zeytincilik sektörünün geliştirilmesinde ve iklim değişikliğinin oluşturduğu zorluk ortamının yönetilmesinde teknoloji kullanımı ve özellikle üretici eğitimleri önemli bir kilit noktadır. Zeytin üretiminde hassas tarım uygulamalarının benimsenmesi,

Yapay Zekâ, Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim, Blockchain, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri gibi teknoloji unsurlarının zeytinin üretim aşamalarına entegre edilmesi, üretim süreçlerinin etkili bir şekilde yönetilmesine katkı sağlayabilir. Aşırı hava olaylarına karşı erken uyarı sistemlerinin tesislere kurulması, toprak nemi, toprak besin elementleri, pH ve tuzluluk gibi hayati öneme sahip unsurları analiz edebilen ve bu analizlerin üretici tarafından hem güncel hem de bulut bilişim kullanılarak geçmişe dönük izlenmesine imkân sağlayan akıllı sensörlerin kullanımı üretici açısından önemli avantajlar sunmaktadır. İklim değişikliği ağaçların ve mahsulün sürekli olarak izlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu gereklilik için uzaktan algılama teknolojilerinden faydalanmak etkili bir seçenektir. Uydu görüntüleri, insansız hava araçları veya karasal platformlar ile su stresi, bitki besin element durumu, hastalık ve zararlıların etkileri ve yabancı otların durumu izlenebilir. Özellikle zor arazi şartlarında insansız hava araçları ile gübreleme yapılabilir ve ilaçlama yoluyla yabancı ot kontrolü sağlanabilir. Hastalık ve zararlıların oluşturduğu durumlar yapay zekâ algoritmaları kullanılarak erken teşhis edilebilir. İklim değişikliğinin zeytin yetiştiriciliği üzerinde oluşturduğu zorluk birbiri ile bütünleşmiş halde ve yerel ortam şartları göz önüne alınarak uygulanabilir uyum stratejileri ile yönetilebilir. Ancak bu stratejilerin doğru bir şekilde uygulanabilmesi üreticiye bağlıdır ve bu sebeple iklim değişikliğine uyum kapsamında üretici eğitimleri son derece kritik bir konudur. Üreticilerin ve sektördeki diğer paydaşların iklim değişikliğinin etkileri, sonuçları ile iklim değişikliğine karşı sektörün uyumu konusunda eğitilmesi son derece önemlidir.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Modellemede kullanılan 9 çevresel değişken arasında sırasıyla yıllık yağış miktarı (Bio12), yıllık sıcaklık değişim aralığı (Bio7) ve en kurak üç ayın ortalama sıcaklığının (Bio9) zeytinin dağılımında diğer değişkenlere kıyasla en yüksek katkısı olduğu tespit edilmiştir. Ashraf vd. (2016) ve Kassout vd. (2022) yaptıkları çalışmalarda da Bio12'nin türün dağılımında en yüksek katkı sağladığını ifade etmiştir. Bu bulgular yağışın zeytinin dağılımını kısıtlayan önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Bununla beraber en sıcak ayın en yüksek sıcaklığından (Bio5) en soğuk ayın en yüksek sıcaklığının (Bio6) çıkarılmasıyla elde edilen yıllık sıcaklık değişim aralığının ve birbirini izleyen en kurak üç ayın ortalama sıcaklığının zeytin dağılımında en önemli değişkenler olması, sıcaklığın türün dağılımı üzerindeki etkisini belirtmektedir. Ayrıca her ne kadar zeytin sıcaklığa dayanıklı bir tür olsa da (Arenas-Castro vd. 2020) küresel ısınmayla birlikte sıcaklık değerlerinin artması zeytinin vejetatif büyümesini, çiçeklenme zamanını, çiçek tomurcuklarında morfolojik farklılaşmayı, meyve tutumunu ve meyve oluşumunu, soğuklama süresini ve hasat dönemlerini de etkileyebileceği düşünülmektedir (Avolio vd., 2012; Fraga vd., 2020).

Günümüz için oluşturulan potansiyel coğrafi dağılım modeline göre, Türkiye'nin yaklaşık %76'sı zeytinin yayılışı için uygun değildir. Çok az uygun sahalar ülkenin %11'ini oluştururken, %13'ü uygun sınıflı (uygun, çok uygun ve son derece uygun) arazilere karşılık gelmektedir. Marmara Bölgesi'nde çok az uygun ve uygun sınıflı araziler geniş yer tutmaktadır. Ege Bölgesi'nin kıyı kesimlerinde özellikle son derece uygun ve çok uygun araziler ile bölgenin kıyıda uzak nispeten alçak Bakırçay, Gediz, Akhisar, Küçük ve Büyük Menderes gibi ovalık alanlarda uygun sınıflı

araziler dağılışı göstermektedir. Akdeniz Bölgesi'nde Toros dağları ile Akdeniz arasındaki dar şeritte yer yer son derece uygun ve çok uygun sınıflı araziler dağılışı gösterirken, Adana ve Osmaniye başta olmak üzere Antalya ve Mersin'in belirli kesimlerinde uygun sınıflı araziler dağılışı göstermektedir. Güneydoğu Anadolu ve Karadeniz Bölgeleri'nin belirli kesimlerinde ise çok az uygun sınıflı araziler dağılışı alanına sahiptir. Ülke genelinde uygun sınıflı araziler özellikle topografik açıdan uygun Akdeniz ikliminin tesirindeki arazilerde dağılışı gösterirken bu araziler; Yıldız Dağları, Kaz Dağı, Madra Dağı, Spil Dağı, Bozdağlar, Aydın Dağları, Madran Dağı, Menteşe Dağları, Sandras Dağı, Tahtalı Dağı, Yunt Dağları, Nur Dağları ve Samandağ gibi yüksek kütleler tarafından kesintiye uğratılmaktadır. Elde edilen günümüz modeli literatürde yer alan zeytinin dağılışı ile ilgili olarak yapılmış çalışmalar ile benzerlik göstermektedir (Efe vd., 2009; Efe vd., 2011; Rodríguez Sousa vd., 2020; Tuğaç & Sefer, 2021).

Bu çalışmanın MaxEnt sonuçları yakın (2041-2061) ve uzak (2081-2100) gelecek SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında zeytinin coğrafi dağılımında değişikliklerin olacağını öngörmektedir. Senaryolarda genel olarak günümüzde dağılışı için uygun olmayan yüksek rakımlı arazilerin uygun sınıflı alanlara dönüşebileceği ve dağılışın kuzeye doğru kayabileceği tahmin edilmektedir. Tüm senaryolar günümüzde yaklaşık %76'lık bir alan kaplayan uygun olmayan alanların gelecek periyotlarda sürekli olarak azalacağını göstermektedir. Günümüzde %10'luk alan kaplayan uygun ve %3'lük alan kaplayan çok uygun alanların değişen iklim şartları ile beraber ilerleyen dönemlerde kapladığı alanları genişletebileceği tespit edilmiştir. Uygulanan değişim analizleri de zaman içinde kazançların kayıplardan daha fazla olduğunu belirtmektedir. Karadeniz Bölgesi iklim değişikliği senaryoları altında türün yayılışını en belirgin olarak artıracığı bölgelerden biridir. Marmara Bölgesi'nde de Marmara ve Karadeniz'e bakan kesimlerde uygun sınıflı arazilerin ilerleyen dönemlerde alanını genişleteceği ve özellikle İstanbul ve çevresinde çok uygun ve son derece uygun olan alanların artabileceği saptanmıştır. Ancak İstanbul ve çevresinin şehirleşmenin işgali ve diğer antropojenik etkilerin altında olduğu göz önüne alındığında, bu alanların potansiyel anlamda uygun, fakat türün dağılışı ve sürdürülebilirliği açısından uygun olmayan alanlar olduğu söylenebilir. Akdeniz ve Ege Bölgeleri'nde günümüzde potansiyel olarak çok uygun ve son derece uygun alanların, kullanılan modeller arasındaki en kötümser senaryoya (SSP5-8.5 2081-2100) göre ciddi derece azalabileceği saptanmıştır. Buna rağmen bu sınıftaki arazilerin Ege Bölgesi'nde Çeşme ve Datça Yarımadalrı, Ayvacık, Edremit, Söke ve Bodrum, Akdeniz Bölgesi'nde ise Fethiye, Kaş, Anamur ve Samandağ gibi alanlarda varlığını devam ettirebileceği görülmektedir.

Gutierrez vd. (2009), İtalya'da zeytin yetiştiriciliğinin küresel ısınma etkisiyle Apenin dağlarının yüksek kesimlerine ve kuzeydeki Po Vadisi'ne doğru yayılabileceğini ifade etmiştir. Moriondo vd. (2013), 2100 yılına kadar günümüzde yetiştiriciliği yapılan zeytin alanlarının kuzeye doğru yayılabileceğini ve daha önce zeytin yetiştirilmeyen alanların gelecekte zeytin yetiştiriciliğine uygun hale gelebileceğini söylemiştir. Tanasije vic vd. (2014), günümüzde zeytin için uygun olmayan alanların gelecekte uygun alanlara dönüşebileceğini ve zeytinliklerin mevcut yerlerinden daha yükseklere ve kuzeye doğru kayacağını bildirmiştir. Ashraf vd. (2016), Pakistan'da yayılışı gösteren yabancı zeytinin (*Olea ferruginea*) günümüze kıyasla daha yüksek rakımlara ve enlemlere doğru kayacağını vurgulamıştır. Öğütçü



ve Kırac (2020), Çanakkale’de yer alan zeytinliklerin gelecekte daha yüksek alanlara kayacağını ifade etmiştir. Khan ve Verma (2022), *Olea europaea* subsp. *cuspidata*’nın gelecekteki ısınma etkisi ile tür için uygun habitat alanlarının kuzeye doğru enlemsel göçe uğrayacağını öngörmüştür. Kassout vd. (2022), Fas’ta *Olea europaea* subsp. *europaea* var. *sylvestris* için yaptığı çalışmada, türün gelecekte dağılış alanlarının artacağını belirtmiştir. Bu kapsamda, literatürde elde edilen bulgular ile bu çalışmada elde edilen bulgular benzerlik göstermektedir.

Zeytinin yayılış alanlarının her ne kadar artacağı, yüksek rakımlara ve kuzeye doğru kayabileceği tahmin edilse de bu durum, zeytinin ticari sürdürülebilirliği, verim istikrarı ve ürün kalitesi açısından önemli bir tartışma konusudur. Efe vd. (2008), Edremit kıyılarında yapılan zeytinciliğin, tahribat nedeniyle Kaz Dağı eteklerine doğru kaydığını ve yeni ortam şartlarında verimde azalma olduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda iklim değişikliği baskısı nedeniyle hem mevcut hem de yeni ortaya çıkacak zeytin alanlarının iyi bir şekilde planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir. İklim değişikliğinin zeytincilik üzerindeki zorlayıcı etkisinin hafifletilmesi, verim istikrarı sağlanması ve ticari anlamda zeytinciliğin sürdürülebilmesi sulama yönetimi, toprak yönetimi, gübreleme, çeşitlilik, hastalık ve zararlılarla mücadele, aşırı hava olaylarından korunma, budama, dikim, hasat, teknoloji kullanımı ve eğitim gibi uyum stratejilerinin yerel özellikler göz önüne alınarak etkili bir şekilde uygulanmasına bağlıdır. Günümüzde zeytin için mevcut stratejilere gelecekteki iklim değişikliği senaryoları ve bu senaryoları temel alarak geliştirilen/geliştirilecek uyum stratejileri de dahil edilmelidir. Sonuç olarak bu araştırma, biyoiklim değişkenleri ve farklı iklim değişikliği senaryoları altında Türkiye’de zeytinin potansiyel dağılımına ilişkin öngörüler ve uyum stratejileri sunmaktadır. Elde edilen bulguların zeytinin gelecekteki dağılımının tahmin edilmesine, dağılımı etkileyen biyoiklim değişkenlerinin anlaşılmasına katkıda bulunması ve zeytinin yönetimi, korunması ve rasyonel alan seçimi hakkında bilimsel bir temel oluşturması beklenmektedir.

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

**Yazar Katkıları/ Author contributions:** MMÖ; Çalışmayı tasarladı, verileri elde etti, analizleri uyguladı ve taslak makaleyi yazdı. BU; çalışmayı tasarladı, çalışmanın varlık verilerini elde etti, analiz sonuçlarını ve taslağı kontrol etti. İC; analiz sonuçlarını kontrol etti ve makalenin son kontrolünü yaptı. Tüm yazarlar sonuçları tartışmış ve makale hakkında yorumda bulunmuştur. MMÖ; *designed the study, obtained the data, conducted the analysis and wrote the draft manuscript.* BU; *designed the study, obtained the study's asset data, checked the analysis results and the draft.* İC; *checked the results of the analysis and did the final check of the manuscript.* All authors discussed the results and commented on the paper.

**Etik Kurulu Onayı/ Ethics Committee Approval:** Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

**Teşekkür ve Katkı Belirtme/ Acknowledgements and Contributions:** Çalışmanın teknik kısmında bilgi ve tecrübelerini bizimle paylaşan Prof. Dr. Ahmet Mert’e, Doç. Dr. Özdemir

Şentürk’e ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından düzenlenen etkinliğin (“TÜBİTAK 2237-BİDEB, Arazi Çeşitliliğinin Entropi Temelli Algoritmalar ile Hesaplanması ve Haritalanması”; Etkinlik No: 1129B372201166) eğitmenlerine teşekkür ederiz. *We would like to thank Prof. Dr. Ahmet Mert, Assoc. Prof. Dr. Özdemir Şentürk and the trainers of the event organized by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (“TUBITAK 2237-BİDEB, Calculation and Mapping of Land Diversity with Entropy Based Algorithms”; Event No: 1129B372201166) for sharing their knowledge and experience with us in the technical part of the study.*

**Veri Erişilebilirliği/ Data Availability:** MaxEnt 3.4.4 ücretsiz ve açık kaynaklı bir yazılımdır. Yazılıma [https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/) bağlantısı ile ulaşılmıştır. Kullanılan varlık verileri, ücretsiz ve açık erişimli GBIF veri tabanından elde edilmiştir. Bu verilere <https://www.gbif.org/occurrence/download/0254332-230224095556074> bağlantısı ile ulaşılabilir. *MaxEnt 3.4.4 is a free and open-source software. It can be accessed via the link: https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\_source/maxent/ The presence records used in this study were obtained from the free and open-access GBIF database. These data can be accessed via the link: https://www.gbif.org/occurrence/download/0254332-230224095556074.*

#### Kaynakça

- Ahmadi, M., Hemami, M. R., Kaboli, M., & Shabani, F. (2023). MaxEnt brings comparable results when the input data are being completed; Model parameterization of four species distribution models. *Ecology and Evolution*, 13(2), 1-13. <https://doi.org/10.1002/ece3.9827>
- Akça Uçkun, A. (2022). *Yeni nesil zeytin yetiştiriciliği*. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- Akyol, A., Örucü, Ö. K., Arslan, E. S., & Sarıkaya, A. G. (2023). Predicting of the current and future geographical distribution of *Laurus nobilis* L. under the effects of climate change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11086-z>
- Arenas-Castro, S., Gonçalves, J. F., Moreno, M., & Villar, R. (2020). Projected climate changes are expected to decrease the suitability and production of olive varieties in southern Spain. *Science of the Total Environment*, 709, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136161>
- Ashraf, U., Ali, H., Chaudry, M. N., Ashraf, I., Batool, A., & Saqib, Z. (2016). Predicting the potential distribution of *Olea ferruginea* in Pakistan incorporating climate change by using Maxent model. *Sustainability*, 8(8), 1-11. <https://doi.org/10.3390/su8080722>
- Avolio, E., Orlandi, F., Bellecci, C., Fornaciari, M., & Federico, S. (2012). Assessment of the impact of climate change on the olive flowering in Calabria (Southern Italy). *Theoretical and Applied Climatology*, 107, 531-540. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0500-2>
- Besnard, G., Khadari, B., Navascués, M., Fernández-Mazuecos, M., El Bakkali, A., Arrigo, N., Baali-Cherif, D., Brunini-

- Bronzini de Caraffa, V., Santoni, S., Vargas, P., & Savolainen, V. (2013). The complex history of the olive tree: from Late Quaternary diversification of Mediterranean lineages to primary domestication in the northern Levant. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1756), 1-7. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2833>
- Booth, T. H. (2018). Why understanding the pioneering and continuing contributions of BIOCLIM to species distribution modelling is important. *Austral ecology*, 43(8), 852-860. <https://doi.org/10.1111/aec.12628>
- Brown, J. L., Bennett, J. R., & French, C. M. (2017). SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *PeerJ*, 5, e409, 1-12. <https://doi.org/10.7717/peerj.4095>
- Brito, C., Dinis, L. T., Ferreira, H., Rocha, L., Pavia, I., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. M. (2018). Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive tree responses to drought and rewatering. *Plant Physiology and Biochemistry*, 133, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.028>
- Cao, J., Xu, J., Pan, X., Monaco, T. A., Zhao, K., Wang, D., & Rong, Y. (2021). Potential impact of climate change on the global geographical distribution of the invasive species, *Cenchrus spinifex* (Field sandbur, Gramineae). *Ecological Indicators*, 131, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108204>
- Carrión, Y., Ntinou, M., & Badal, E. (2010). *Olea europaea* L. in the north Mediterranean Basin during the Pleniglacial and the Early–Middle Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 29(7-8), 952-968. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.12.015>
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., Lange, A. MN., Lionello, P., Llasat, M. C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M. N., & Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8, 972-980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- Davis, P. H. (1978). *Flora of Turkey and the East Aegaen Islands Volume 6*. Edinburgh, Scotland: Edinburgh University Press.
- Efe R., Soykan A., Sönmez S., & Cürebal İ (2008) Quantifying the effect of landuse change on olive tree cultivation in the vicinity of Edremit between 1979 and 2006 using GIS and RS techniques. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17(6), 696-705.
- Efe, R., Soykan, A., Sönmez, S., & Cürebal, İ. (2009). Sıcaklık şartlarının Türkiye’de zeytinin (*Olea europaea* L. subs. *europaea*) yetişmesine, fenolojik ve pomolojik özelliklerine etkisi. *Ekoloji*, 18 (70), 17-26.
- Efe, R., Soykan, A., Cürebal, İ., & Sönmez, S. (2011). *Dünyada, Türkiye’de, Edremit Körfezi çevresinde zeytin ve zeytinyağı*. Balıkesir: Edremit Belediyesi.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. McC., Peterson, A. T., ... Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species’ distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Feeley, K. J., Bravo-Avila, C., Fadrique, B., Perez, T. M., & Zuleta, D. (2020). Climate-driven changes in the composition of New World plant communities. *Nature Climate Change*, 10(10), 965-970. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0873-2>
- Fraga, H., García de Cortázar Aauri, I., Malheiro, A. C., & Santos, J. A. (2016). Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Global change biology*, 22(11), 3774-3788. <https://doi.org/10.1111/gcb.13382>
- Fraga, H., Pinto, J. G., & Santos, J.A. (2020). Olive tree irrigation as a climate change adaptation measure in Alentejo, Portugal. *Agricultural water management*, 237, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106193>
- Fraga, H., Moriondo, M., Leolini, L., & Santos, J. A. (2021). Mediterranean olive orchards under climate change: A review of future impacts and adaptation strategies. *Agronomy*, 11(1), 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010056>
- GBIF (2023). GBIF occurrence download. <https://doi.org/10.15468/dl.aujjnw>
- Geerts, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural water management*, 96(9), 1275-1284. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>
- Gómez-Muñoz, B., Valero-Valenzuela, J. D., Hinojosa, M. B., & García-Ruiz, R. (2016). Management of tree pruning residues to improve soil organic carbon in olive groves. *European Journal of Soil Biology*, 74, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.03.010>
- Guerrero-Casado, J., Carpio, A. J., Tortosa, F. S., & Villanueva, A. J. (2021). Environmental challenges of intensive woody crops: The case of super high-density olive groves. *Science of the Total Environment*, 798, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149212>
- Gutierrez, A.P., Ponti L., & Cossu, Q.A. (2009) Effects of climate warming on olive and olive fly (*Bactrocera oleae* (Gmelin)) in California and Italy. *Climatic Change*, 95, 95-217. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9528-4>
- Güneri, M. (2016). Zeytin fidanı üretimi, bahçe tesisi ve yıllık bakım işleri. İçinde Yokaş, İ. (Ed.), *Zeytin ve Zeytinyağı* (ss. 54-88). Efil Yayınevi.
- Gürel, M. (2006). Zeytinde budama. İçinde T.C. Tarım ve Köy-işleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Zeytincilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (Ed.), *Zeytin yetiştiriciliği* (ss. 56-74). Emre Basımevi.
- Hosseini, N., Ghorbanpour, M., & Mostafavi, H. (2024). Habitat potential modelling and the effect of climate change on the current and future distribution of three *Thymus* species in Iran using MaxEnt. *Scientific Reports*, 14(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53405-5>

- International Olive Council. (2007). *Production techniques in olive growing*. Artegraf, S. A.
- IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Kaniewski, D., Marriner, N., Morhange, C., Khater, C., Terral, J. F., Besnard, G., Otto, T., Luce, F., Couillebault, Q., Tsitou, L., Pourkerman, M., ... Cheddadi, R. (2023). Climate change threatens olive oil production in the Levant. *Nature plants*, 9, 219-227. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01339-z>
- Kassout, J., Terral, J.F., El Ouahrani, A., Houssni, M., Ivorra, S., Kadaoui, K., El Mahroussi, M., Paradis, L., & Ater, M. (2022). Species distribution based-modelling under climate change: the case of two native wild *Olea europaea* Subspecies in Morocco, *O. e.* subsp. *europaea* var. *sylvestris* and *O. e.* subsp. *maroccana*. In W. Leal Filho & E. Manolas (Eds.), *Climate change in the mediterranean and middle eastern region* (pp 21-43). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78566-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78566-6_2)
- Kaya, Ü. (2006). Zeytinin sulanması. İçinde T.C. Tarım ve Köy-işleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Zeytincilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (Ed.), *Zeytin yetiştiriciliği* (ss. 75-88). Emre Bastımevi.
- Khan, S., & Verma, S. (2022). Ensemble modeling to predict the impact of future climate change on the global distribution of *Olea europaea* subsp. *cuspidata*. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 1-13. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.977691>
- Khan, A. M., Li, Q., Saqib, Z., Khan, N., Habib, T., Khalid, N., Majeed, M., & Tariq, A. (2022). MaxEnt modelling and impact of climate change on habitat suitability variations of economically important Chilgoza Pine (*Pinus gerardiana* Wall.) in South Asia. *Forests*, 13(5), 715. <https://doi.org/10.3390/f13050715>
- Koç, D. E., Svenning, J. C., & Avcı, M. (2018). Climate change impacts on the potential distribution of *Taxus baccata* L. in the Eastern Mediterranean and the Bolkar Mountains (Turkey) from last glacial maximum to the future. *Eurasian Journal of Forest Science*, 6(3), 69-82. <https://doi.org/10.31195/ejefs.435962>
- Koç, D. E., Biltekin, D., & Ustaoglu, B. (2021). Modelling potential distribution of *Carpinus betulus* in Anatolia and its surroundings from the Last Glacial Maximum to the future. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(12), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07444-1>
- Kavvadias, V., & Koubouris, G. (2019). Sustainable soil management practices in olive groves. In G. P. Deepak & K. J. Yogeshvari (Eds.), *Soil fertility management for sustainable development* (pp. 167-188). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-5904-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-13-5904-0_8)
- Li, G., Du, S., & Wen, Z. (2016). Mapping the climatic suitable habitat of oriental arborvitae (*Platycladus orientalis*) for introduction and cultivation at a global scale. *Scientific Reports*, 6(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/srep30009>
- Lionello, P., & Scarascia, L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18, 1481-1493. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1>
- Lorite, I. J., Gabaldón-Leal, C., Ruiz-Ramos, M., Belaj, A., De la Rosa, R., León, L., & Santos, C. (2018). Evaluation of olive response and adaptation strategies to climate change under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 204, 247-261. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.008>
- Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M. G., Field, C. B., & Knowlton, N. (2020). Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 1-21. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104>
- Michalopoulos, G., Kasapi, K. A., Koubouris, G., Psarras, G., Arampatzis, G., Hatzigiannakis, E., Kavvadias, V., Xiloyannis, C., Montanaro, G., Malliaraki, S., Angelaki, A., Monolaraki, C., Giakoumaki, G., Reppas, S., Kourgialas, N., & Kokkinos, G. (2020). Adaptation of Mediterranean olive groves to climate change through sustainable cultivation practices. *Climate*, 8(4), 1-11. <https://doi.org/10.3390/cli8040054>
- Moriondo, M., Trombi, G., & Ferrise, R. (2013) Olive trees as bio-indicators of climate evolution in the Mediterranean Basin. *Global Ecology and Biogeography*, 22(7), 818-833. <https://doi.org/10.1111/geb.12061>
- Moriondo, M., Ferrise, R., Trombi, G., Brilli, L., Dibari, C., & Bindi, M. (2015). Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. *Environmental Modelling & Software*, 72, 387-401. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.12.016>
- Muluneh, M. G. (2021). Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article. *Agriculture & Food Security*, 10, 1-25. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>
- Oliveira, M. D., Hamilton, S. K., Calheiros, D. F., Jacobi, C.

- M., & Latini, R. O. (2010). Modeling the potential distribution of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* in the Upper Paraguay River system using limnological variables. *Brazilian Journal of Biology*, 70, 831-840. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000400014>
- Öğütçü, M., & Kırac, A. (2020). Future projection of olive production in Çanakkale. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (044), 33-43.
- Örücü, Ö. K., Azadi, H., Arslan, E. S., Kamer Aksoy, Ö., Chobchian, S., Nooghabi, S. N., & Stefanie, H. I. (2023). Predicting the distribution of European Hop Hornbeam: application of MaxEnt algorithm and climatic suitability models. *European Journal of Forest Research*, 142, 579-591. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01543-2>
- Örücü, Ö. K., Arslan, E. S., Hoşgör, E., Kaymaz, I., & Gülcü, S. (2024). Potential distribution pattern of the *Quercus brantii* Lindl. and *Quercus frainetto* Ten. under the future climate conditions. *European Journal of Forest Research*, 143, 465-478. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01636-y>
- Öztürk, M., Altay, V., Gönenç, T. M., Unal, B. T., Efe, R., Akçiçek, E., & Bukhari, A. (2021). An overview of olive cultivation in Turkey: Botanical features, eco-physiology and phytochemical aspects. *Agronomy*, 11(2), 295.
- Pacifici, M., Visconti, P., Butchart, S. H. M., Watson, J. E. M., Cassola, F. M., & Rondinini, C. (2017). Species' traits influenced their response to recent climate change. *Nat Clim Chang* 7, 205-208. <https://doi.org/10.1038/nclimate3223>
- Panetta, A. M., Stanton, M. L., & Harte, J. (2018). Climate warming drives local extinction: Evidence from observation and experimentation. *Science advances*, 4(2), 1-8. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaq1819>
- Parolo, G., & Rossi, G. (2008). Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps. *Basic and Applied Ecology*, 9(2), 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2007.01.005>
- Phillips, S. J. (2005). A brief tutorial on Maxent. *At&t Research*, 190(4), 231-259.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887-893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Piao, S., Liu, Q., Chen, A., Janssens, I. A., Fu, Y., Dai, J., Liu, L., Lian, X., ... Zhu, X. (2019). Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global change biology*, 25(6), 1922-1940. <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
- Qu, H., Wang, C. J., & Zhang, Z. X. (2018). Planning priority conservation areas under climate change for six plant species with extremely small populations in China. *Nature Conservation*, 25, 89-106. <https://doi.org/10.3897/nature-conservation.25.20063>
- Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., KC, J., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global environmental change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.00>
- Rodríguez Sousa, A. A., Barandica, J. M., Aguilera, P. A., & Rescia, A. J. (2020). Examining potential environmental consequences of climate change and other driving forces on the sustainability of Spanish olive groves under a socio-ecological approach. *Agriculture*, 10(11), 509. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110509>
- Russo, G., Vivaldi, G. A., De Gennaro, B., & Camposeo, S. (2015). Environmental sustainability of different soil management techniques in a high-density olive orchard. *Journal of Cleaner Production*, 107, 498-508. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.064>
- Sağlıker, H.A., Darıcı, C. (2005). Doğu Akdeniz Bölgesinde iki farklı ana materyalde yetişen *Olea europaea* L., *Pinus brutia* Ten. ve *Pistacia terebinthus* L. topraklarında karbon mineralizasyonu. *Ekoloji*. 14(54), 20-24.
- Soilhi, Z., Sayari, N., Benalouache, N., & Mekki, M. (2022). Predicting current and future distributions of *Mentha pulegium* L. in Tunisia under climate change conditions, using the MaxEnt model. *Ecological Informatics*, 68, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101533>
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293. <https://doi.org/10.1126/science.3287615>
- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L. S., Pizzigalli, C., & Lionello, P. (2014). Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 144, 54-68.
- Tuğaç, M. G., & Sefer, F. (2021). Türkiye'de zeytin (*Olea europaea* L.) üretimine uygun dağıtım hizmetleri bilgi sistemleri (CBS) temelinde çoklu kriter analizi ile belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 58(1), 97-113. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.678474>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2023). *Bitkisel Üretim İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Türkeş, M. (2020). İklim değişikliğinin fiziksel bilim temeli-II. *Toplum ve Hekim*, 35(1), 3-31.
- Türkeş, M., Yozgatlıgil, C., Batmaz, İ., İyigün, C., Koç, E. K., Fahmi, F. M., & Aslan, S. (2016). Has the climate been changing in Turkey? Regional climate change signals based on a comparative statistical analysis of two consecutive time periods, 1950-1980 and 1981-2010. *Climate Research*, 70(1), 77-93. <https://doi.org/10.3354/cr01410>
- Ustaoglu, B., Koç, D. E., & Biltekin, D. (2022, June 2-6). *Predicting potential suitable habitat for Olea Europea in Eastern Mediterranean from Last Glacial Maximum to the*

*Future* [Conference presentation]. 10th Biennial Conference of the International Biogeography Society, Vancouver, Kanada.

- Uzun, A., & Ustaoglu, B. (2022). The effects of atmospheric oscillations on crop (olive, grape and cotton) yield in the eastern part of the Mediterranean region, Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(1), 147-161. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.1010181>
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. (2012). Climate change and food systems. *Annual review of environment and resources*, 37, 195-222. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>
- West, A. M., Kumar, S., Brown, C. S., Stohlgren, T. J., & Bromberg, J. (2016). Field validation of an invasive species Maxent model. *Ecological informatics*, 36, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.11.001>
- Yavaşlı, D. D., & Erlat, E. (2023). Climate model projections of aridity patterns in Türkiye: A comprehensive analysis using CMIP6 models and three aridity indices. *International Journal of Climatology*, 43(13), 6207-6224. <https://doi.org/10.1002/joc.8201>
- Yukimoto, S., Kawai, H., Koshiro, T., Oshima, N., Yoshida, K., Urakawa, S., Tsujino, H., Deushi, M., Tanaka, T., ... Ishii, M. (2019). The Meteorological Research Institute Earth System Model version 2.0, MRI-ESM2. 0: Description and basic evaluation of the physical component. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, 97(5), 931-965. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-051>



## Records of metals in bryophytes emitted from ash clouds of thermal power plants: A case study of Orhaneli, Bursa, Türkiye

Termik santrallerin kül bulutlarından salınan metallerin bryofitlerdeki kayıtları: Orhaneli, Bursa, Türkiye Örneği

Serkan Yavuz<sup>a\*</sup>  Selma Nur Avcı<sup>b</sup>  Özlem Tonguç Yayıntaş<sup>c</sup>  Ahmet Evren Erginal<sup>a</sup> 

<sup>a</sup> Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Education, Department of Geography Education, Çanakkale, Türkiye.

<sup>b</sup> Çanakkale Onsekiz Mart University, School of Graduate Studies, Çanakkale, Türkiye.

<sup>c</sup> Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, 17100, Çanakkale, Türkiye.

ORCID: S.Y. 0000-0002-2307-2344; S.N.A. 0000-0002-7123-7940; Ö.T.Y. 0000-0002-3554-1881; A.E.E 0000-0002-3112-5258

### BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 01.08.2024

Kabul/Accepted: 04.10.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Karayosunu  
Ağır metal  
Atmosferik kirlilik  
Termik santral  
Biyozileme

#### Keywords:

Moss  
Heavy metal  
Atmospheric pollution,  
Thermal Power Plant  
Biomonitoring

#### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(S. Yavuz) serkan.yavuz@comu.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1526626



#### Atıf/Citation:

Yavuz, S., Avcı, S. N., Tonguç Yayıntaş, Ö., & Erginal, A. E. (2024). Records of metals in bryophytes emitted from ash clouds of thermal power plants: A case study of Orhaneli, Bursa, Turkey. *Turkish Geographical Review* (86), 121-128.  
<https://doi.org/10.17211/tcd.1526626>

### ABSTRACT/ ÖZ

Most of the world's energy production still comes from fossil fuels such as coal and lignite. Thermal power plants that produce energy using these resources have the potential to cause serious damage to the environment due to the heavy metals and other pollutants they release into the atmosphere. This study investigates the accumulation of heavy metals in fly ash clouds from a thermal power plant in Orhaneli, Bursa in the tissues of *Hypnum cupressiforme* Hedw. and *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schimp. Within the scope of the study, ICP-OES analyses were performed on moss and rock samples taken from five different sampling sites around the thermal power plant. Bioconcentration Factor (BCF) was calculated based on Pb, Cr, Cd, Ni, Ni, Co, Cu, Hg and As concentrations. The results showed that there was no accumulation of Hg and As, bioaccumulation for Cd, Fe and Cu was observed in only one station, but the average BCF values for these metals were below 1. In contrast, the BCF levels of Cr and Pb were found to be quite high, with mean values of 60.26 and 1.54, respectively. These results suggest that mosses can be used as effective biological indicators for heavy metal accumulation. It is also emphasized that regular monitoring of air quality and mitigation of environmental risks are vital for the health of the inhabitants of the region.

Dünya enerji üretiminin hala büyük bir kısmı kömür ve linyit gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu kaynakları kullanarak enerji üreten termik santraller, atmosfere saldıkları ağır metaller ve diğer kirlleticiler nedeniyle çevreye ciddi zarar verme potansiyeline sahiptir. Bu çalışma, Bursa Orhaneli'ndeki bir termik santralden kaynaklanan uçucu kül bulutlarındaki ağır metallerin *Hypnum cupressiforme* Hedw. ve *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schimp. türü karayosunlarının dokularında birikimini incelemektedir. Araştırma kapsamında, termik santral çevresinde belirlenen beş farklı örnekleme sahasından alınan karayosunu ve kaya örnekleri üzerinde ICP-OES analizleri gerçekleştirilmiştir. Pb, Cr, Cd, Ni, Co, Cu, Hg ve As konsantrasyonlarına dayanarak Biyokonsantrasyon Faktörü (BCF) hesaplanmıştır. Bulgular, Hg ve As birikiminin olmadığını, Cd, Fe ve Cu için biyoakümüülasyonun yalnızca bir istasyonda gözlemlendiğini, ancak bu metallerin ortalama BCF değerlerinin 1'in altında kaldığını göstermiştir. Buna karşın, Cr ve Pb'nin BCF seviyeleri oldukça yüksek bulunmuş ve ortalama değerleri sırasıyla 60,26 ve 1,54 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, karayosunlarının ağır metal birikimi için etkili biyolojik indikatörler olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, bölgede yaşayanların sağlığı için hava kalitesinin düzenli izlenmesinin ve çevresel risklerin azaltılmasının hayati önem taşıdığı vurgulanmaktadır.

## 1. Introduction

Türkiye meets a significant portion of its energy needs from lignite-based thermal power plants. According to the 2022 data from the Turkish Statistical Institute (TUIK, 2024), the distribution of electricity production in Türkiye by energy sources is as follows: coal (34.6%), natural gas (22.2%), hydroelectric (20.6%), wind (10.8%), solar (4.7%), geothermal energy (3.3%), and other sources (3.7%). Additionally, thermal power plants consume 61.9% of the hard coal and 84.2% of the lignite used in Türkiye (TUIK, 2022).

Despite their role in energy production, thermal power plants are major sources of environmental pollution. They are one of the three main contributors to air pollution, alongside residential and vehicular emissions (Elkoca, 2003). Fly and bottom ashes from lignite and coal combustion contain toxic elements like Pb, Zn, Cd, Ni and Co, posing disposal challenges due to heavy metal residues (Baba & Kaya, 2004). Ineffective filtration and leakage can lead to increased environmental pollution (Baba, 2000; Ölgün & Gür, 2012). Predicting and controlling environmental impacts are further complicated by changing dispersion patterns influenced by wind and other meteorological factors.

Mosses accumulate most heavy metals in their tissues and have several advantages as indicator organisms. They have a wide geographical distribution and thrive in various natural habitats, including industrial and urban centers, though in lesser abundance in cleaner regions. Due to the absence of a cuticle and epidermis, their cell walls easily absorb metal ions. Lacking organs for mineral uptake from the substrate, mosses accumulate minerals through precipitation. The poor transport of minerals between organ structures is due to the lack of vascular tissue, and metal accumulation and ion exchange in mosses occur passively. Mosses demonstrate the accumulation of most metals as a function of atmospheric deposition amounts (Yayintas & Yayintas, 2001).

Biomonitoring, which uses biological organisms to evaluate environmental quality, is a widely used method in environmental monitoring (Tuncel & Yenisoy-Karataş, 2003). Bryophytes are particularly effective for this purpose due to their cost-effectiveness, ease of sampling, and widespread distribution (Grodzińska & Szarek-Łukaszewska, 2001; Wolterbeek, 2002). They accumulate pollutants passively, lacking a root system and a protective cortex layer (Berg & Steinnes, 1997; Rühling & Tyler, 1973). Studies have used bryophytes as bioindicators to measure metal concentrations and compare uptake values among different species (Bačeva et al., 2012; Berg et al., 1995; Macedo-Miranda et al., 2016; Maxhuni et al., 2016; Olajire, 1998; Türkan et al., 1995; Zechmeister, 1998).

Bryophytes obtain nutrients from rain and sediments, absorbing metals from the substrate (Sabovljević et al., 2020). Many studies have documented heavy metal transfer from substrates to moss (Jiang et al., 2018; Macedo-Miranda et al., 2016; Świsłowski, 2024; Varela et al., 2015). In Türkiye, bryophytes have been used in biomonitoring studies around industrial areas, including thermal power plants, iron and steel facilities, mining areas, and roadsides with heavy traffic (Batan et al.,

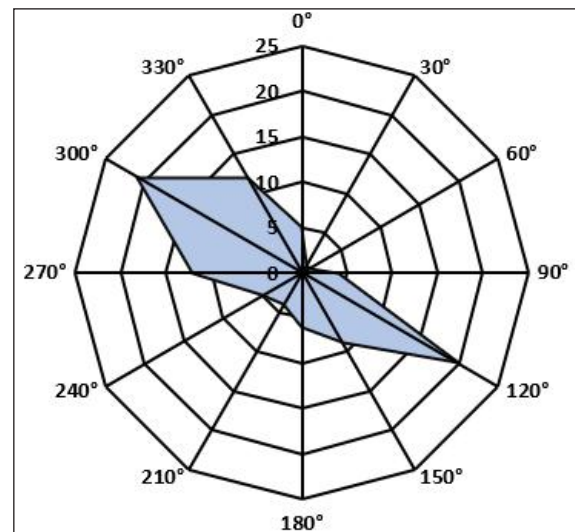
2021; Doğrul, 2007; Haktanır et al., 2010; Ören et al., 2021; Tonguç, 1998; Uğuz, 2007; Uyar et al., 2005). This study focuses on the Orhaneli Thermal Power Plant (OTPP) in Bursa province, with an installed capacity of 210 MW. Previous research has shown significant respiratory function decline in individuals living near the OTPP (Pala et al., 2012). However, biomonitoring studies around OTPP are limited, with only one study using lichens (Gür, 2006). This study aims to determine heavy metal concentrations in bryophyte tissues around OTPP.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Study Area

Orhaneli is a district in the Bursa province, located in the Orhaneli Stream valley, east of Bursa city center in the Marmara Region of Turkey. The Orhaneli Thermal Power Plant (OTPP), subject of this research, is 47 km from Bursa and 17 km from Orhaneli. The area features undulating plateaus at elevations between 450-1000 meters, predominantly used for agriculture, including sunflower, wheat, and fruit cultivation (Erginal et al., 2008).

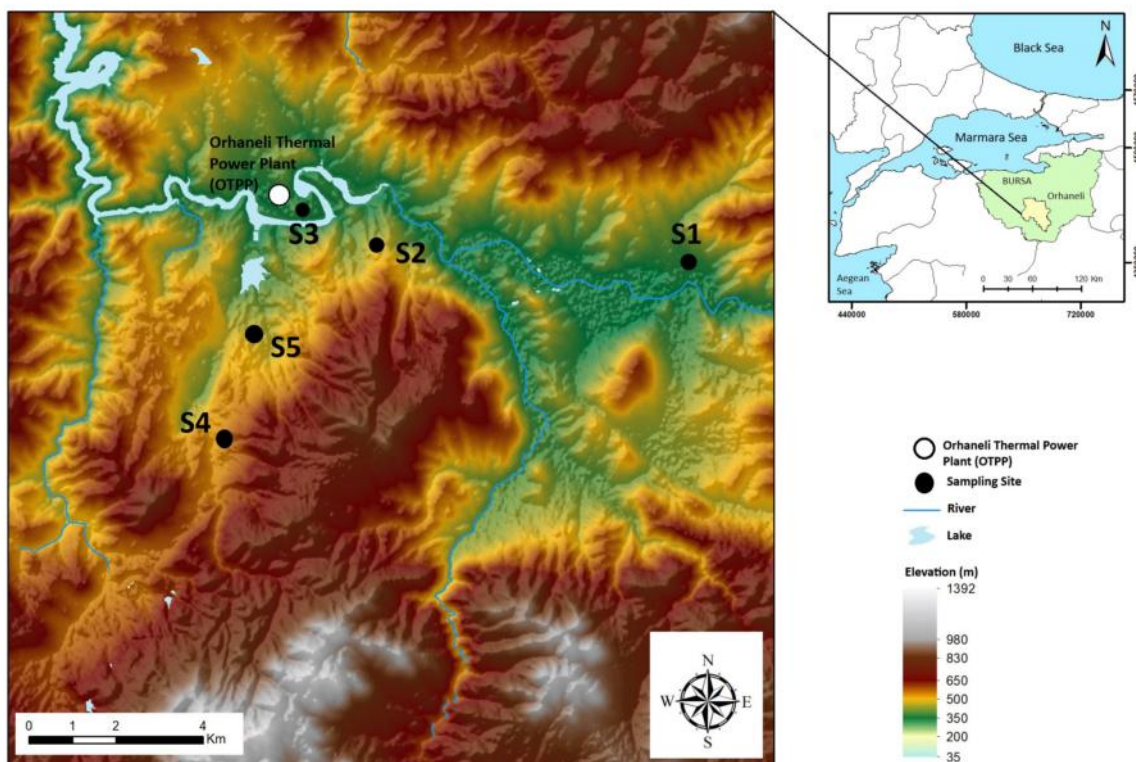
The study area is under the influence of Mediterranean climate represented by the letters Csa according to Köppen-Geiger climate classification. The average annual temperature is 12.8°C and the total annual precipitation is 674 mm (Taşoğlu et al., 2024). According to the global wind atlas (Atlas, 2021), the dominant wind direction in the region is in the NW-SE direction (Fig.1). The region's main lithology comprises ophiolites (Sarıfakioğlu et al., 2009; Uysal et al., 2015).



**Figure 1.** Annual average wind frequency (%) in the study area

### 2.2. Sampling and Analysis

The selection of bioindicator species in heavy metal research is critical due to their absorption properties (Lippo et al., 1995). To ensure consistency in absorption abilities and avoid data discrepancies, common pleurocarpic moss species (*Hypnum cupressiforme* and *Homalothecium sericeum*) were selected for this study. Moss and rock samples were collected from five different stations around the OTPP on 20 November 2022 (Figure 1). A total of 10 samples, one moss and one rock, were collec-



**Figure 2.** Location map of the study area (a) and sampling sites (S1-S5) on the digital elevation model (b).

ted from each station. The distribution of moss species according to the stations is as follows: *Homalothecium sericeum* was collected from S1 and S2, *Hypnum cupressiforme* from S3, S4 and S5.

Specimens were identified primarily using related literature (Kürschner & Frey, 2020; Smith, 2004) by Özlem Tonguc Yayintas. The bryophyte species were stored in the geography laboratory at the Faculty of Education, Çanakkale 18 Mart University. Metal analyses of the dried samples were conducted using ICP-OES to determine the concentrations of Pb, Cr, Cd, Ni, Co, Fe, Cu, Hg, and As. Elemental analyses were performed at the Scientific and Technological Application and Research Center of Burdur Mehmet Akif Ersoy University using a Perkin Elmer ICP-OES Optima 8000, Milestone Stard-D device. Sample preparation involved using 0.5 g of sample with 5 mL of 65% HNO<sub>3</sub> and 3 mL of 40% HF, following the microwave program milestone application note HPR-EN-22. The program included heating to 100 °C over 15 minutes, maintaining this temperature for 15 minutes, followed by the drying process.

To accurately determine the source of heavy metals accumulated in the bryophytes, whether atmospheric or substrate-based, it is essential to calculate the background value. Elemental analysis was therefore conducted on the rocks to which the bryophytes adhere. This is particularly important because the Orhaneli basin is rich in chrome ores and lignite mines (Borchert & Uzkut, 1967; Sarifakioğlu et al., 2009; Uysal et al., 2015).

The relationship between the elemental components of rocks, which influence the nutrient uptake process of bryophytes, and the elemental components of bryophytes was determined through bioconcentration factor (BCF) calculations. BCF exp-

resses the ratio of metal concentration in the plant to that in the sediment. A high BCF value indicates the plant's ability to concentrate metals in its tissues (Phetsombat et al., 2006; Zhang et al., 2009). A BCF value of 1 confirms the bioaccumulation of heavy metals in the sample (Cadar et al., 2019; Sekabira et al., 2011). The BCF is calculated using the following formula:

$$(\text{heavy metal in moss})/(\text{heavy metal in rock})$$

Bioconcentration values were evaluated against the limit values specified by USEPA and NIOSH (Table 1).

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Metals in the Host Rock and Moss Samples

Table 2 shows that rocks generally exhibit high iron content. Fe is the predominant metal in all samples, with a maximum concentration reaching 1.4%. Cr has a maximum concentration of 40 ppm across all samples, while Cd reaches up to 2.5 ppm. Cu was undetected in one sample and ranged from 1 to 4.8 ppm in others.

**Table 1.** Maximum acceptable heavy metal limits in air based on USEPA (2024, 2006 & 1987) and NIOSH (2007).

Metal	Limit Value (ug/m3)	Reference
Cr	0.018	USEPA*, 2024
Cu	100	NIOSH**, 2007
Fe	10.000	NIOSH, 2007
Pb	0.5	USEPA, 2006
Cd	0.006	USEPA***, 1987

\*USEPA: U.S. Environmental Protection Agency \*\*NIOSH: National Institute for Occupational Safety & Health

\*\*\*Concentration for the situation where 1 in 100,000 people are at risk of cancer



**Table 2.** Concentrations of heavy metals in rock samples (mg/kg).

Sampling Site	Pb	Cr	Cd	Fe	Cu
S1	-	40.038	2.588	13.101.923	3.087
S2	0.664	0.192	0.119	22.13	1.440
S3	-	3.124	2.313	14.409.259	3.831
S4	-	0.137	0.321	7.463	4.846
S5	-	2.27	2.413	2.409.615	-

(-) not detected

**Table 3.** Concentrations of heavy metals in Moss samples (mg/kg)

Sam-pling Site	Pb	Cr	Cd	Ni	Co	Fe	Cu	Hg	As
S1 (Hs)	1.458	19.396	-	-	-	-	-	-	-
S2 (Hs)	0.426	26.140	0.040	-	-	30.304	2.098	-	-
S3 (Hc)	3.823	28.168	-	-	-	1488	0.242	-	-
S4 (Hc)	-	19.919	1.019	-	-	-	-	-	-
S5 (Hc)	1.812	23.428	-	-	-	1615.686	-	-	-

Although the fly ashes of a thermal power plant was found to be enriched in Ni as well as Hg and As (Esenlik et al., 2006), and soils have high amounts of As, Cd, Co and Ni in excess of the limit values due to mining activities (Menteşe & Böbrek, 2020). When Table 3, which presents the ICP-OES results of our moss samples, is examined, none of the moss samples analyzed contained detectable levels of Ni, Co, Hg, or As, in contrast to previous studies conducted around thermal power plants elsewhere (C'ujic' et al., 2014; Sabovljevic et al., 2007; Uyar et al., 2007). Cd concentrations in two samples remained below 2.1 ppm. Cr was the only metal detected in all samples, with concentrations ranging from 19 to 28 ppm (mean: 23.4 ppm). Pb, absent in one sample, ranged from 0.4 ppm to 3.8 ppm in the remaining four samples. Fe was detected in three samples, with a maximum concentration of 0.16%.

### 3.1. Bioconcentration Factor (BCF) Calculations

ICP-OES data revealed a significant difference between metal distributions obtained from bedrock samples and those obtained directly from bryophyte. BCF values indicate metal accumulation of more or less anthropogenic origin in all samples. The most striking point here is the enrichment in Pb values in bryophytes, except for one example. As can be seen in Table 4, values greater than 1 in dark color indicate toxic metal enrichment. As a result of BCF values, the elements are in descending order of; Cr (145.39) > Pb (3.823) > Cd (3.17) > Cu (1.45) > Fe (1.36).

When Pb concentrations are examined, it is seen that the limit values accepted by USEPA (2006) are exceeded in S1, S3 and S5. Station 2 gives a result close to the limit values. It was found to be approximately 8 times higher than the threshold value specified in USEPA (2006) in the sample 1 km away from the thermal power plant.

Considering USEPA (2024), Cr also exceeded the specified limit values at all stations. A positive relationship was determined between the distance of the stations to the thermal power plant and the chromium concentration obtained from bryophyte. BCF calculation displayed that all stations except S1 station were exposed to high levels of atmospheric Cr accumulation. Cr concentrations at stations S2 and S4 were found to be significantly above the threshold value specified in USEPA (2024) excessively. While it was found very close to the acceptable value at station no. S1, the values were also found to be very high at stations no. S3 and S5. Except for one sample (S1), the values found in all stations exceed the values of Cr in the bedrock beneath the moss, indicating that Cr is of anthropogenic origin, probably originating from the power plant.

Cd accumulation was determined in two of the samples. Only in S4, 3 times more Cd accumulation than that determined in the bedrock was determined in the bryophyte. According to USEPA (1987), this value is extremely high. The iron distribution in the studied samples presents interesting differences. Despite the Fe content determined in all rock samples, Fe was not determined in 2 bryophyte samples, and an approximately 1.5-fold increase in iron was determined in only one station (S2). The same increase is also valid for Cu at a similar rate and at the same station considering NIOSH (2007).

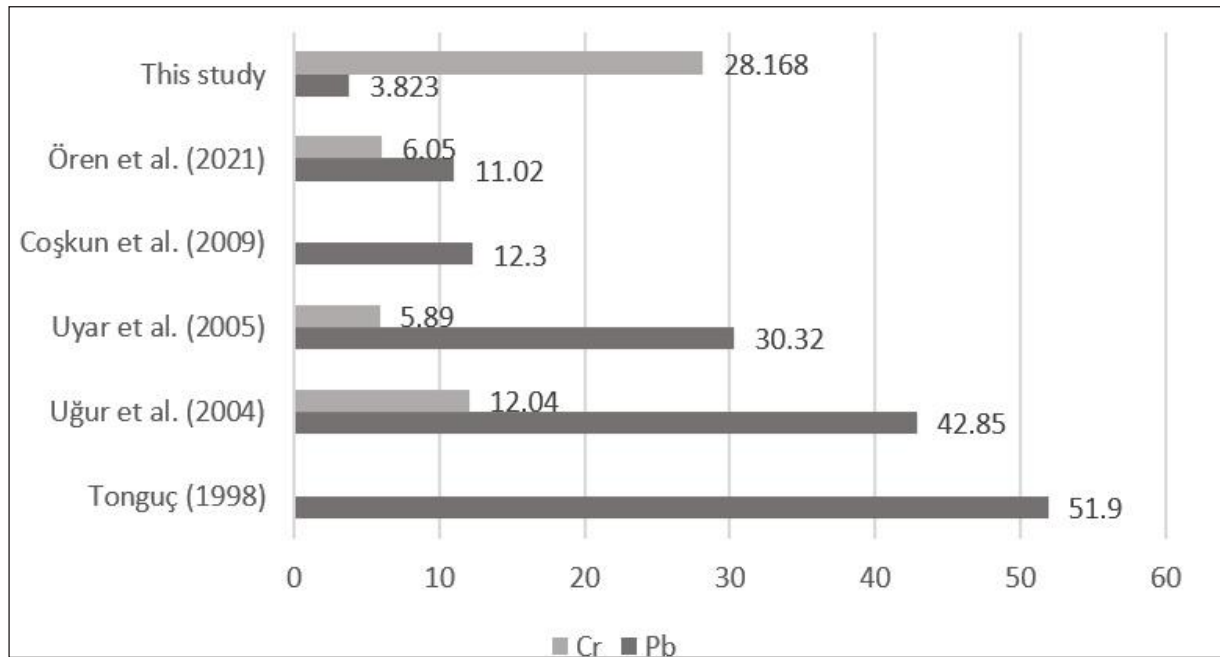
When comparing the BCF values for Pb and Cr in this study with those from previous research on thermal power plants in Turkey, Cr was found to be significantly higher than in other plants, whereas Pb was lower (Fig. 2).

This discrepancy in Cr levels may be attributed to the rich chrome ores reported near the power plant; however, the ICP-OES technique revealed that the accumulation in some stations had an atmospheric origin (Table 3). The current study reports Cr and Pb values of 3.823 and 28.168, respectively. In contrast, Tonguç (1998) reported higher values for both Cr (51.9) and Pb (12.04). Ugur et al. (2004) also observed elevated Pb values

**Table 4.** Bioconcentration values obtained from multi-element analysis results obtained from moss and the bedrock samples.

Sampling Site	Pb <sub>Bc</sub>	Cr <sub>Bc</sub>	Cd <sub>Bc</sub>	Fe <sub>Bc</sub>	Cu <sub>Bc</sub>
S1	<b>1,458</b>	0,48	-	-	-
S2	0,64	<b>136,145</b>	0,33	<b>1,36</b>	<b>1,45</b>
S3	<b>3,823</b>	<b>9,01</b>	-	0.10	0,29
S4	-	<b>145,39</b>	<b>3,17</b>	--	-
S5	<b>1,812</b>	<b>10,31</b>	-	0,67	-
<b>Average</b>	<b>1.54</b>	<b>60.26</b>	0.7	0.42	0.34

\*Bold and higher than 1 numbers show anthropogenic pollution



**Figure 2.** Comparison of Cr and Pb enrichment with previous studies (values are ppm).

(42.85) and a Cr value of 12.04. Uyar et al. (2005) recorded Pb at 30.32 and Cr at 5.89, which is higher for Cr but lower for Pb compared to the current study. Coskun et al. (2009) found moderate levels of Cr (12.3) and Pb (11.02), while Ören et al. (2021) reported Cr at 6.05 and Pb at 11.02, showing higher Cr but lower Pb than the current study. Overall, this study presents the highest Pb value, but a relatively low Cr value compared to previous findings.

#### 4. Conclusion

Mosses and lichens are widely used in biomonitoring of atmospheric pollution. Unlike higher plants, mosses and lichens do not have root systems and cuticle layers. Therefore, they absorb minerals with their entire surface. Mosses have been used to determine atmospheric heavy metal deposition for more than 50 years. BCF calculations from bryophyte and substrate rock revealed an excessive accumulation of Cr and Pb. The bryophytes at some stations are more enriched in Fe, Cd, and Cu than their substrates. The high Pb and Cr values found in bryophytes prove that bryophytes serve as good archive storage and show how effectively the power plant enriches heavy metal pollution in the environment. It is a serious warning that excessive exposure to these heavy metals may threaten the sustainability of the entire ecosystem and living creatures, as well as harm nature and human health.

**Conflict of Interest:** There is no conflict of interest in the study.

**Author Contribution:** This study was prepared within the scope of TÜBİTAK 2209-A Project. S.Y., S.N.A. and A.E.E. contributed to the fieldwork, sampling and analysis processes, and Ö.Y. contributed to the method and material design. All authors contributed jointly to the writing process.

**Ethics Committee Approval:** Ethics Committee Approval is not required for this study.

**Declaration of Support and Thanksgiving:** This study was sup-

ported by TÜBİTAK 2209-A Undergraduate Students Support Program (Project No: 1919B012107779) under the supervision of the last author.

#### References

- Atlas, G. W. (2021). *Global wind atlas 3.0*. Technical University of Denmark (DTU).
- Baba, A. (2000). Leaching characteristics of wastes from Kemerkoş (Mugla-Turkey) Power Plant. *Global Nest Journal*, 2(1), 51–57. <https://doi.org/10.30955/gnj.000146>
- Baba, A., Kaya, A. (2004). Leaching characteristics of solid wastes from thermal power plants of western Turkey and comparison of toxicity methodologies, *Journal of Environmental Management*, 73, 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.06.005>
- Bačeva, K., Stafilov, T., Šajin, R., & Tănăselia, C. (2012). Moss biomonitoring of air pollution with heavy metals in the vicinity of a ferronickel smelter plant. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47(4), 645-656. <https://doi.org/10.1080/10934529.2012.650587>
- Batan, N., Özdemir, T., Saraloğlu, E., Akçay, N., & Mendil, D. (2021). Determination of heavy metal levels in some moss samples collected from near the highways in Burdur Province. *Anatolian Bryology*, 7(1), 33-43. <https://doi.org/10.26672/anatolianbryology.891979>
- Berg, T., & Steinnes, E. (1997). Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values. *Environmental Pollution*, 98(1), 61-71. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(97\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(97)00103-6)

- Berg, T., Røyset, O., & Steinnes, E. (1995). Moss (*Hylocomium splendens*) used as biomonitor of atmospheric trace element deposition: estimation of uptake efficiencies. *Atmospheric Environment*, 29(3), 353-360. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00259-N](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00259-N)
- Borchert, H., & Uzkut, İ. (1967). Harmancık (Bursa İli) kuzeybatısındaki krom cevheri yatakları. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 68(68), 49-63.
- Cadar, E., Sirbu, R., Pirjol, B. S. N., Ionescu, A. M., & Pirjol, T. N. (2019). Heavy metals bioaccumulation capacity on marine algae biomass from Romanian Black Sea Coast. *Revista de Chimie (Bucharest)*, 70(8), 3065-3072. <https://doi.org/10.37358/RC.19.8.7489>
- Coskun, M., Steinnes, E., Coskun, M., & Cayir, A. (2009). Comparison of epigeic moss (*Hypnum cupressiforme*) and lichen (*Cladonia rangiformis*) as biomonitor species of atmospheric metal deposition. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 82, 1-5. <https://doi.org/10.1007/s00128-008-9491-9>
- Ćujić, M., Dragović, S., Sabovljević, M., Slavković-Bešković, L., Kilibarda, M., Savović, J., & Onjia, A. (2014). Use of mosses as biomonitors of major, minor and trace element deposition around the largest thermal power plant in Serbia. *Clean*, 42, 5-11. <https://doi.org/10.1002/clen.201100656>
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (ÇŞİDB). (2023). *İllerimize ait genel istatistik ve-rileri (1927-2022)*. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>
- Doğrul, A. (2007). *Kocaeli ili çevresinde atmosferik ağır metal çökeliiminin liken ve karayosunu analizi yöntemiyle belirlenmesi* (Yayın Numarası. 232693) [Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi Açık Erişim Sistemi.
- Elkoca, E. (2003). Hava kirliliği ve bitkiler üzerindeki etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(4), 367-374.
- Erginal, A. E., Türkeş, M., Ertek, T. A., Baba, A., & Bayrakdar, C. (2008). Geomorphological investigation of the excavation-induced dünder landslide, Bursa—Turkey. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 90(2), 109-123. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2008.00159.x>
- Esenlik, S., Karayigit, A. I., Bulut, Y., Querol, X., Alastuey, A., & Font, O. (2006). Element behaviour during combustion in coal-fired Orhaneli Power Plant, Bursa-Turkey. *Geologica Acta*, 4(4), 439-454. <https://doi.org/10.1344/105.000000345>
- Grodzińska, K., & Szarek-Łukaszewska, G. (2001). Response of mosses to the heavy metal deposition in Poland—an overview. *Environmental Pollution*, 114(3), 443-451. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00227-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00227-X)
- Gür, F. (2006). *Batı Anadolu termik santralleri çevresinde radyoaktif ve ağır metal kirliliğinin biyomonitörlerle saptanması* (Yayın Numrası. 182898) [Doktora tezi, Ege Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi Açık Erişim Sistemi.
- Haktanır, K., Sözüdoğru Ok, S., Karaca, A., Arcak, S., Çimen, F., Topçuoğlu, B., Türkmen, C., & Yıldız, H. (2010). Muğla-Yatağan termik santrali emisyonlarının etkisinde kalan tarım ve orman topraklarının kirlilik veri tabanının oluşturulması ve emisyonların vejetasyona etkilerinin araştırılması. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(1), 13-30. [https://doi.org/10.1501/Csaum\\_0000000022](https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000022)
- Jiang, Y., Fan, M., Hu, R., Zhao, J., & Wu, Y. (2018). Mosses are better than leaves of vascular plants in monitoring atmospheric heavy metal pollution in urban areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), 1105. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061105>
- Kürschner, H. & Frey, W. (2020). *Liverworts, mosses and hornworts of Southwest Asia (Marchantiophyta, Bryophyta, Anthocerotophyta) second enlarged and revised edition*. J. Cramer in Borntraeger Science Publishers.
- Lippo, H., Poikolainen, J., & Kubin, E. (1995). The use of moss, lichen and pine bark in the nationwide monitoring of atmospheric heavy metal deposition in Finland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 85, 2241-2246. <https://doi.org/10.1007/BF01186167>
- Macedo-Miranda, G., Avila-Pérez, P., Gil-Vargas, P., Zarazúa, G., Sánchez-Meza, J. C., Zepeda-Gómez, C., & Tejada, S. (2016). Accumulation of heavy metals in mosses: a biomonitoring study. *SpringerPlus*, 5(1), 715. <https://doi.org/doi:10.1186/s40064-016-2524-7>
- Maxhuni, A., Lazo, P., Kane, S., Qarri, F., Marku, E., & Harmens, H. (2016). First survey of atmospheric heavy metal deposition in Kosovo using moss biomonitoring. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 744-755. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5257-1>
- Menteşe, S., & Böbrek, O. (2020). Madencilik faaliyetlerinin topraktaki ağır metaller (as, cd, co, fe ve ni) üzerine etkisi: Orhaneli ve Büyükorhan (Bursa) örneği. *Ege Coğrafya Dergisi*, 29(1), 45-56.
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). (2007). *Pocket guide to chemical hazards*. <https://www.cdc.gov/niosh/npg/default.html>
- Olajire, A. A. (1998). A survey of heavy metal deposition in Nigeria using the moss monitoring method. *Environment In-*

- ternational, 24(8), 951-958. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(98\)00078-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(98)00078-6)
- Ölgen, M., & Gür, F. (2012). Yatağan termik santrali çevresinden toplanan likenlerde (*Xanthoria parietina*) saptanan ağır metal kirliliğinin coğrafi dağılışı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (57), 43-54. <https://doi.org/10.17211/tcd.48360>
- Ören, M., Koçak, G., & Çabuk, H. (2021). Zonguldak Çatalağzı bölgesinde bazı atmosferik polisiklik aromatik hidrokarbonların ve iz elementlerin karayosunları kullanılarak araştırılması. *Anatolian Bryology*, 7(1), 44-52. <https://doi.org/10.26672/anatolianbryology.892981>
- Pala, K., Türkan, A., Gerçek, H., Osman, E., & Aytakin, H. (2012). Evaluation of respiratory functions of residents around the Orhaneli thermal power plant in Turkey. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 24(1), 48-57. <https://doi.org/10.1177/1010539510363622>
- Phetsombat, S., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Upatham, S. (2006). Toxicity and bioaccumulation of cadmium and lead in *Salvinia cucullata*. *Journal of Environmental Biology*, 27(4), 645-652.
- Rühling, Å., & Tyler, G. (1973). Heavy metal deposition in Scandinavia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2, 445-455. <https://doi.org/10.1007/BF00585089>
- Sabovljević, M. S., Weidinger, M., Sabovljević, A. D., Stanković, J., Adlassnig, W., & Lang, I. (2020). Metal accumulation in the acrocarp moss *Atrichum undulatum* under controlled conditions. *Environmental Pollution*, 256, 113397. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113397>
- Sabovljević, M., Vukojević, V., Sabovljević, A., Mihajlović, N., Drazđić, G., & Vućinić, Z. (2007). Determination of Heavy Metal Deposition in the County of Obrenovac (Serbia) Using Mosses as Bioindicators, III. Copper (Cu), Iron (Fe), and Mercury (Hg). *Archives of Biological Sciences*, 59 (4), 351-361. <http://dx.doi.org/10.2298/ABS0704351S>
- Sarifakioğlu, E., Özen, H., & Winchester, J. A. (2009). Whole rock and mineral chemistry of ultramafic-mafic cumulates from the Orhaneli (Bursa) ophiolite, NW Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18(1), 55-83. <https://doi.org/10.3906/yer-0806-8>
- Sekabira, K., Origa, H. O., Basamba, T. A., Mutumba, G., & Kadidi, E. (2011). Application of algae in biomonitoring and phytoextraction of heavy metals contamination in urban stream water. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 8, 115-128. <https://doi.org/10.1007/BF03326201>
- Smith AJE (2004). *The Moss Flora of Britain and Ireland*, 2nd ed. Cambridge University Press.
- Świśłowski, P., Nowak, A., & Rajfur, M. (2024). Significance of moss pretreatments in active biomonitoring surveys. *International Journal of Phytoremediation*, 26(3), 304-313. <https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2241583>
- Taşoğlu, E., Öztürk, M.Z., & Yazıcı, Ö. (2024). High Resolution Köppen-Geiger Climate Zones of Türkiye. *International Journal of Climatology*. (in press).
- Tonguç, Ö. (1998). Determination of heavy metal levels in some moss species around thermic power stations. *Turkish Journal of Biology*, 22(2), 171-180.
- TUIK (Turkish Statistical Institute). (2022). *Katı Yakıtların Teslimat Yerlerine Göre Dağılımı*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kati-Yakitlar-Aralik-2022-49693>
- TUIK (Turkish Statistical Institute). (2024). *Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Enerjisi Üretimi ve Payları*. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Cevre-ve-Enerji-103>
- Tuncel, S. G., & Yenisooy-Karakaş, S. (2003, 10-12 Eylül). Ege Bölgesi'nde kirlilik kaynaklı metallerin coğrafik dağılımı. *Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü VI. Ulusal Sempozyumu*, İzmir, 358-368.
- Türkan, I., Henden, E., Çelik, Ü., & Kivilcim, S. (1995). Comparison of moss and bark samples as biomonitors of heavy metals in a highly industrialised area in Izmir, Turkey. *Science of the Total Environment*, 166(1-3), 61-67. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04518-6](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04518-6)
- Ugur, A., Özden, B., Saç, M. M., Yener, G., Altınbaş, Ü., Kurucu, Y., & Bolca, M. (2004). Lichens and mosses for correlation between trace elements and <sup>210</sup>Po in the areas near coal-fired power plant at Yatağan, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 259, 87-92. <https://doi.org/10.1023/B:JRNC.0000015811.68036.69>
- Uğuz, U. (2007). *Karabük Demir-Çelik İşletmeleri (Kardemir)'in çevrede oluşturduğu ağır metal birikiminin biyomonitör olan karayosunları (mosses) üzerinden araştırılması* (Yayın Numarası. 199806) [Doktora tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi Açık Erişim Sistemi.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). (1987). *Cadmium Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Inhalation Exposure*. [https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance\\_nmbr=141](https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=141)
- USEPA (United States Environmental Protection Agency).

- (2006). *Air Quality Criteria for Lead: Volume I and II* (2006). <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=158823>
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2024). *Chromium Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Inhalation Exposure*. [https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance\\_nmbr=144](https://iris.epa.gov/ChemicalLanding/&substance_nmbr=144)
- Uyar, G., Ören, Muhammet., Yildirim, Y., & Ince, M. (2007). Mosses as indicators of atmospheric heavy metal deposition around a coal-fired power plant in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16 (2), 182-192.
- Uyar, G., Yildirim, Y., & Ören, M. (2005). *Çatalağzı Termik Santrali ve Ereğli Demir Çelik işletmelerinin çevrede oluşturdukları ağır metal birikiminin biyomonitör olan karayosunları üzerinden araştırılması*. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Proje No: TBAG-2202 (102T100).
- Uysal, I., Akmaz, R. M., Kapsiotis, A., Demir, Y., Saka, S., Avcı, E., & Müller, D. (2015). Genesis and geodynamic significance of chromitites from the Orhaneli and Harmancık ophiolites (Bursa, NW Turkey) as evidenced by mineralogical and compositional data. *Ore Geology Reviews*, 65(1), 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.08.006>
- Varela, Z., Fernández, J. A., Real, C., Carballeira, A., & Aboal, J. R. (2015). Influence of the physicochemical characteristics of pollutants on their uptake in moss. *Atmospheric Environment*, 102, 130-135. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.061>
- Wolterbeek, B. (2002). Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environmental Pollution*, 120(1), 11-21. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00124-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00124-0)
- Yayıntaş, Ö., & Yayıntaş, A.N. (2001). *Tohumusuz bitkiler sistemi II*. Niğde Üniversitesi Yayinevi.
- Zechmeister, H. G. (1998). Annual growth of four pleurocarpous moss species and their applicability for biomonitoring heavy metals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 52, 441-451. <https://doi.org/10.1023/A:1005843032625>
- Zhang, M., Cui, L., Sheng, L., & Wang, Y. (2009). Distribution and enrichment of heavy metals among sediments, water body and plants in Hengshuihu Wetland of Northern China. *Ecological Engineering*, 35(4), 563-569. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.05.012>



# GAP Bölgesi tarımında problemlerin tespiti ve durum analizi: Anket verileriyle bir inceleme

*Identifying problems and analyzing agricultural conditions in the GAP region: A survey-based study*

Sultan Duran<sup>a\*</sup>  Mesut Doğan<sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Ardahan Üniversitesi, İnsani Bilimler ve Edebiyat Fakültesi, Coğrafya, Ardahan, Türkiye.

<sup>b</sup> İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya, İstanbul, Türkiye.

ORCID: S.D. 0000-0002-7051-5363; M.D. 0000-0002-4926-5769

## BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 30.09.2024

Kabul/Accepted: 16.11.2024

### Anahtar Kelimeler:

GAP  
Anket çalışması  
Tarımsal üretim  
Kota örnekleme yöntemi

### Keywords:

GAP  
Survey study  
Agricultural production  
Quota sampling method

### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(S. Duran) sultanbolat@ardahan.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1558310



### Atf/Citation:

Duran, S., & Doğan, M. (2024). GAP Bölgesi tarımında problemlerin tespiti ve durum analizi: Anket verileriyle bir inceleme. *Türk Coğrafya Dergisi* (86), 129-141. <https://doi.org/10.17211/tcd.1558310>

## ÖZ/ABSTRACT

Bu çalışma, Güneydoğu Anadolu Proje (GAP) Bölgesi'ndeki tarımsal üretimin mevcut durumunu ve çiftçilerin karşılaştığı sorunları çiftçilerin bakış açısından anket verileri ile analiz etmeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, Çiftçi Kayıt Sistemi'ne (ÇKS) kayıtlı çiftçilerden kota örnekleme yöntemiyle seçilen 395 kişiyle yüz yüze anket yapılmıştır. Anketler, çiftçilerin arazi büyüklükleri, sulama olanakları, tarımsal gelir düzeyleri, kredi kullanım oranları, tarımsal girdilere erişim durumu ve iklim olaylarının tarımsal üretime etkileri gibi çeşitli konuları kapsamaktadır. Bulgular, GAP Bölgesi'nde tarımsal sulama projelerinin etkisinin yetersiz kaldığını ve çiftçilerin projeyi ağırlıklı olarak sulama odaklı bir girişim olarak algıladığını göstermektedir. Ayrıca, elektrik maliyetleri, ÇKS'ye kayıt süreçlerindeki zorluklar, ürünlerin düşük fiyatlarla pazarlanması ve iklim değişikliğine bağlı riskler çiftçilerin karşılaştığı başlıca sorunlar olarak öne çıkmaktadır. Çalışma, GAP Bölgesi'nde tarımsal üretim kapasitesini artırmak için sulama altyapısının güçlendirilmesi, enerji maliyetlerinin düşürülmesi, tarımsal eğitim programlarının yaygınlaştırılması ve tarım dışı gelir kaynaklarının teşvik edilmesi gibi stratejik müdahalelerin gerekliliğini vurgulamaktadır. Çiftçilerin risk yönetim stratejilerini benimsemeleri ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine katkı sağlayacak önemli adımlar olarak önerilmektedir.

*This study aims to analyze the current state of agricultural production and the challenges faced by farmers in the Southern Anatolia Project (GAP) region through survey data collected from their perspectives. A total of 395 farmers, registered in the Farmer Registration System (FRS), were selected using the quota sampling method, and face-to-face surveys were conducted. The surveys covered topics such as land size, irrigation facilities, agricultural income levels, credit usage, access to agricultural inputs, and the impacts of climatic events on production. The findings reveal that the effects of GAP's irrigation projects are insufficient, and farmers predominantly perceive the initiative as irrigation-focused. Key challenges identified include high energy costs, difficulties in FRS registration processes, low pricing in agricultural markets, and risks associated with climate change. The study emphasizes the need for strengthening irrigation infrastructure, reducing energy costs, expanding agricultural training programs, and promoting off-farm income sources to enhance agricultural production in the GAP region. Adopting risk management strategies and disseminating sustainable agricultural practices are recommended as critical steps to ensure the sustainability and resilience of agricultural production in the region.*

## Extended Abstract

### Introduction

The GAP is a multi-sectoral initiative aimed at fostering socio-economic development in Turkey's southeastern region. It primarily focuses on the sustainable use of water and land resources to improve agricultural productivity, enhance rural incomes, reduce rural-to-urban migration, and support industrialization. However, stakeholders, particularly farmers, perceive GAP as predominantly focused on irrigation, highlighting a potential mismatch between its broader objectives and local experiences. This study investigates the agricultural conditions and challenges faced by farmers in the GAP region, using survey data to analyze agricultural income, irrigation sufficiency, credit usage, access to agricultural inputs, and the impact of climate-related risks. The findings aim to provide actionable insights for policymakers to improve agricultural sustainability and resilience in the region.

### Data and Method

A survey-based methodology was adopted to collect data from 395 farmers registered in the FRS across the nine provinces of the GAP Region: Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa, and Şırnak. Participants were selected using quota sampling to ensure a representative sample. Data were collected through face-to-face interviews conducted in August 2023. The survey covered various aspects of agricultural practices, including land size, irrigation access, agricultural income, credit usage, and the impact of extreme weather events. Descriptive statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics v22.0 to identify patterns and insights.

### Results and Discussion

The survey revealed significant disparities in land ownership across the GAP region. Approximately 38.23% of respondents owned more than 100 decares of land, with Şanlıurfa (52.73%) and Şırnak (64.29%) having the highest proportions of large-scale farms. Conversely, Siirt exhibited a predominance of medium-scale farms, with 61.11% of respondents owning between 10 and 50 decares of land. This diversity in land ownership highlights varying agricultural dynamics and resource availability across the region. Farmers reported varying levels of agricultural income, with 33% earning a profit, 26% incurring losses, and 41% breaking even. Mardin had the highest proportion of farmers reporting financial losses, indicating significant economic challenges. To supplement their income, 62% of participants engaged in non-agricultural activities, particularly in provinces like Kilis, where 85% of respondents relied on trade. This trend underscores the importance of income diversification for livelihood security in the region.

Inadequate irrigation emerged as a critical issue, with 71.9% of respondents citing insufficient facilities. Farmers in Siirt and Şırnak reported complete irrigation inadequacy, while Şanlıurfa stood out with 51.82% of respondents indicating adequate irrigation. These findings suggest a need for prioritizing irrigation infrastructure development to address water scarcity and improve agricultural productivity. Energy costs, particularly for irrigation, posed significant challenges for farmers. Shared billing

practices and unpredictable electricity prices exacerbated financial burdens, especially for small and medium-scale farmers. High energy costs directly impacted profitability and discouraged investment in agricultural expansion. Additionally, low credit utilization rates were observed, with 69% of farmers never using credit. Kilis had the highest credit usage rate (31%), highlighting disparities in access to financial resources across the region.

Extreme weather events, particularly drought, were identified as major threats to agricultural productivity. Drought affected 356 respondents, with Şanlıurfa and Gaziantep being the most impacted provinces. Other significant climatic risks included irregular rainfall, hail, frost, and flooding. Despite these challenges, 64% of respondents did not adopt any specific risk management strategies, underscoring the need for enhanced education and support programs to build adaptive capacity. When asked about GAP's implementation, 74% of respondents believed that the project had not been realized in their localities. Only 10% perceived implementation at an 80-100% level, primarily in Şanlıurfa. This indicates a disconnect between project objectives and local perceptions, necessitating improved communication and stakeholder engagement to enhance project visibility and effectiveness.

The study identifies a range of challenges faced by farmers in the GAP Region, including inadequate irrigation infrastructure, high energy costs, limited access to financial resources, and vulnerability to climate-related risks. To address these pressing issues, several recommendations have been proposed. First, accelerating the completion of irrigation projects and investing in water-efficient technologies are essential to mitigate water scarcity and improve agricultural productivity. Second, introducing energy subsidies and promoting alternative energy solutions for irrigation can help alleviate the financial burden posed by high electricity costs, which significantly impact farmers' profitability. Third, simplifying credit application processes and developing tailored financial products for small and medium-scale farmers would improve their access to much-needed resources for agricultural investments.

Moreover, enhancing farmers' capacity to manage climate risks through training programs on adaptive strategies, such as crop diversification and agricultural insurance, is critical for building resilience. Expanding technical assistance programs to promote the adoption of sustainable farming practices would further strengthen the agricultural sector's long-term viability. Finally, establishing cooperatives and alternative marketing channels would provide farmers with better access to markets, reducing their reliance on intermediaries and addressing issues like low product pricing and market monopolization. A holistic approach that integrates agricultural, economic, and environmental dimensions is vital to ensure the sustainable development of the GAP region. By addressing these challenges and implementing targeted interventions, policymakers can significantly enhance the region's agricultural productivity and resilience, ultimately contributing to the socio-economic well-being of local communities.

## 1.Giriş

Tarım sektörü, insanlık tarihinin en eski ekonomik faaliyetlerinden biri olup geçmişten günümüze kadar sürekli önemini artırarak gelmiştir. Dünya nüfusunun sürekli artması, tarım alanlarının farklı amaçlarla kullanılması ve çevre ile hava koşullarının bozulması, tarımın küresel ve ulusal ölçekteki önemini daha da artırmaktadır (Doğan, 2005: 66). Türkiye’de tarım sektörü, geniş bir iş gücünü istihdam ederek temel gıda maddelerinin üretimini sağlamakta, sanayi sektörüne hammadde temin etmekte ve aynı zamanda sanayi ürünleri için talep oluşturarak ulusal gelire önemli katkılarda bulunmaktadır. Tarım sektörünün bu çok yönlü rolü, onu Türkiye ekonomisinin önemli bir bileşeni haline getirmektedir (Bayar, 2018: 187-188; Sertkaya Doğan, 2012: 92).

GAP’ın tarımsal kalkınma boyutu, bölgenin su ve toprak kaynaklarının rasyonel bir şekilde işletilmesi fikrinden hareketle tasarlanmıştır. Bu çerçevede, GAP’ın tarımsal kalkınma hedefleri arasında kırsal kesimde gelir düzeyini artırmak, bölge sanayisi için girdi sağlamak, kırdan kente göçü asgariye indirmek ve üretimi ihracata yönelik olarak artırmak yer almaktadır. Sulama projelerinin tamamlanmasıyla bölgedeki tarım ve sanayi potansiyelinin yükselmesi, gelir seviyesinin beş katına çıkarılması ve nüfusu 9-10 milyona ulaşacak bölge halkının yaklaşık 3-5 milyonuna iş imkânı sağlanması hedeflenmektedir (Ökten & Çeken, 2008: 17). GAP, bu özellikleriyle, bölgesel kalkınmanın ana motoru veya itici gücü olarak görülen tarım sektörü için önemli bir potansiyel teşkil etmektedir (GAP-BKİ, 2005: 20). Bu potansiyelden dolayı GAP Bölgesi, "tarım ve tarıma dayalı ihracat" ağırlıklı bir bölge olarak değerlendirilmektedir (Benek, 2013).

GAP’ın tarihçesi incelendiğinde, bu projenin temellerinin 1930’lu yıllara kadar uzandığı görülmektedir. İlk olarak Fırat ve Dicle nehirlerinin kontrol altına alınması amaçlanarak enerji ve sulama projeleri geliştirilmiştir. 1954’te Devlet Su İşleri (DSİ) kurulmasıyla birlikte havza bazlı çalışmalara geçilerek Türkiye 26 havzaya ayrılmıştır. 1977’de ise Aşağı Fırat ve Dicle havzaları için hazırlanan projeler bir araya getirilerek GAP oluşturulmuştur. Başlangıçta Fırat ve Dicle nehirleri üzerinde sulama ve hidroelektrik enerji üretimi odaklı olarak planlanan GAP, zamanla kentsel ve kırsal altyapının yanı sıra sosyal alanları kapsayan geniş kapsamlı bir kalkınma programına dönüşmüştür. Çok sektörlü bir yapıya sahip olan GAP; tarım, enerji, altyapı, sanayi, eğitim, sağlık ve turizm gibi pek çok alanda, bölgenin sürdürülebilir kalkınmasına katkı sağlamayı amaçlayan projeler bütünü olarak öne çıkmaktadır (Bakırcı, 2007: 170; GAP-BKİ, 2008: 5). Dünyada, GAP benzeri projeler arasında Tennessee Vadisi Yönetimi (TVA) öne çıkmaktadır. 1933 yılında ABD’de kurulan TVA, su yönetimi ve bölgesel kalkınma alanlarında birçok ülkeye model olmuştur (Barrow, 1998). TVA’nın başarıları, İtalya’daki Mezzogiorno projesi (Leonardi, 1995), Japonya’daki Hokkaido Kalkınma Ajansı (MLIT, 2008) ve Güneydoğu Asya’daki Mekong Nehri Komisyonu gibi projelere ilham kaynağı olmuştur (Jacobs, 2002; MRC, 2024). GAP’ta, bu küresel projeden ilham alınarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin kalkınmasını amaçlayan bir girişim olarak hayata geçirilmiştir (Bilgen, 2019).

Literatürde GAP üzerine yapılan çalışmalar, projenin su kaynaklarının yönetimi, hidroelektrik enerji üretimi ve sulama potan-

siyeli üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır (Kirişçi, 1996; Yuksel, 2012; Akpınar & Kaygusuz, 2012; Kankal vd., 2016; Yenigun vd., 2021). Ayrıca, bölgedeki iklim değişikliğinin tarımsal üretim ve su yönetimi üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar da önem taşımaktadır (Tonkaz vd., 2007; Gumus vd., 2021; Gümüüş vd., 2023). GAP bağlamında ele alınan bir diğer önemli konu, tarımsal mekanizasyon ve çiftçi memnuniyetidir (Kirişçi, 1996; Aydogdu ve Yenigün, 2016; Sevinç vd., 2019; Vurgun & Aydoğdu, 2024). Örneğin, Turker vd., (2011), projenin tarımsal mekanizasyon düzeyine olan etkilerini değerlendirirken, Aydogdu vd., (2021) Şanlıurfa’daki çiftçilerin memnuniyet düzeylerini analiz ederek GAP’ın tarımsal üretimdeki rolüne dair kapsamlı veriler sunmaktadır.

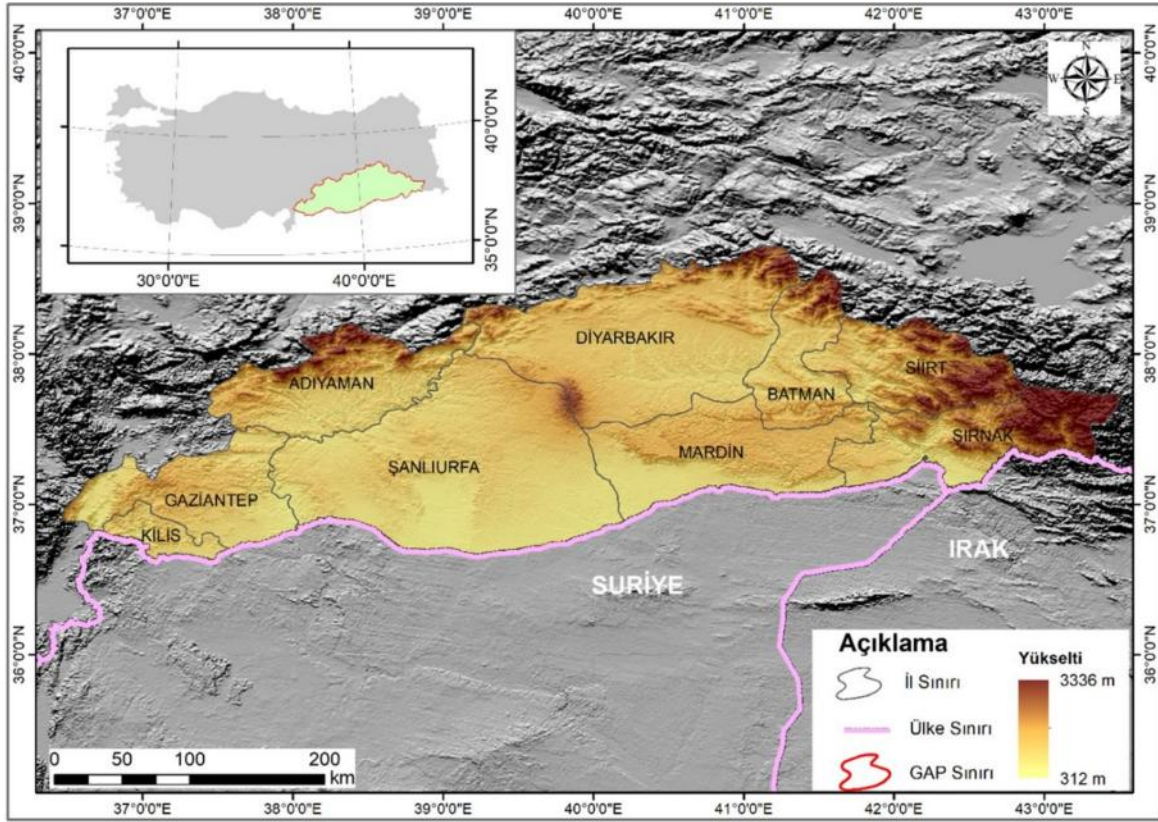
Mevcut literatürde GAP’ta tarımsal faaliyetlere yönelik çalışmalar genellikle belirli il ve ilçe ölçeğinde incelenmiştir. Bu durum, GAP Bölgesi’nde yaşanan tarımsal sorunların çiftçiler tarafından daha geniş bir perspektiften değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmanın temel amacı, GAP Bölgesi’ndeki tarımsal üretimle ilgili mevcut durumu çiftçilerin bakış açısından anket verileri aracılığıyla analiz etmektir. Bu çalışmada, GAP’ın tarımsal üretim, ekonomik yapı ve çevresel koşullar üzerindeki etkilerini değerlendirirken, çiftçilerin proje hakkındaki algılarını, karşılaştıkları sorunları ve geleceğe yönelik beklentilerini belirlemeyi hedeflemektedir. Ayrıca, tarımsal gelirlerin yeterliliği, kredi ve destek mekanizmalarının etkinliği ile iklim değişikliği gibi dışsal faktörlerin üretim üzerindeki etkileri de incelenmektedir. Çalışma, GAP’ın bölgesel kalkınmaya katkılarını değerlendirmek ve çiftçilerin ihtiyaçlarını ne ölçüde karşıladığını saptamak amacıyla, bölgedeki tarımsal kalkınmanın önündeki engelleri ve iyileştirme gereksinimlerini kapsamlı bir şekilde tespit etmeyi amaçlamaktadır.

### 1.1. Araştırma Sahasının Konumu ve Coğrafi Özellikleri

Kayseri GAP Bölgesi, Türkiye’nin güneydoğusunda stratejik bir konumda bulunmakta olup yaklaşık 76.000 km<sup>2</sup>’lik bir alanı kaplamaktadır. Bu bölge, coğrafi konumu itibarıyla doğu ve kuzeyinde Doğu Anadolu Bölgesi, batısında Akdeniz Bölgesi ile sınırlanmıştır. Bölgenin güney sınırında Suriye ve küçük bir kısımda da Irak bulunmaktadır. Fırat ve Dicle Nehirlerinin oluşturduğu verimli havzada, tarihsel olarak Yukarı Mezopotamya olarak bilinen bu bölge, “Adıyaman, Kilis, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Mardin, Siirt, Şanlıurfa ve Şırnak” illerini kapsamaktadır (GAP-BKİ, 2021; Şekil 1).

Çalışma alanının ortalama yükseltisi 500-800 metre arasında değişiklik göstermektedir. Şanlıurfa’da Tek Tek Dağları (800 m) ve Diyarbakır’da Karacadağ (1919 m) gibi belirgin dağlık formasyonlar bulunmaktadır. Ayrıca, Mardin Eşiği’nin yüksekliği 1500 m’yi aşmamaktadır. Güneydoğu Anadolu’da iklim koşulları, genellikle kıtasal bir iklim olan step ikliminin özelliklerini yansıtmaktadır. Bu bölgede iklim, güneyden gelen kurak tropikal hava ile Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleri’nin ikliminin etkisi altındadır. Bölgenin iklimi, yaz aylarında sıcak ve kuru, kış aylarında ise serin ve yağışlıdır; bu iklimsel özellikler, sıcaklık farklılıklarının belirgin olmasına neden olmaktadır. Kurak dönem, genel olarak Mayıs ayından Kasım ayına kadar devam etmektedir. Yükseltisi 700-800 metreyi geçmeyen alanlar, orman gelişimi için uygun olmayan step ekosistemleri ile kaplıdır. İnsan aktiviteleri, bu ormanlık alanların tahrip edilmesine





Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

ve ağaçların temizlenerek tarım arazilerine dönüştürülmesine neden olmuştur (Sözer, 1984: 11; Özçağlar, 1988: 146; Atalay & Mortan, 2011).

GAP Bölgesi, Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %10,8'ini oluşturmaktadır. Bölgenin 2.467,5 bin hektarı I., II. ve III. sınıf arazilerden oluşmakta olup, burada yoğun tarımsal faaliyetler gerçekleştirilmektedir. Tarımsal verimliliği sınırlı olan IV. sınıf araziler (649,3 bin hektar) de dikkate alındığında, bölgedeki toplam tarıma uygun topraklar, toplam yüzölçümünün yaklaşık %42,2'sine tekabül etmektedir (GAP-BKİ, 2023: 26). TÜİK 2023 yılı verilerine göre, tarım alanlarının %70,7'si tahıl ve diğer bitkisel ürünler için kullanılmakta olup, en fazla üretilen tarım ürünleri arasında kırmızı mercimek, pamuk ve buğday öne çıkmaktadır. Meyve ve baharat bitkileri %21,69 oranıyla ikinci sırada yer almakta, badem, Antep fıstığı ve biber ise bölgede en çok üretilen bitkisel ürünler olarak kaydedilmektedir. GAP'ta gelişmiş sanayi kolları tarıma dayalıdır ve sulama imkanlarının artırılması, tarımsal üretimde önemli bir artışa yol açarak tarıma dayalı sanayi sektörlerinin de olumlu yönde gelişimini sağlamıştır. Özellikle tekstil ve gıda gibi tarımsal girdilere dayanan sanayi dalları hızla büyümektedir. Ancak sanayi işletmeleri ve istihdam bakımından GAP, Türkiye'nin diğer bölgelerine kıyasla daha düşük seviyelerde kalmakta ve istenilen gelişim düzeyine henüz ulaşamamıştır. GAP, Türkiye genelinde işletme sayısının %5,3'ünü ve istihdamın %5,7'sini karşılamaktadır. Nüfus özelliklerine bakıldığında; 2023 verilerine göre, GAP Bölgesi'nin toplam nüfusu 9.410.624 olarak belirlenmiş olup, Gaziantep 2.164.134, Şanlıurfa 2.213.964 ve Diyarbakır 1.818.133 kişi ile bölge nüfusunun büyük bir kısmına sahip iller arasında yer almaktadır. Nüfus hareketleri incelendiğinde, 1975 yılından itibaren bölgenin net göç hızının genellikle negatif olduğu ve GAP Projesi'nin göç dinamikleri üzerinde sınırlı bir etki yarattığı an-

laşılmaktadır (Duran, 2024).

## 2. Yöntem

Bu çalışmada, GAP Bölgesi'nde ilçe ölçeğinde anketler gerçekleştirilmiştir. Anket çalışması, Ardahan Üniversitesi Etik Kurul Başkanlığı tarafından 20.09.2024 tarihinde 2400031882 sayılı karar ile onaylanmıştır. Anketler, ÇKS'ye kayıtlı çiftçilerin toplam sayısı üzerinden yapılmış olup bu veriler, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. GAP Bölgesi'nde Tarım ve Orman Bakanlığı'nın 2022 yılı verilerine göre ÇKS'ye kayıtlı çiftçi sayısının 218.366 olduğu tespit edilmiştir.

Tüm üreticilerle anket yapılmasının pratik olarak mümkün olmaması nedeniyle, ana kitleyi temsil eden yeterli sayıda üretici, kota örnekleme yöntemi kullanılarak seçilmiştir. Kota örnekleme yöntemi, olasılıksız örnekleme yöntemlerinden biridir ve belirli demografik, coğrafi, yaş, cinsiyet veya sosyo-ekonomik özelliklere dayalı olarak hedef kitleyi sınırlayarak bu özellikleri taşıyan katılımcıları örnekleme dahil etme imkânı sağlar. Bu yöntem, araştırmanın belirli alt grupları temsil eden veri toplamayı amaçladığı durumlarda kullanılır. Özellikle kaynak ve zaman kısıtlamaları altında etkili bir veri toplama stratejisi sunar, çünkü belirli kriterlere dayalı olarak seçilen örnekler, araştırmanın amaçlarına uygun bir temsil sağlar. Kota örnekleme, bu nedenle, hedef grupların özelliklerini yansıtmak için özellikle yararlıdır (Bailey, 1978; Cohen vd., 2007).

Örnekleme büyüklüğünü belirlemek için aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$n = \frac{Nt^2pq}{d^2(N-1)+t^2}$$

(1)

$n$ = Örneklem sayısı

$N$ = Popülasyon büyüklüğü (218.366)

$d$ = Hata payı (%5)

$p$ = Ortalamadan daha küçük değerlerin oluşma olasılığı (0.5)

$q$ = Ortalamadan daha büyük değerlerin oluşma olasılığı (1-

$p=0.5$ )

$t$ = Güven sınırı tablosu değeri (1.96)

Bu hesaplamalar sonucunda örneklem büyüklüğü en az 383 olarak belirlense de çalışmada toplamda 395 çiftçi ile anket yapılmıştır. Anketlerde, her il için gerekli örneklem büyüklüğünü belirlemek amacıyla kota oranı hesaplanmıştır. Kota oranı şu formülle belirlenmiştir:

Her bir ilin kota oranı:

**Kota Oranı:**  $ki/kt$

(2)

Formüle;  $ki$  her bir il için ait ÇKS'ye kayıtlı kişi sayısıdır.  $kt$  ise toplam ÇKS'ye kayıtlı kişi sayısıdır.

Her bir ilden alınması gereken anket sayısı:

**Anket Sayısı=Kota Oranı\*n**

(3)

Anketler, çiftçilerin tarımsal deneyimleri, arazi büyüklükleri, ekilen ürün çeşitliliği, sulama durumları, tarımsal ekipman varlığı, ekstrem hava olaylarının sıklığı, GAP'ın etkileri ve gelir durumu gibi konularda veri toplamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Anketler, Ağustos 2023'te yüz yüze görüşmeler yoluyla yapılmış ve elde edilen veriler Excel programına aktarılmıştır. Veriler, "IBM SPSS Statistics v22.0" programında deskriptif istatistik kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, sayısal ve oransal değerler elde edilmiş ve grafikler aracılığıyla yorumlanmıştır.

### 3. Bulgular

Kota örnekleme yöntemi ile belirlenen hedef anket sayıları, her ilin Çiftçi Kayıt Sistemi'ne (ÇKS) kayıtlı kişi sayısına orantılı olarak dağıtılmıştır. Anket çalışması ilçe ölçeğinde uygulanmış olsa da bu makalede il düzeyinde bir analiz yapılmıştır.

Planlanan anket sayısı 383 iken, bazı illerde hedeflenen sayının üzerine çıkılarak toplamda 395 anket gerçekleştirilmiştir. Bu durum, çalışmanın genel katılım oranının %103,13 seviyesine ulaşmasını sağlamıştır. İller bazında incelendiğinde, Gaziantep ve Şanlıurfa gibi illerde planlanan anket sayısının üzerinde uygulama gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık, Adıyaman, Diyarbakır ve Kilis illerinde hedeflenen anket sayısına ulaşamamıştır (Tablo 1).

**Tablo 1.** Anket sayılarının illere göre dağılımı.

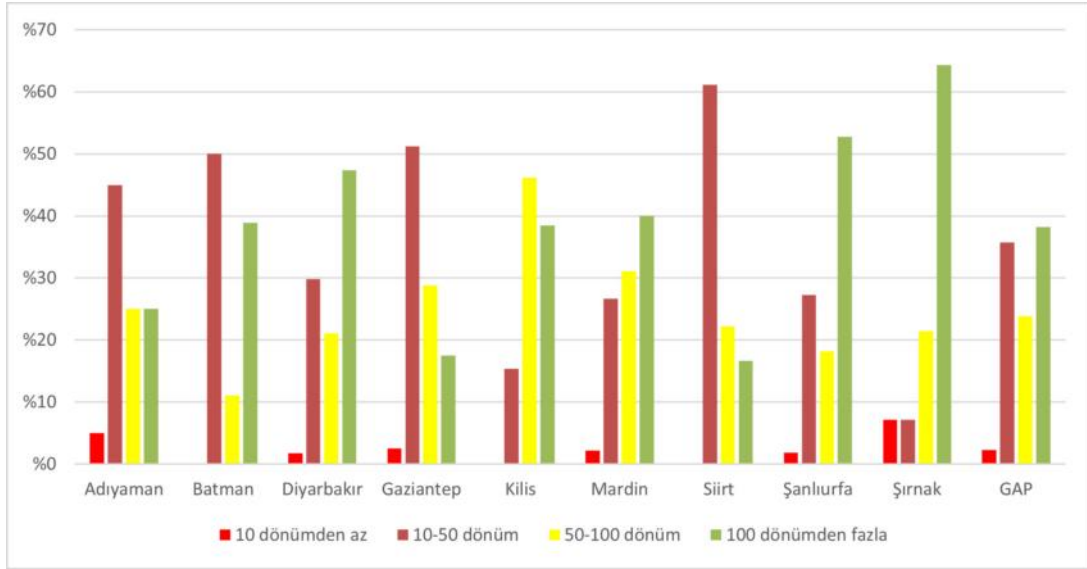
**Table 1.** Distribution of survey numbers by province.

	ÇKS'ye kayıtlı kişi sayısı (2023)		Yapılması gereken anket sayısı	Yapılan anket sayısı		
	Kişi	%		Kişi	Frekans	Yüzde
ADİYAMAN	29.232	13,39	51	40	10,13	10,1
BATMAN	8.453	3,87	15	18	4,56	14,7
DİYARBAKIR	34.760	15,92	61	57	14,43	29,1
GAZİANTEP	40.857	18,71	72	80	20,25	49,4
KİLİS	9.447	4,33	17	13	3,29	52,7
MARDİN	21.527	9,86	38	45	11,39	64,1
SIİRT	8.410	3,85	15	18	4,56	91,9
ŞANLIURFA	60.622	27,76	106	110	27,85	96,5
ŞIRNAK	5.058	2,32	9	14	3,54	100
GAP	218.366	100	383	395	100	-

Katılımcıların cevaplarına göre GAP genelinde, katılımcıların %38,23'ü 100 dönümden fazla araziye sahip olduklarını belirtmiştir. İl bazında incelendiğinde, Adıyaman (%25,00), Batman (%38,89), Diyarbakır (%47,37), Kilis (%38,46), Mardin (%40,00), Şanlıurfa (%52,73) ve Şırnak (%64,29) illerinde büyük ölçekli (100 dönümden fazla) tarımsal arazilerin oranı yüksektir. Bu illerde büyük ölçekli tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu anlaşılmaktadır. Diğer yandan, Siirt ilinde ise katılımcıların çoğunluğu (%61,11), 10-50 dönüm arasında araziye sahip olduklarını ifade etmiştir. Bu, Siirt'te orta ölçekli tarım arazilerinin daha yaygın olduğunu göstermektedir (Şekil 2).

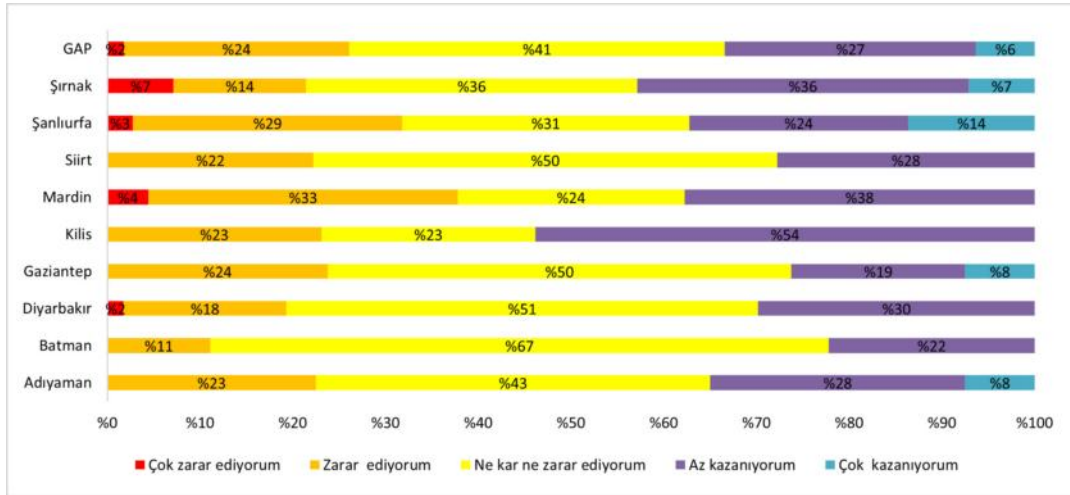
GAP genelinde, katılımcıların %26'sı tarımsal faaliyetlerden az veya çok zarar ettiklerini ifade ederken, %33'ü az veya çok kazandıklarını belirtmiştir. Diğer yandan, %41'i ne kâr ne zarar ettiklerini dile getirmiştir. Bu veriler, GAP Bölgesi'nde tarımsal gelirlerin geçim sağlama açısından geniş bir yelpazede değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır. İller bazında yapılan değerlendirmede, Mardin ilinde zarar edenlerin oranı diğer illere göre daha yüksektir, bu da Mardin'de tarımsal gelirlerin geçim için yeterli olmadığını göstermektedir Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Siirt ve Şırnak illerinde ise tarımsal gelirin geçim sağlama konusunda daha yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Bu illerde katılımcılar daha fazla kazanç sağladıklarını ifade etmişlerdir (Şekil 3).

GAP Bölgesi'nde katılımcıların %38'i herhangi bir işte çalışmadığını belirtirken, %62'si ise tarım dışı ek gelir elde etmeye yönelik faaliyetlerde bulunmaktadır. Bu durum, bölgedeki çiftçilerin genel olarak farklı geçim kaynaklarıyla gelirlerini çeşitlendirmeye çalıştıklarını göstermektedir. İller bazında değerlendirildiğinde, Adıyaman (%45) ve Şanlıurfa (%49), tarımsal faaliyetlerin daha baskın bir geçim kaynağı olduğu iller olarak öne çıkmaktadır. Diğer yandan Kilis, çiftçilerin %85'inin ticaretle uğraştığı, tarım dışı faaliyetlerin en yoğun olduğu il olarak dikkat çekmektedir (Şekil 4).



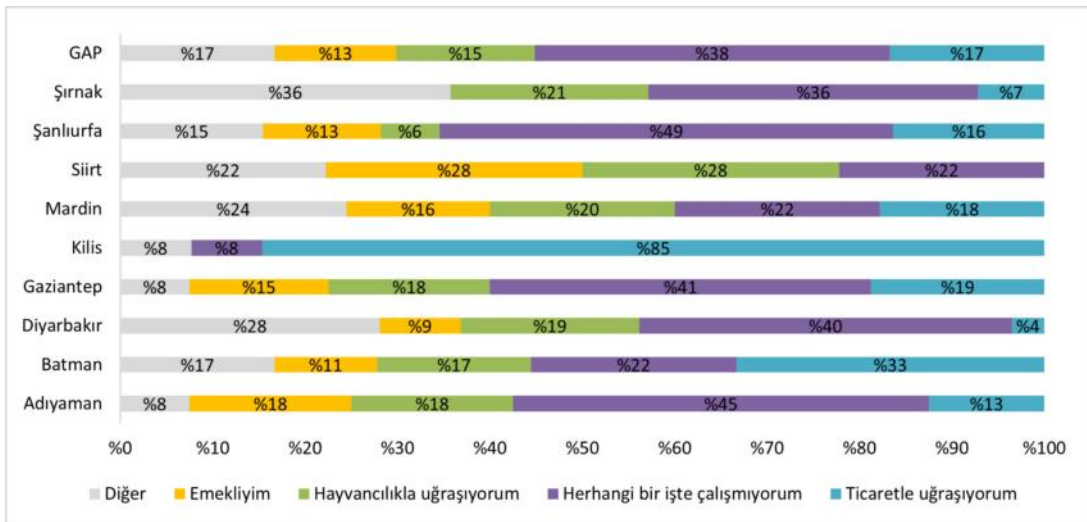
Şekil 2. Sahip olunan arazi miktarı ne kadar?

Figure 2. How much land is owned?



Şekil 3. Tarımsal geliriniz sizin geçiminiz için yeterli midir?

Figure 3. Is your agricultural income sufficient for your living?



Şekil 4. Tarım dışında başka bir işle uğraşıyor musunuz?

Figure 4. Are you engaged in any other business other than agriculture?

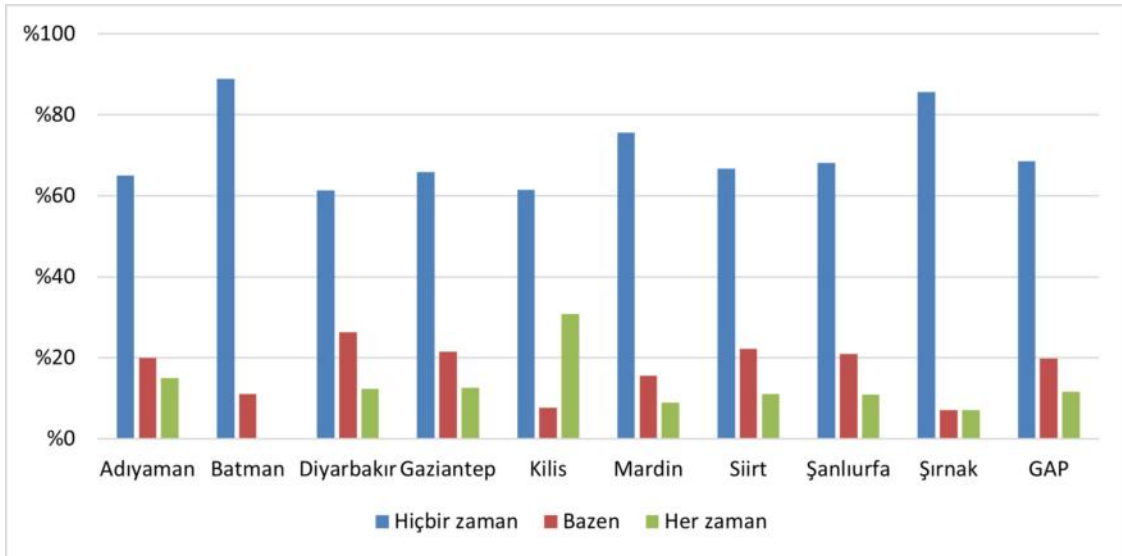
GAP bölgesinde katılımcıların %69'u hiçbir zaman kredi kullanmadıklarını belirtmiştir. Genel olarak, kredi kullanım oranları il bazında da düşüktür. Kilis, %31 ile en fazla kredi kullanımına sahip ildir. Buna karşılık, Batman'da katılımcılardan hiçbiri kredi kullanım durumunu "her zaman" olarak belirtmemiştir. Mardin (%9) ve Şırnak (%7) ise sürekli kredi kullanım oranlarının %10'un altında kaldığı iller olarak dikkat çekmektedir. Bu veriler, GAP Bölgesi'ndeki çiftçilerin büyük çoğunluğunun finansman ihtiyaçlarını kendi kaynaklarından karşılamaya çalıştıklarını göstermektedir (Şekil 5).

GAP Bölgesi'ndeki katılımcıların %64'ü, tarımsal üretim konusunda risk ve belirsizliği azaltmak için herhangi bir yöntem başvurmadıklarını belirtmiştir. İller bazında değerlendirildiğinde, Kilis'te (%31) "herhangi bir yöntem başvurmam" diyenlerin oranının düşük olduğu ve çoğunluğun risk ve belirsizlik konusunda farklı yöntemler denediği anlaşılmaktadır. Ürünlerde çeşitlendirmeye gidildiğini belirtenlerin ise bölgede neredeyse hiç olmadığı (%1) gözlemlenmiştir. Tarım dışı ek gelir sağlama ve tarım sigortası kullanımı da risk ve belirsizliği azaltmada tercih edilen yöntemler arasında yer alsa da, bölge ge-

nelinde katılımcılar, risk ve belirsizlik konusunda herhangi bir yöntem başvurmadıkları görülmektedir (Şekil 6).

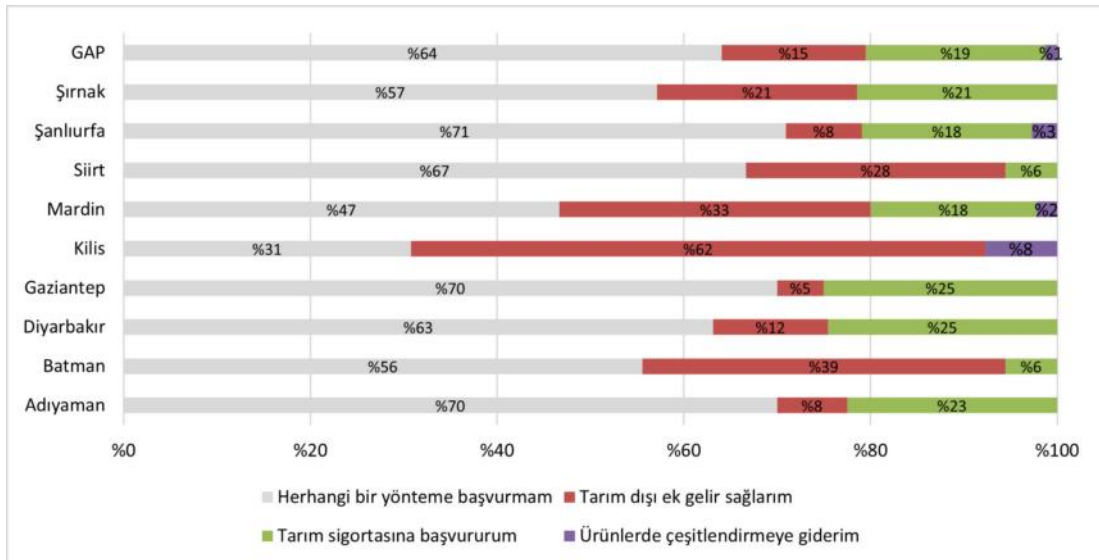
GAP Bölgesi'ndeki katılımcıların %75'i, tarımsal faaliyetlerini mevcut durumlarını koruyarak sürdürmeyi planladıklarını belirtmiştir. İşletmelerini büyütmeyi düşünenlerin oranı ise bölge genelinde %9 gibi düşük bir seviyede kalmaktadır. Bu, tarımsal faaliyetlerde yenilikçi veya genişletici bir yaklaşımın pek yaygın olmadığını göstermektedir. İl bazında bakıldığında, özellikle Şırnak'ta (%93) mevcut durumu korumak isteyenlerin oranı oldukça yüksekken, Şanlıurfa'da (%25) tarımsal faaliyetleri terk etmek isteyenlerin oranının diğer illere göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 7).

Anket çalışmasında GAP Bölgesi'ndeki katılımcılara, GAP'ın bölgelerinde gerçekleşme oranı sorulmuştur. Genel olarak, katılımcıların %74'ü GAP'ın kendi bölgelerinde hiç gerçekleşmediğini belirtmiş, %8'i %0-30 oranında, %5'i %30-50 oranında, %4'ü %50-80 oranında ve %10'u %80-100 oranında gerçekleştiğini ifade etmiştir. Özellikle Gaziantep (%90), Kilis (%92), Mardin (%89), Siirt (%89) ve Şırnak (%86) illerinde katı-



Şekil 5. Tarımsal veya diğer kuruluşlardan kredi alıyorsunuz mu?

Figure 5. Do you receive loans from agricultural or other organizations?



Şekil 6. Tarımsal üretim konusunda risk ve belirsizliği azaltmak için hangi yöntem başvurursunuz?

Figure 6. Which method would you use to reduce risk and uncertainty in agricultural production?

İlimcilerin büyük çoğunluğu GAP'ın hiç gerçekleşmediğini belirtmiştir. Şanlıurfa'da ise katılımcıların %24'ü GAP'ın %80-100 oranında gerçekleştiğini düşünmektedir (Şekil 8). Bu bulgular, GAP'ın bölgede istenen düzeyde uygulanmadığını ve katılımcıların büyük bir çoğunluğunun proje ilerleyişinden memnun olmadığını göstermektedir.

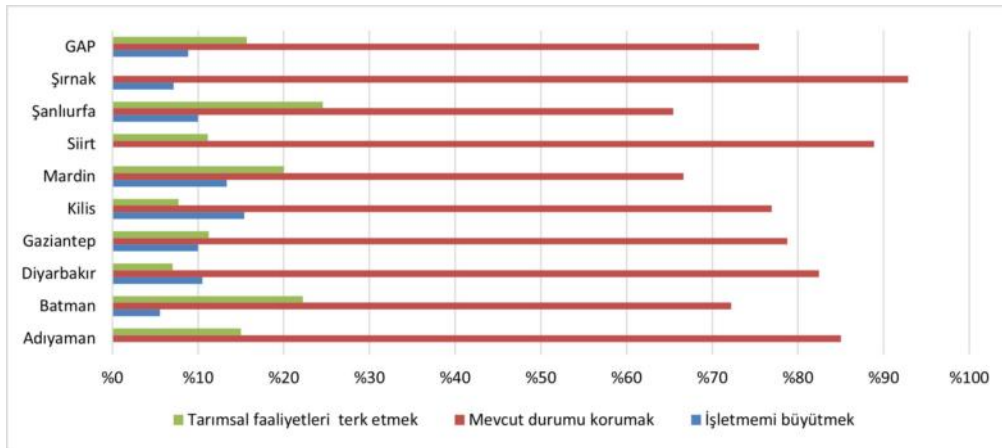
Tarımsal sulama yeterliliği açısından, katılımcıların genel olarak %28,10'u sulamanın yeterli olduğunu belirtirken, %71,90'ı sulamanın yetersiz olduğunu ifade etmiştir. Özellikle Siirt ve Şırnak illerinde katılımcılar, sulamanın tamamen yetersiz olduğunu ifade etmişlerdir (her ikisi de %0). Buna karşılık, Şanlıurfa'da katılımcıların %51,82'si sulamanın yeterli olduğunu belirtmiştir (Tablo 2).

Tarım girdilerine (gübre, tohum, yakıt vb.) erişim konusunda ise, katılımcıların %89,11'i girdilere rahatlıkla ulaşabildiklerini, %10,89'u ise ulaşamadıklarını belirtmiştir. Şırnak (%100) ve Adıyaman (%97,50) illerinde girdilere erişim konusunda en yüksek memnuniyet oranları gözlemlenmiştir. Ancak, Kilis ve Siirt illerinde bu oranlar sırasıyla %76,92 ve %77,78'e düşmektedir, bu da girdilere erişim konusunda belirli zorlukların yaşandığını göstermektedir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Tarımsal sulama ve tarım girdilerine ulaşım konularının yeterliliğine ait verilen cevaplar.

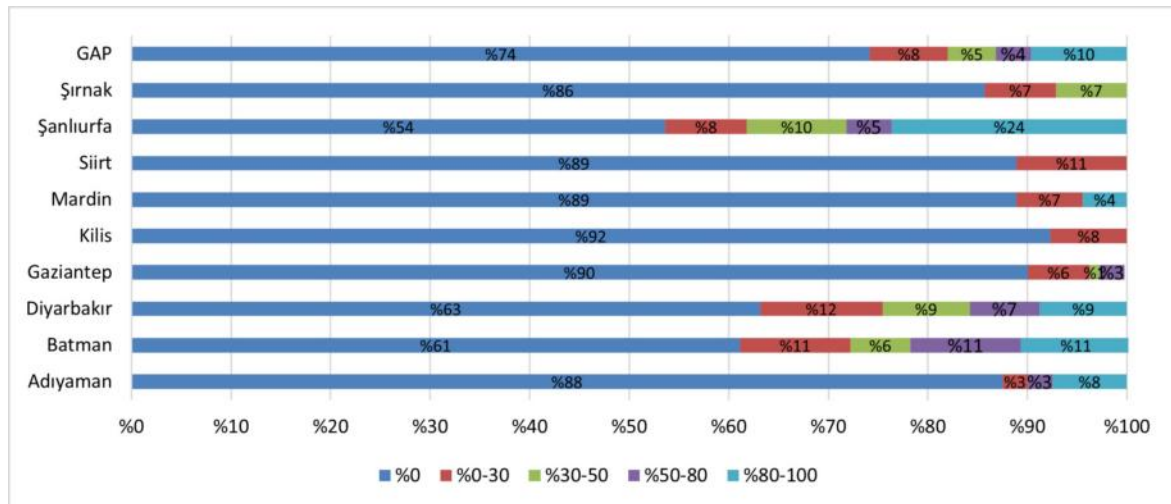
**Table 2.** Answers regarding the adequacy of agricultural irrigation and access to agricultural inputs.

Tarımsal sulama yeterli mi? (%)	Tarım girdilerine (Gübre, tohum, yakıt vb.) rahatlıkla ulaşabiliyor musunuz? (%)	
	Evet	Hayır
Adıyaman	25,00	75,00
Batman	27,78	72,22
Diyarbakır	21,05	78,95
Gaziantep	23,75	76,25
Kilis	23,08	76,92
Mardin	11,11	88,89
Siirt	0,00	100,00
Şanlıurfa	51,82	48,18
Şırnak	0,00	100,00
GAP	28,10	71,90



**Şekil 7.** Gelecekte tarımsal faaliyetler için planınız nedir?

**Figure 7.** What is your plan for agricultural activities in the future?



**Şekil 8.** Sizde GAP'ın sizin bölgenizde gerçekleşme oranı nedir?

**Figure 8.** In your opinion, what is the realization rate of GAP in your region?

Anket sonuçlarına göre, GAP Bölgesi'ndeki çiftçilere, tarımsal üretimlerini etkileyen başlıca iklim olayları sorulduğunda, katılımcıların büyük çoğunluğunun en çok kuraklıktan etkilendiği ortaya çıkmıştır. Bölge genelinde 356 kişi kuraklık nedeniyle tarımsal faaliyetlerinin olumsuz yönde etkilendiğini belirtmiştir. Kuraklık, özellikle Şanlıurfa (89 kişi) ve Gaziantep'te (77 kişi) en yüksek oranda hissedilmiştir. Bunun yanı sıra, yağış düzensizliği de önemli bir sorun olarak ortaya çıkmış, toplamda 166 katılımcı bu durumu belirtmiştir. Diyarbakır (40 kişi) ve Şanlıurfa (34 kişi) yağış düzensizliğinden en çok etkilenen iller olarak öne çıkmaktadır. Dolu ise, bölgedeki çiftçiler için önemli bir başka iklim olayıdır; özellikle Şanlıurfa (41 kişi), Adıyaman (23 kişi), Diyarbakır (22 kişi) ve Gaziantep'te (20 kişi) bu sorunun yaşandığı belirtilmiştir. Don olayları da Şanlıurfa (23 kişi) ve Gaziantep'te (26 kişi) yoğun olarak hissedilmiştir. Sel ve taşkınlar, bölge genelinde daha az etkili olmasına rağmen, Şanlıurfa'da (13 kişi) bu olaydan etkilendiğini belirten katılımcı sayısı diğer illere göre daha fazladır (Şekil 9).

Son olarak katılımcılara "GAP'ta eksik gördüğünüz hususlar var mı varsa nelerdir?" sorusu yöneltilmiş verilen cevaplar doğrultusunda aşağıda belirtilen birtakım problemlerin varlığı ortaya konmuştur.

#### ÇKS

GAP Bölgesi'nde tarımsal üretimi etkileyen önemli bir sorun, Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) ile ilgili yaşanan zorluklardır. Şanlıurfa (Suruç, Birecik, Bozova, Viranşehir, Merkez, Kızıltepe), Batman (Beşiri, Merkez), Diyarbakır (Dicle, Bismil), Adıyaman (Samsat, merkez), ve Gaziantep (Merkez, Nizip) gibi bölgelerde çiftçiler, mülkiyet hakları ve miras hukuku ile ilgili sorunlar nedeniyle arazilerini kendi adlarına kaydettirmek konusunda ciddi güçlükler yaşadıklarını ifade etmişlerdir. Bu zorluklar, özellikle tapu eksikliği bulunan çiftçilerin ÇKS'ye kaydolmalarını engelleyerek, tarımsal destek programlarından ve kredi imkanlarından yararlanmalarını zorlaştırmaktadır.

#### Enerji Maliyetleri ve Elektrik Problemleri

GAP Bölgesi'nde tarımsal sulama için kullanılan elektrik mali-

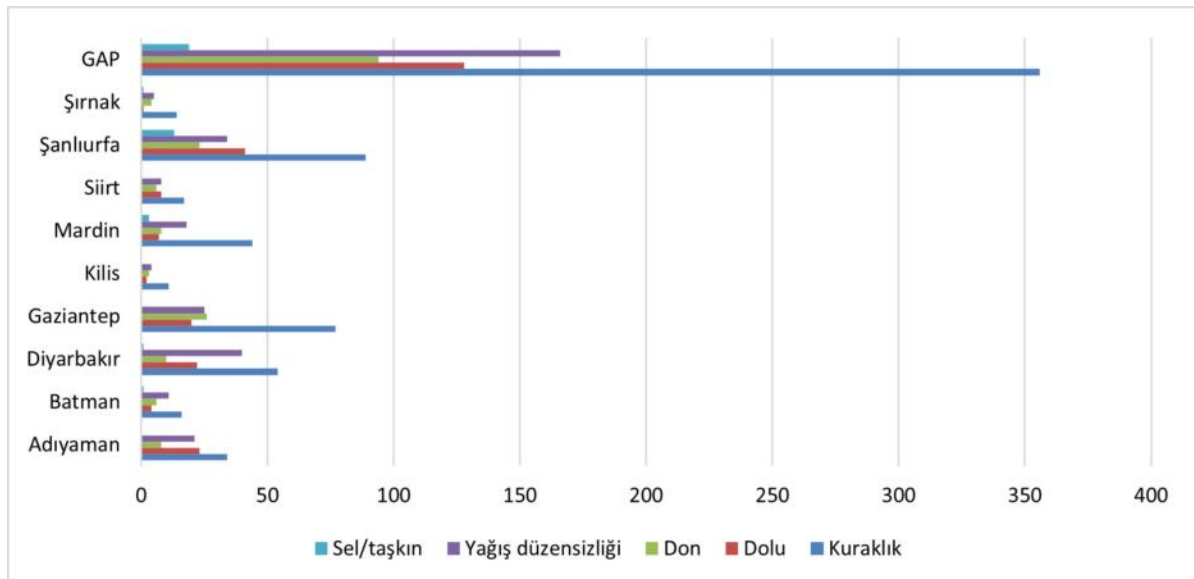
yetleri çiftçiler için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle Şanlıurfa (Suruç, Akçakale, Siverek, Hilvan), Diyarbakır (Yenişehir, Çınar) ve Mardin (Kızıltepe)'de yürütülen anket çalışması sırasında çiftçiler, elektrik maliyetleri konusunda yaşadıkları sıkıntılardan bahsetmişlerdir. Örneğin, Şanlıurfa'nın Siverek ilçesinde yürütülen anket çalışmasında bir çiftçi sondaj ile sulama yapılmasına rağmen, su maliyetinin çok yüksek olduğu ve bölgede faaliyet gösteren elektrik şirketinin tarım desteklerine el koyduğunu ifade etmiştir. Akçakale'de ise, 30 dönüm arazinin su parasının 200.000 TL'ye kadar çıkması, çiftçilerin sulama yeteneklerini ciddi şekilde kısıtladığı yönünde açıklamada bulunulmuştur. Bu durum, ürünlerin maliyetlerini artırmakta ve çiftçilerin kâr marjını azaltmaktadır. Kuyu sulama sistemine sahip çiftçiler, yüksek ve belirsiz elektrik fiyatlarından şikayetçidir. Elektrik kullanım miktarının doğru hesaplanamaması ve köy genelinde ortak fatura düzenlenmesi, çiftçilerin mali yükünü artırmaktadır. Elektrik faturalarını ödeyemeyen çiftçiler, elektrik kesintileri ile karşılaşmakta ve bu durum, sulama faaliyetlerinin aksamasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, ürünler zarar görmekte ve tarımsal verimlilik düşmektedir.

#### Pazarlama

GAP Bölgesi'ndeki çiftçiler, tarım ürünlerini pazarlama konusunda da zorluklar yaşamaktadır. Şanlıurfa (Akçakale, Siverek, Hilvan) Adıyaman (Besni) ve Mardin (Midyat, Derik, Mazıdağı) illerinde yürütülen anket çalışmasında çiftçiler büyük çiftçilerin ürünleri düşük fiyatlarla alması, stokçuların piyasayı etkilemesi, küçük çiftçilerin gelirlerini olumsuz etkilediği yönde şikayetlerini ifade etmişlerdir. Tarım ürünlerinin çoğu, Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO) tarafından toplanmakta olup, randevulu sistemle çalışan bu kurumdan randevu almakta zorluk çeken çiftçiler, ürünlerini düşük fiyatlarla tüccarlara satmak zorunda kalmaktadır. Bu durum, çiftçilerin ekonomik kayıplar yaşamalarına ve tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğinin tehlikeye girmesine yol açmaktadır.

#### Tarım arazilerin yok olması

Anket sonuçlarına göre, GAP projesi çerçevesinde inşa edilen barajların, bazı bölgelerde tarım arazilerini olumsuz etkilediği



Şekil 9. Tarımsal üretiminizi etkileyen iklim olayları nelerdir?

Figure 9. What are the climate events that affect your agricultural production?

ifade edilmiştir. Şanlıurfa (Suruç), Siirt (Şirvan), Mardin (Dargeçit) ve Diyarbakır (Dicle)'deki çiftçiler, barajların tarım arazilerini sular altında bıraktığını belirtmişlerdir. Bu durum, tarımsal üretkenliği azaltmakta ve çiftçilerin geçim kaynaklarını tehdit etmektedir. Özellikle, Şirvan'da tarımsal alanların su baskını nedeniyle verimsiz hale geldiği, Dargeçit'te ise bu süreçlerin tarım arazilerini etkileyerek üretim kaybına neden olduğu vurgulanmaktadır. Çiftçiler, GAP'ın potansiyel faydaları yerine, barajların oluşturduğu olumsuz etkileri daha belirgin bir şekilde yaşamaktadır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

GAP çerçevesinde yapılan bu çalışma, GAP Bölgesi'ndeki tarımsal üretim ve çiftçilerin karşılaştığı zorluklara dair önemli bulgular sunmaktadır. Bölgede büyük ölçekli tarım arazilerine sahip olma oranı yüksektir. Ancak, bu geniş arazi sahipliğine rağmen çiftçilerin tarımsal gelirleri geçimlerini sağlamada yetersiz kalmaktadır. Bu durum, tarımsal üretim maliyetlerinin fazla olması ve tarımsal üretim konusunda bilgi birikiminin yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu eksikliklerin giderilmesi için GAP Bölgesi'nde tarımsal eğitim programlarının genişletilmesi ve çiftçilere yönelik teknik destek mekanizmalarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Finansal destek ve kredi kullanımı konusunda yaşanan sorunlar, GAP Bölgesi'nde tarımsal üretim ve ekonomik faaliyetlerin büyük ölçüde kısıtlandığını işaret etmektedir. Çiftçilerin çoğunluğu kredi kullanmamaktadır ve bu durum, tarımsal üretim için gerekli finansal desteğin yetersiz olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, risk yönetimi konusunda yetersiz bilgi ve eğitim eksiklikleri, çiftçilerin tarımsal riskleri etkili bir şekilde yönetmelerini engellemektedir.

Çalışmamızın bulgularına göre, GAP Bölgesi'nde sulama yeterliliği konusunda önemli bir memnuniyetsizlik gözlemlenmiştir. Katılımcıların %71,90'ı sulamanın yetersiz olduğunu belirtirken, sadece %28,10'u sulamanın yeterli olduğunu ifade etmiştir. Bu durum, sulama projelerinin bölgedeki tarımsal üretim üzerindeki etkisinin beklenenden düşük olduğunu ortaya koymaktadır. GAP'ın resmî web sayfasında güncel sulama projelerinin gerçekleştirme oranının %54 olarak bildirildiği göz önüne alındığında, bu oranın daha yüksek olmasının gerektiği, özellikle sulama yetersizliği yaşayan bölgelerde daha etkili projelerin hayata geçirilmesi gerektiği açıktır. Diğer yandan GAP'ın diğer unsurlarında da sınırlı bir etki yarattığını ve bölge halkının projenin hedeflerine ulaşmadığını düşündüğünü ortaya koymaktadır. Nitekim Bakırcı (2001)'nin vurguladığı gibi, GAP tarihsel olarak sulama projelerine odaklanmış ve bölge halkı tarafından büyük ölçüde bir sulama girişimi olarak algılanmıştır. Bu algı günümüzde de geçerliliğini korumaktadır. Anket sonuçları, GAP'ın gerçekleştirme oranı sorusuna verilen yanıtların çoğunlukla sulamanın varlığına dayalı olduğunu göstermektedir. Anlaşılmaktadır ki her ne kadar entegre bir proje denilse de tarım ve sulamanın dışına çıkılmadığı topyekûn bir kalkınma olmadığı tespit edilmiştir.

GAP Bölgesi'ndeki çiftçiler için risk yönetim stratejileri konusunda önemli bir bilgi ve destek açığı olduğu görülmektedir. Tarımsal üretim sürdürülebilirliğini ve çiftçilerin gelir güvenliğini artırmak amacıyla, bu bölgelerde daha geniş kapsamlı eğitim programlarına ve destek mekanizmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, tarım dışı ek gelir sağlama ve tarım sigortası gibi yön-

temlerin teşvik edilmesi ve ürün çeşitlendirme stratejilerinin yaygınlaştırılması, çiftçilerin risklerini daha etkin bir şekilde yönetmelerine yardımcı olabilir.

GAP Bölgesi'ndeki çiftçilerin büyük bir kısmının mevcut tarımsal faaliyetlerini sürdürme eğiliminde olduğunu, ancak bir kısmının da tarımı bırakmayı düşündüğünü ortaya koymaktadır. İşletmelerini büyütmeyi planlayan çiftçilerin oranının düşük olması, bölgedeki tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği ve gelişimi açısından stratejik müdahalelerin ve desteklerin önemini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, çiftçilere yönelik destek programlarının güçlendirilmesi ve tarımsal üretimin teşvik edilmesi, bölgenin tarımsal geleceğinin iyileştirilmesine katkıda bulunabilir.

GAP Bölgesi'nde tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini artırmak için sulama altyapısının güçlendirilmesi ve tarım girdilerine erişimin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu iki alandaki iyileştirmeler, bölgenin tarımsal kapasitesinin artırılmasına ve ekonomik refahın desteklenmesine katkıda bulunabilir. Bölgesel farklılıklar göz önüne alındığında, yerel ihtiyaçlara uygun, hedeflenmiş stratejiler ve müdahaleler ile tarımsal üretim süreçlerinin optimize edilmesi sağlanabilir.

Anket sonuçları, GAP Bölgesi'ndeki tarımsal üretim üzerinde kuraklık, yağış düzensizliği, dolu, don ve sel/taşkın gibi iklim olaylarının önemli etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. Kuraklık, çiftçiler tarafından en sık bildirilen iklim olayı olup, özellikle Şanlıurfa ve Gaziantep illerinde ciddi bir sorun olarak ön plana çıkmaktadır. Nitekim Özfidaner & Topaloğlu (2020), kuraklığın bölge açısından tarımsal faaliyetlerin sonuçlarını doğrudan etkilediğini vurgulamakta ve kısa dönemli (1-3 ay) kuraklık dönemlerindeki artış eğiliminin, tarımsal faaliyetlerde kullanılan suyun önemini artırdığını ifade etmektedirler. Diğer yandan, Keskiner & Çetin, (2023) Şanlıurfa ilinde, özellikle Bozova ve civarında kuzey-güney yönünde kuraklık şiddetinin arttığını ve kurak iklim koşullarının daha baskın hale geldiğini belirtmektedirler. Bu durum, anket bulgularını destekleyerek, bölgedeki tarımsal üretkenliğin sürdürülebilirliği açısından ciddi bir tehdit oluşturduğunu göstermektedir.

GAP Bölgesi'nde tarımsal faaliyet gösteren çiftçiler, mülkiyet ve miras sorunları nedeniyle ÇKS'ye kaydolmakta zorluk çekmekte ve bu da tarımsal destekler ve kredi imkanlarından yararlanmalarını engellemektedir. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (2023) tarafından yapılan düzenlemeler çerçevesinde, mülkiyet ve mirasçılık sorunları nedeniyle tarımsal desteklerden faydalanamayan üreticilerin de desteklerden yararlanabilmesi hedeflenmektedir. Bu politikanın etkin bir şekilde hayata geçirilmesi ve çiftçilerin mülkiyet ile miras sorunlarından kaynaklanan mağduriyetlerinin giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Şit (2019) tarafından yapılan araştırmalar, Güneydoğu Anadolu Bölgesi için tarımsal kredilerin bölgesel gelişime önemli katkılarda bulunduğunu ortaya koymaktadır. Çiftçilerin tarımsal desteklerden ve kredi imkanlarından faydalanabilmesi, yalnızca bireysel ekonomik durumlarını iyileştirmekle kalmayacak, aynı zamanda bölgesel tarımsal gelişimin sağlanmasına da katkıda bulunacaktır. Diğer yandan, yüksek enerji maliyetleri ve belirsiz elektrik fiyatları kuyu sulama sistemlerine sahip çiftçilerin mali yükünü artırmaktadır. Pazarlama konusunda, Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO) gibi kurumlarla yaşanan randevu alma zorlukları

nedeniyle çiftçiler ürünlerini düşük fiyatlarla satmak zorunda kalmaktadır. Sulama ve enerji amaçlı baraj projelerinin tarım arazilerini azaltması ise bölgenin tarımsal üretim kapasitesini düşürmektedir. Bu zorlukların çözülmesi için ÇKS'ye kayıt süreçlerinin kolaylaştırılması, enerji maliyetlerinin şeffaf hale getirilmesi, faturalandırma sisteminin bireysel tüketim bazında adil düzenlenmesi ve çiftçilere yönelik elektrik sübvansiyonlarının artırılması gerekmektedir. Ürün pazarlama sürecinde çiftçilerin kooperatiflerle desteklenmesi ve alternatif pazarlama kanallarının oluşturulması da önemlidir. Tarım arazileri üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmek için alternatif sulama teknolojileri ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının teşvik edilmesi, bölgedeki tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini artırarak çiftçilerin ekonomik refahını ve bölgenin genel kalkınmasını destekleyecektir.

**Çıkar Çatışması/ Conflict of interest:** Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır. *The authors declare that there is no conflict of interest.*

**Yazar Katkısı/ Author Contribution:** Bu çalışma, yazarın doktora tezinden türetilmiştir. Çalışmanın araştırma tasarımı, veri toplama, analiz ve yorumlama süreçleri ile makale yazımı yazar tarafından gerçekleştirilmiştir. Danışman hoca, doktora sürecinde metodolojik rehberlik ve akademik danışmanlık katkıları sağlamıştır. *This study is derived from the author's doctoral dissertation. The author was responsible for developing the conceptual framework, performing data analysis, interpreting the findings, and drafting the manuscript. The supervisor contributed to the study through academic guidance and methodological oversight during the doctoral research process.*

**Etik Kurul İzni/ Ethics Committee Approval:** Bu çalışma için etik kurul izni Ardahan Üniversitesi Etik Kurulu'ndan alınmıştır (20.09.2024 /2400031882). *Ethics committee approval for this study was obtained from the Ethics Committee of Ardahan University (20.09.2024 / 2400031882).*

**Teşekkür ve Katkı Belirtme/ Acknowledgements:** Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: SDK-2022-39548. *This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Istanbul University. Project number: SDK-2022-39548.*

## Kaynakça

- Akpınar, A., & Kaygusuz, K. (2012). RETRACTED: Regional sustainable water and energy development projects: A case of Southeastern Anatolia Project (GAP) in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1146–1156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.015>
- Atalay, İ., & Mortan, K. (2011). *Türkiye Bölgesel Coğrafyası*. İnkılap Kitapevi Yayınları.
- Aydogdu, M. H., Canelik, M., Sevinc, M. R., Cullu, M. A., Yeniguen, K., Kuecuk, N., Karli, B., oekten, S., Beyazguel, U., Dogan, H. P., Sevinc, G., Sahin, Z., Mutlu, N., Kaya, C., Yenikale, A., & Yenikale, A. (2021). Are You Happy to Be a Far-

mer? Understanding Indicators Related to Agricultural Production and Influencing Factors: GAP-Sanlıurfa, Turkey. *Sustainability*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/su132212663>

- Aydogdu, M. H., & Yenigün, K. (2016). Farmers' risk perception towards climate change: A case of the GAP-Sanlıurfa Region, Turkey. *Sustainability (Switzerland)*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/su8080806>
- Bailey, D. K. (1978). *Methods of Social Research* (2nd edition). the Free Press.
- Bakırcı, M. (2001). Güneydoğu Anadolu Projesinde GAP Sulama Sahası Dışında Kalan Kır Yerleşmelerinin Gelişme Olanakları. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*, 0(9), 109–138.
- Bakırcı, M. (2007). *Türkiye'de Kırsal Kalkınma: Kavramlar-Politikalar-Uygulamalar* (1. Baskı). Nobel Yayıncılık.
- Barrow, C. J. (1998). River basin development planning and management: A critical review. *World Development*, 26(1), 171–186. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(97\)10017-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0305-750X(97)10017-1)
- Bayar, R. (2018). Arazi Kullanımı Açısından Türkiye'de Tarım Alanlarının Değişimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16(2), 187–200. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000197](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000197)
- Benek, S. (2013). GAP Bölgesi'nde Tarımsal Faaliyetlerin Tarihsel Gelişimi ve Günümüzdeki Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 26, 195–215.
- Bilgen, A. (2019). The Southeastern Anatolia project (GAP) in Turkey: An alternative perspective on the major rationales of GAP. *Journal of Balkan and Near Eastern Studies*, 21(5), 5 3 2 – 5 5 2 . <https://doi.org/10.1080/19448953.2018.1506287>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research Methods in Education* (6. baskı). Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203029053>
- Doğan, M. (2005). Türkiye ziraatında makineleşme: traktör ve biçerdöverin etkileri. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 66–75.
- Duran, S. (2024). *İklim değişikliği kaynaklı tarımsal zarar görülebilirliğin GAP Bölgesi ölçeğinde analizi* (Tez No: 871350) [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- GAP-BKİ. (2005). *Dünyada Türkiye'de GAP'ta Tarım*. <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/dokuman/dunyada-turkiye-de-gap-ta-tarim/1760>
- GAP-BKİ. (2008). *GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı*. <http://www.gap.gov.tr/gap-bolge-kalkinma-programi-2021-2023-sayfa-25.html>



- GAP-BKİ. (2021). 2020 GAP Son Durum. <http://yayin.gap.gov.tr/2020-gap-son-durum-yayin-756f4854d1.html>
- GAP-BKİ. (2023). 2022 GAP Son Durum. <http://www.gap.gov.tr/gap-ta-son-durum-sayfa-32.html>
- Gümüş, V., Avşaroğlu, Y., Şimşek, O., & Dinsever, L. D. (2023). Evaluation of meteorological time series trends in Southeastern Anatolia, Turkey; [Procjena trendova meteoroloških vremenskih nizova u jugoistočnoj Anatoliji, Turska]. *Geofizika*, 40(1), 51 – 73. <https://doi.org/10.15233/gfz.2023.40.3>
- Gumus, V., Simsek, O., Avsaroglu, Y., & Agun, B. (2021). Spatio-temporal trend analysis of drought in the GAP region, Turkey. *Natural Hazards*, 109(2), 1759 – 1776. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04897-1>
- Jacobs, J. W. (2002). The Mekong River Commission: Transboundary water resources planning and regional security. *Geographical Journal*, 168(4), 354–364. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7398.2002.00061.x>
- Kankal, M., Nacar, S., & Uzlu, E. (2016). Status of hydropower and water resources in the Southeastern Anatolia Project (GAP) of Turkey. *Energy Reports*, 2, 123 – 128. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2016.05.003>
- Keskiner, A. D., & Çetin, M. (2023). Kuraklık Gidiş ve Büyüklüğünün Zaman ve Mekan Boyutunda Belirlenmesi: Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) Alanında Bir Uygulama. *Politeknik Dergisi*, 26(3), 1079–1089. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1000596>
- Kirişçi, V. (1996). Mechanization level of the Southeast Anatolia Project (GAP) region in Turkey. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 27(2), 46 – 50. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-17144439480&partnerID=40&md5=3bd05968252a3efc120dbfb3bcc7f293>
- Leonardi, R. (1995). Regional Development in Italy: Social Capital and the Mezzogiorno. *Oxford Review of Economic Policy*, 11(2), 165–179. <https://doi.org/10.1093/oxrep/11.2.165>
- MLIT. (2008). *Hokkaido Comprehensive Development*. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. [https://www.mlit.go.jp/hkb/develop\\_e.html](https://www.mlit.go.jp/hkb/develop_e.html)
- MRC. (2024). *History*. Mekong River Commission. <https://www.mrcmekong.org/history/>
- Ökten, Ş., & Çeken, H. (2008). GAP Projesi'nin Türkiye'nin Kırsal Kalkınma Politikaları İçindeki Yeri ve Önemi. 14(1), 13–22.
- Özçağlar, A. (1988). Türkiye'deki Tarım Alanlarının Coğrafi Dağılımının Doğal Çevreyle İlişkisi. *A.Ü.D.T.C.F. Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 11, 131–150.
- Özfidaner, M., & Topaloğlu, F. (2020). Standart Yağış İndeksi Yöntemi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Kuraklık Analizi. *Toprak Su Dergisi*, 9(2), 130–136. <https://doi.org/10.21657/topraksu.767002>
- Rufin, P., Müller, D., Schwieder, M., Pflugmacher, D., & Hostert, P. (2021). Landsat time series reveal simultaneous expansion and intensification of irrigated dry season cropping in Southeastern Turkey. *Journal of Land Use Science*, 16(1), 94 – 110. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1858198>
- Sertkaya Doğan, Ö. (2012). Türkiye'nin Tarım Politikalarının Belirlenmesinde Coğrafi Özelliklerin Önemi. *İstanbul University Journal of Sociology*, 3(17), 91–100.
- Sevinç, G., Aydoğdu, M. H., Çançelik, M., & Sevinç, M. R. (2019). Farmers' Attitudes toward Public Support Policy for Sustainable Agriculture in GAP-Şanlıurfa, Turkey. *Sustainability*, 11(23). <https://doi.org/10.3390/su11236617>
- Sevinç, M. R. (2021). Farmers' perception of agricultural cooperatives: The case of Şanlıurfa, turkey. *Ciencia Rural*, 51(3), 1–11. <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20200445>
- Şit, M. (2019). Does Agricultural Credit Usage Contribute to Regional Growth ? South-eastern Anatolia Region Case Tarımsal Kredi Kullanımı Bölgesel Büyümeye Katkı Sağlar mı ? Güneydoğu Anadolu Bölgesi Örneği. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 7(9), 1275–1282.
- Sözer, A. N. (1984). Güneydoğu Anadolu'nun Doğal Çevre Şartlarına Coğrafi Bir Bakış. *Ege Coğrafya Dergisi*, 2(1), 8–30.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023). *Haber*. <https://www.tarimorman.gov.tr/Haber/6087/Cksye-Kayitli-Olmayan-Ama-Tarimsal-Uretim-Yapilan-Alanlar-Kayit-Altina-Alinacak>
- Tonkaz, T., Çetin, M., & Tülüçü, K. (2007). The impact of water resources development projects on water vapor pressure trends in a semi-arid region, Turkey. *Climatic Change*, 82(1–2), 195 – 209. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9160-0>
- TÜİK. (2024). *Bitkisel üretim istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>
- Turker, U., Avcioglu, A. O., & Elicin, K. (2011). Changing status of agricultural mechanization level during GAP process in the Southeastern Anatolia Region in Turkey. *JOURNAL OF FOOD AGRICULTURE & ENVIRONMENT*, 9(2, 1), 245–249.
- Türker, U., Avcioglu, A. O., & Eliçin, K. (2011). Changing status of agricultural mechanization level during GAP process in

- the southeastern anatolia region in Turkey. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9(2), 245 – 249. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80555154746&partnerID=40&md5=f5cd2f37da29e8c6563ace5284dfe809>
- Vurgun, G., & Aydoğdu, M. H. (2024). GAP-Şanlıurfa'da Bir Sulama Alanında Tarımsal Bilgi Kaynaklarına Yönelik Çiftçi Algıları Üzerine Bir Araştırma. *TURAN stratejik araştırmalar merkezi*, 16(61), 33–39.
- Yenigun, I., Bilgili, A. V., Yesilnacar, M. I., & Yalcin, H. (2021). Seasonal and spatial variations in water quality of deep aquifer in the Harran plain, GAP project, southeastern Anatolia, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 80(17). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09858-2>
- Yuksel, I. (2012). Water development for hydroelectric in southeastern Anatolia project (GAP) in Turkey. *Renewable Energy*, 39(1), 17 – 23. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.08.006>



# Kayseri ilinde deprem tehlikesinin, sezgisel ve istatistiksel modellerle karşılaştırmalı analizi

*Comparative analysis of earthquake hazard in Kayseri province using intuitive and statistical models*

Fethi Ahmet Canpolat<sup>a\*</sup>  Yusuf Bulucu<sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Fırat Üniversitesi, İnsani ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya, Elazığ, Türkiye.

<sup>b</sup> Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya, Elazığ, Türkiye.

ORCID: F.A.C. 0000-0002-6084-7735; Y.B. 0009-0008-0466-9787

## BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 30.09.2024

Kabul/Accepted: 13.11.2024

### Anahtar Kelimeler:

Deprem

Tehlike

Kayseri

AHP

Fuzzy AHP

Rastgele Orman

### Keywords:

Earthquake

Hazard

Kayseri

AHP

Fuzzy AHP

Random Forest

### \*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(F. A. Canpolat) facanpolat@firat.edu.tr.

DOI: 10.17211/tcd.1556195



### Atf/Citation:

Canpolat, F. A., & Bulucu, F. (2024). Kayseri ilinde deprem tehlikesinin, sezgisel ve istatistiksel modellerle karşılaştırmalı analizi *Türk Coğrafya Dergisi* (86), 143-159.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1556195>

## ÖZ/ABSTRACT

Türkiye genelinde, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri ile birlikte, depremin yıkıcılığı karşısında hem toplumsal hem de idari anlamda hassasiyet önemli ölçüde artmıştır. Olası afet tehlikeleri ve bunlara karşı kırılabilirlik-esneklik, zarar görme potansiyeli-dayanıklılık, yıkıcı etki-iyileşme, dönüşüm ve dirençlilik gibi kavramlar artık daha sık gündeme gelmektedir. Ancak bu konularda esas olarak dikkat edilmesi gereken, inşaa, imar, kontrol ve değişim süreçlerinde söz sahibi olan kişi ve kuruluşlardır. Sağlıklı ve sürdürülebilir bir yapılaşma süreci için farkındalığın artırılması gerekmektedir. Bu çalışma, Kayseri ilindeki depremselliği ve olası etkilerini mekânsal boyutuyla ortaya koymakta ve analiz etmektedir. İldeki deprem tehlikesini belirlemek için bağımlı değişken olmaması nedeniyle, 10 bağımsız değişken kullanılarak sezgisel modellerden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Fuzzy AHP (Bulanık AHP) uygulanmıştır. Bu iki modelden elde edilen sonuç haritalarında, %90 ve üzeri tehlikeye sahip alanlar bağımlı değişken olarak kullanılarak aynı bağımsız değişkenlerle (Episantr Yoğunluk, Fay Uzaklık, VS30, Litoloji, Yerleşme Gelişim, Bina Kat Sayısı, Zemin Sıvılaşma Duyarlılığı, Episantr Uzaklık, Eğim ve Yükselti) Rastgele Orman algoritması ile alternatif bir tehlike haritası üretilmiştir. Üç harita da birbirine yakın sonuçlar vermiş olmasına rağmen, Rastgele Orman modelinin mekânsal dağılım ve uyum açısından daha ayırt edici bir harita ürettiği tespit edilmiştir. İl genelinde Sarioğlan-Incesu hattı boyunca uzanan depresyonlar en tehlikeli alanları oluşturmaktadır. Bu saha, aynı zamanda il genelindeki en yoğun nüfuslu kuşağa denk gelmektedir. Türkiye'de ortalama kat sayısının en fazla olduğu il olan Kayseri'de, özellikle il merkezindeki yüksek katlı binalar deprem tehlikesinin olası etkilerini artırma potansiyeline sahiptir.

*Following the Kahramanmaraş earthquakes of 6 February 2023, sensitivity to the destructive effects of earthquakes has increased significantly throughout Turkey, both socially and administratively. Concepts such as potential disaster risk, vulnerability - resilience, damage potential - durability, destructive impact - recovery, transformation and sustainability are now being discussed more frequently. However, the primary focus should be on the individuals and organisations responsible for construction, planning, control and change processes. Raising awareness is essential for a healthy and sustainable building process. This study identifies and analyses the seismic activity and its potential impacts in Kayseri province from a spatial perspective. Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy AHP were applied to determine the seismic hazard of the province using 10 independent variables, as no dependent variable was available. In the hazard maps derived from these two models, areas with a risk of 90% or more were used as the dependent variable, and an alternative hazard map was generated using the same independent variables with the Random Forest algorithm. Although all three maps produced similar results, the Random Forest model was found to produce a more distinctive map in terms of spatial distribution and orientation. The depressions along the Sarioğlan-Incesu fault line were identified as the most vulnerable areas in the province. This area is also the most densely populated belt in the province. In Kayseri, which has the highest average number of storeys in buildings in Turkey, the high-rise buildings in the city centre are considered to have the potential to amplify the effects of earthquake hazards.*

## Extended Abstract

### Introduction

Earthquake hazard analysis is a critical research area aimed at reducing the adverse effects of earthquakes on human life, infrastructure, and settlements (Morell et al., 2020; Sianko et al., 2020). In Turkey, earthquakes are the most devastating type of disaster, accounting for approximately 60% of disaster-related fatalities (AFAD, 2018). Türkiye is under significant earthquake risk (1939 Erzincan, 1942 Tokat-Erbaa, 1943 Tosya-Ladik, 1944 Bolu-Gerede, 1999 Gölcük, 2023 Kahramanmaraş earthquakes) and historical earthquakes have exposed the inadequacies of building structures and infrastructure. Factors such as rapid urbanization, weak infrastructure, and a lack of earthquake awareness amplify post-earthquake losses (Taş, 2003). Given that a significant portion of built-up areas in Turkey is located within earthquake zones, conducting studies on hazard, risk, and vulnerability has become imperative, especially with the increasing urban population.

Kayseri province, located in central Turkey, is particularly susceptible to earthquake risk due to its proximity to surrounding fault lines. Although Kayseri is classified as a region with moderate earthquake hazard according to Turkey's earthquake hazard map, the geological structure, ground conditions, and characteristics of the building stock indicate that the potential impacts of an earthquake could be severe (AFAD, 2021). Unlike other disasters such as drought and air pollution, which lack dependent variable structures, direct regression or classification algorithms are not suitable for earthquake hazard analyses. Consequently, multi-criteria decision-making (MCDM) models are preferred (Kant et al., 2012; Nyimbili et al., 2018).

The Analytic Hierarchy Process (AHP), developed by Saaty (1980), is a technique that allows systematic evaluation of various criteria in complex decision-making problems. Fuzzy AHP, which incorporates fuzzy logic as defined by Zadeh (1965), extends beyond classical binary logic by considering intermediate values and uncertain situations, making it useful for managing uncertainty and complexity. The integration of AHP and fuzzy logic methods has been explored for environmental risk assessments, demonstrating the reliability of the results (Hu et al., 2018; Mokarram et al., 2021; Yariyan et al., 2020). Additionally, the Random Forest algorithm, proposed by Breiman (2001), has proven highly effective as a general-purpose classification and regression method, especially in environments where the number of variables exceeds the number of observations.

### Data and Method

Kayseri province is located in the Central Anatolia Region of Turkey. Although Kayseri is relatively distant from the North Anatolian Fault Line, it is closer to the East Anatolian Fault Line and is situated in an area where active fault lines pass through (Figure 1).

The study has two main objectives. The first is to determine the spatial distribution of earthquake hazards in Kayseri, a city with a population of 1.5 million, and to assess the extent of risk in terms of population and building stock. The second objective is to understand which methods produce more qualified

results in identifying earthquake hazards in a region.

For this purpose, a Random Forest model was created using the dependent variable obtained from the result maps of multi-criteria decision-making methods produced with 10 independent variables (Figure 2). These variables include epicenter density, distance to fault lines, VS30 (average shear wave velocity of the top 30 meters of soil), lithology, settlement development, number of building floors, ground liquefaction susceptibility, distance to epicenter, slope, and elevation. Spatial datasets were used to determine the distribution of the total and vulnerable populations according to hazard areas (WorldPop, 2020a; WorldPop, 2020b). Since these datasets are from 2020, they were recalculated according to population growth rates. Global building footprint data were used to determine the number of buildings according to hazard classes (Microsoft, 2023).

The Analytic Hierarchy Process (AHP) was first used to evaluate earthquake susceptibility by determining ten parameters based on literature, expert opinions, field observations, and local government databases. Spatial distributions of the parameters were analyzed using Geographic Information Systems (GIS). Pairwise comparison matrices were created with weights determined from expert opinions and literature, and a sensitivity analysis was conducted. Then, Fuzzy AHP was applied to address uncertainties and provide a more flexible and realistic version of AHP by using fuzzy numbers to reduce subjectivity in comparisons.

Finally, the Random Forest algorithm, an ensemble learning method effective in handling nonlinear patterns and working with numerical and categorical data without additional processing, was employed. Parameters with high and positive correlations with the dependent variable (grid\_code) included lithology, settlement development, number of building floors, and ground liquefaction susceptibility. Negative correlations were found with VS30, slope, and elevation. The model's performance was evaluated using training and test datasets.

### Conclusion

The AHP hazard map indicated that "very high" hazard areas cover 366 km<sup>2</sup>, accounting for 2% of the province's area, with a significant portion being built-up, increasing disaster risk. The urban areas of Kocasinan and Melikgazi districts fall into this category, where urban density is highest. Agricultural lands surrounding these settlements are also within "very high" or "high" hazard classes, emphasizing the need for careful and controlled development if these areas are to be urbanized (Figure 4).

The Fuzzy AHP hazard map showed notable differences compared to the AHP map, particularly in hazard classifications and risk analysis. While areas like the Yeşilhisar and Develi plains were considered "very high" hazard in AHP, they were not in the Fuzzy AHP model, highlighting the latter's capacity to manage uncertainty and provide more specific analysis. The Random Forest model, built using randomly sampled points from areas classified as "very high" hazard in previous models, lar-

gely overlapped with the Fuzzy AHP map but classified a larger area (13% of the province) as "very high" and "high" hazard, indicating a more aggressive classification.

When comparing all three methods, it was observed that as the hazard level increases, the total and vulnerable populations also significantly increase. Specifically, "high" and "very high" hazard areas, although constituting a small portion of the land, encompass a large percentage of the population and built environment, intensifying the earthquake risk in these zones. The study underscores the critical importance of prioritizing infrastructure improvements and building quality enhancements, particularly in high-risk areas with dense populations and high construction pressures.

The analyses for Kayseri province revealed its vulnerability to earthquake risks and demonstrated the crucial role of integrating different methods for developing effective risk management strategies. The findings provide valuable information for decision-makers in earthquake risk management and disaster preparedness planning in Kayseri. Future studies may include more parameters, conduct different scenario analyses, and utilize new technologies to further enhance earthquake hazard and risk assessments, thereby contributing to reducing earthquake risk and increasing societal resilience.

## 1. Giriş

Deprem tehlike analizi, depremlerin insan hayatı, altyapı ve yerleşim alanları üzerindeki olumsuz etkilerini azaltma amacıyla kritik bir araştırma konusudur (Morell vd. 2020; Sianko vd. 2020). Can ve mal açısından Türkiye'de en fazla kayba yol açan afet türü olan depremler, afet kaynaklı toplam can kayıplarının yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır (AFAD, 2018). Türkiye, ciddi deprem riski altında olan bir ülkedir ve tarihsel süreçte yaşanan büyük depremler (1939 Erzincan, 1942 Tokat-Erbaa, 1943 Tosya-Ladik, 1944 Bolu-Gerede, 1999 Gölcük, 2023 Kahramanmaraş depremleri) yapıların ve altyapının yetersizliğini göstermiştir. Özellikle hızlı kentleşme, zayıf altyapı ve deprem bilincinin eksikliği gibi faktörler, deprem sonrası kayıpların boyutunu arttırmaktadır (Taş, 2003). Türkiye'de yapılaşmış alanların önemli bir bölümü deprem kuşağında bulunduğundan, artan kentsel nüfusla birlikte tehlike, risk ve kırılganlık çalışmalarının yapılması zorunlu hale gelmektedir.

Risk, doğal veya insan kaynaklı tehlikeler ile kırılganlık koşulları arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan zararlı sonuçların olasılığı veya beklenen can kaybı, yaralı insan, mal, geçim kaynakları, ekonomik faaliyetin bozulması anlamına gelir (Lee ve Schaaf, 2006). Risk değerlendirmesinin temel amacı, 'tehlikeli olay' olarak tanımlanan bir olayın meydana gelmesi nedeniyle ortaya çıkabilecek insani ve ekonomik kayıpların olasılığını ölçmektir (UNISDR, 2009). Bu kapsamda karar alma sürecinde değerli bilgiler sağlayan tutarlı sonuçlar elde edebilmek için tehlikelerin ve kırılganlığın ortak analizine ihtiyaç duyulmaktadır (Koks vd., 2015).

Kayseri ili, Türkiye'nin iç kesimlerinde yer almakla birlikte, deprem riski açısından özellikle çevresindeki fay hatlarının etkisinde kalabilecek bir bölgededir. Türkiye deprem tehlike haritasına göre, Kayseri, orta dereceli deprem tehlikesi olan bir

bölgede bulunmasına rağmen, il genelindeki jeolojik yapı, zemin koşulları ve yapı stokunun özellikleri, olası bir depremin etkilerinin ciddi boyutlara ulaşabileceğini göstermektedir (AFAD, 2021). Kayseri'nin bu risklerle karşı karşıya olması, deprem tehlikesinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve etkili afet risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Deprem, kuraklık ve hava kirliliğine yönelik tehlike analizleri diğer afetlerden farklı olarak bağımlı değişken yapısına sahip olmadığından, doğrudan regresyon veya sınıflandırma algoritmaları kullanılamamaktadır. Bu nedenle çok kriterli karar verme modelleri öncelikli olarak tercih edilmektedir (Kant vd., 2012; Nyimbili vd. 2018).

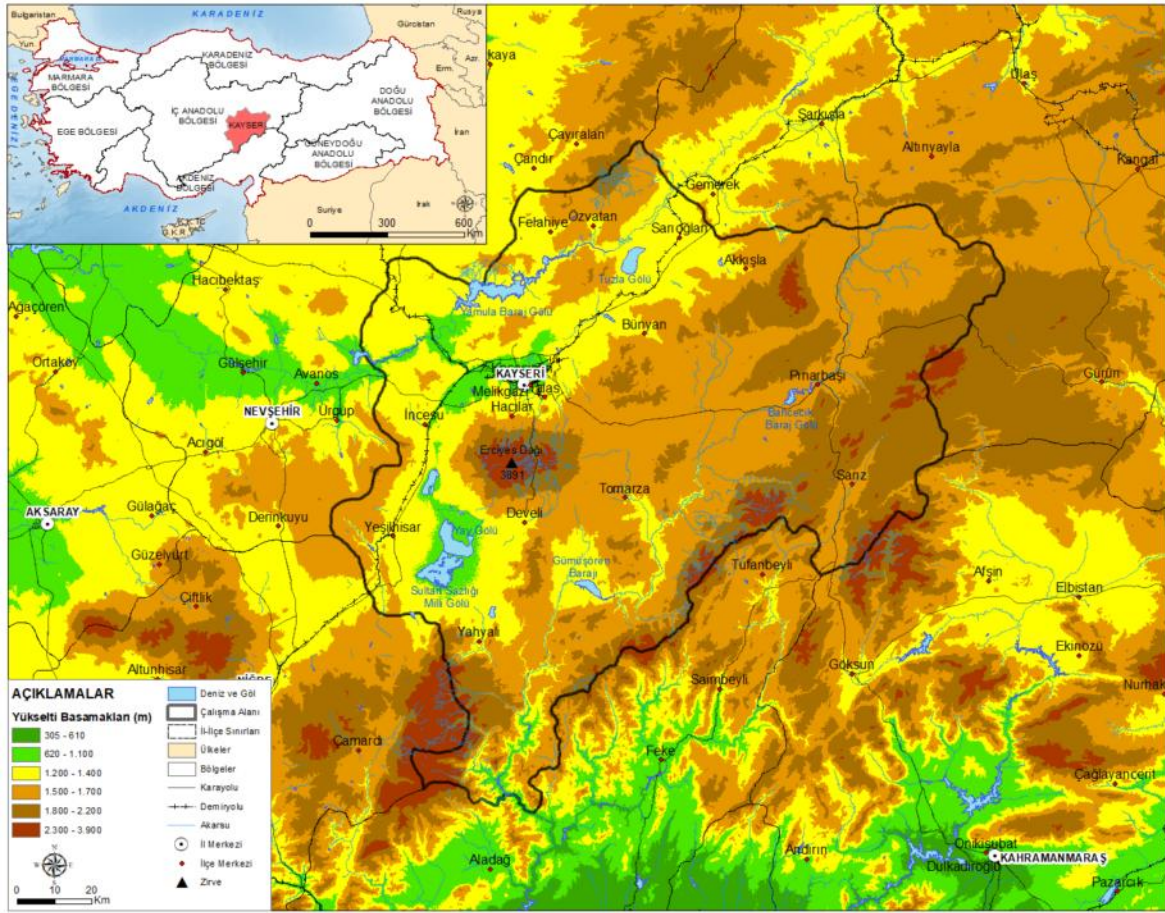
Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), karmaşık karar verme problemlerinde çeşitli kriterlerin sistematik bir şekilde değerlendirilmesini sağlayan bir tekniktir. Saaty'nin (1980) geliştirdiği bu yöntem, karar verme sürecinde karşılaşılan çok sayıda kriterin göreceli önem derecelerini belirlemede etkili bir araç olarak kabul edilmektedir (Saaty, 1980). Bulanık mantıkla çalışan Fuzzy AHP ise belirsizlik ve karmaşıklığın yönetilmesinde kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, klasik ikili mantığın ötesine geçerek, ara değerleri ve belirsiz durumları dikkate alır (Zadeh, 1965). AHP ve bulanık mantık yöntemlerinin entegrasyonunun çevresel risk değerlendirmelerinde kullanımı ve elde edilen sonuçların güvenilirliği araştırılmıştır (Hu vd. 2018; Mokarram vd. 2021; Yariyan vd., 2020). Breiman tarafından önerilen Rastgele Orman algoritması ise genel amaçlı bir sınıflandırma ve regresyon yöntemi olarak son derece başarılı olmuştur. Birkaç rastgele karar ağacını birleştiren ve tahminlerini ortalama alarak toplayan bu yaklaşım, değişken sayısının gözlem sayısından çok daha fazla olduğu ortamlarda yüksek performans göstermiştir (Breiman, 2001).

Çalışma, deprem tehlikesi üzerinde etkili olan temel parametreleri kullanarak Kayseri ili için tehlike ve risk analizi yapmayı amaçlamaktadır. Bu analiz AHP, Fuzzy AHP ve Rastgele Orman yöntemlerinin entegre edilmesi ve il genelindeki toplam nüfus, yaş gruplarına göre kırılman nüfus ve yapı stoğu bilgilerinin kullanılmış olması yönüyle önemlidir.

## 2. Çalışma Sahası

Kayseri ili, İç Anadolu Bölgesi'nde yer almakta olup, doğusunda Sivas, güneydoğusunda Kahramanmaraş, güneyinde Adana ve Niğde, batısında Nevşehir ve kuzeybatısında Yozgat illeriyle sınırlanmaktadır. İl sınırları dahilinde kuzeyde Kayseri Ovası ve Melikgazi ilçesi; doğuda Sarız ve Pınarbaşı ilçeleri, güneyde ise Yahyalı, Develi ve Tomarza ilçeleri yer almakta ve bu alanlar sırasıyla Sivas, Kahramanmaraş ve Niğde illeri ile sınır oluşturmaktadır. Güneybatısında, 3.891 metre yüksekliğe sahip Erciyes Dağı bulunurken, ilin güney kesiminde Sultansazlığı Milli Parkı ve Yay Gölü; kuzeyinde ise Tuzla Gölü ve Yamula Baraj Gölü yer almaktadır. Kayseri ili, Kuzey Anadolu Fay Hattı'na nispeten uzak olsa da, Doğu Anadolu Fay Hattı'na görece daha yakın ve aktif fay hatlarının geçtiği bir konumdadır (Şekil 1).

İlde kırsal ve kentsel nüfustaki değişimi anlayabilmek için 2 bin nüfus kriteri kullanıldığında 2007 yılında bu kriterin altında olan yerleşmelerin nüfusu 318 bin iken; 2023 yılında %-22'lik azalmayla 248 bin'e gerilemiştir. Nüfusu 2 bin'in üzerinde olan yerleşmelerde ise 2007 yılında toplam nüfus 846 bin iken, 2023



Şekil 1. Kayseri ilinin lokasyon haritası.

Figure 1. Location map of the Kayseri Province.

yılında %41'lik bir artışla 1 milyon 197 bin'e yükselmiştir (TÜİK, 2024). Mevcut veri kaynaklarından yapılan analizle, Kayseri ilinde yerleşme alanları 2000 yılında yaklaşık 236 km<sup>2</sup> iken, 2024 yılında yaklaşık 3 katlık bir artışla yaklaşık 303 bin yapının yer aldığı 698 km<sup>2</sup>'ye yükseldiği tespit edilmiştir (MICROSOFT, 2023; ESRI, 2023). Arazi kullanım verilerine göre ise 2023 yılı itibarıyla il arazilerinin yaklaşık 5433 km<sup>2</sup>'si tarımsal arazilerden, 246 km<sup>2</sup>'si ormanlık sahalardan 148 km<sup>2</sup>'si hidrografik yüzeylerden oluşurken geriye kalan alanlar düşük yoğunluklu bitki örtüsü alanlarından oluşmaktadır (ESRI, 2023).

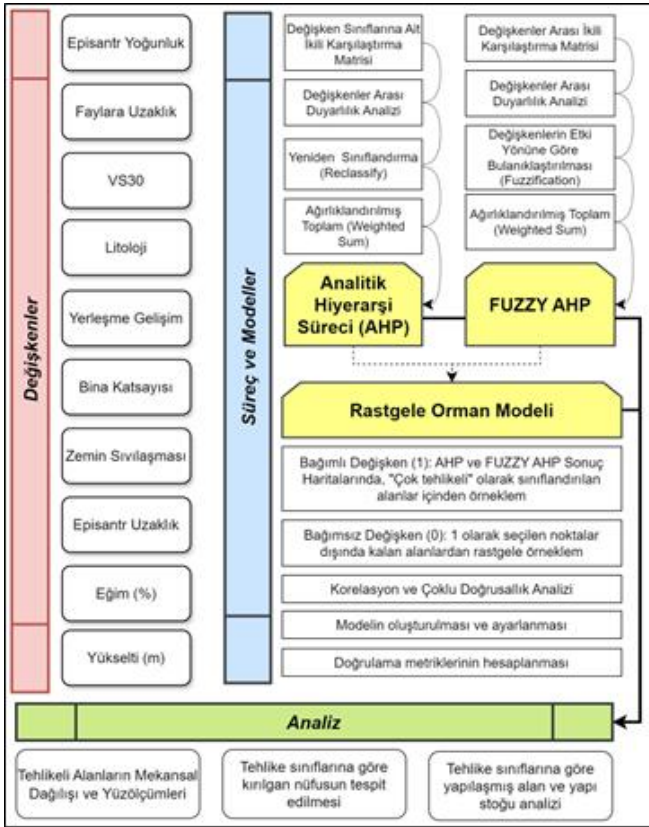
### 3. Veri ve Metodoloji

Mekânsal planlama ve düzenlemeler açısından en iyi kararlar, afet tehlike haritalarının tehlikeyi ne fazla ne de az tahmin ettiği durumlarda alınabilir. Çünkü bu haritaların doğruluğu, karar verme süreçlerinde kritik öneme sahiptir. Tehlike haritalarında her zaman bir belirsizlik olacaktır, ancak bu belirsizlik dikkatlice analiz edilebilir. Bu nedenle, tehlike haritalarının performansını, belirsizliklerini ve bu haritaların nasıl daha iyi hale getirilebileceğini anlamak çok önemlidir (Stein vd., 2012). Günümüzde, deprem tehlike haritalarının ve bunun bir sonraki aşaması olan deprem risk haritalarının oluşturulmasına yönelik ilgi ve çalışmalar, yeni yöntemler veya hibrit modellerin uygulanmasıyla devam etmektedir.

Çalışmanın iki ana hedefi bulunmaktadır. Bunlardan ilki, 1.5 milyon nüfusa sahip Kayseri ilinde deprem tehlikesinin mekânsal dağılımını tespit ederek, nüfus ve yapı stoğu açısından riskin boyutunu belirlemektir. İkinci hedef ise, bir bölgede deprem teh-

likesini tespit edebilmek için farklı metotlardan hangisinin daha nitelikli sonuçlar üretebileceğini anlamaktır. Depremin, diğer afetlere göre çok daha karmaşık bir yapıya sahip olması nedeniyle, tek bir yöntem kullanmak yerine, farklı yöntemlerin güçlü yönlerini birleştiren entegre bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu amaçla, 10 bağımsız değişken kullanılarak üretilen çok kriterli karar verme yöntemlerine ait sonuç haritalarından elde edilen bağımlı değişkenle, makine öğrenmesi algoritmalarından rastgele orman modeli oluşturulmuştur. Sonuç haritalarından elde edilen verilerle, tehlike altındaki toplam nüfus, kırılğan nüfus ve yapı stoğu bilgileri çapraz sorgulama ile üretilmiş ve dağılımları analiz edilerek risk değerlendirmesi yapılmıştır (Şekil 2).

Toplam nüfus ve kırılğan nüfusun tehlike alanlarına göre dağılımının tespiti için mekânsal veri setleri kullanılmıştır (WorldPop, 2020 a; WorldPop, 2020 b). Ancak bu veri setleri 2020 yılına ait olduğu için nüfus artış oranlarına göre yeniden hesaplanarak analizlere dahil edilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) her yıl açıkladığı güncel nüfus verileri bulunmasına rağmen, farklı bir veri setinin kullanılması, nüfusun yaş gruplarına dağılımının ilçe düzeyinden daha küçük yerleşim birimleri için doğrudan paylaşılmamasından kaynaklanmaktadır. Toplam nüfus ile kırılğan nüfus verilerinin entegre olması için aynı veri setleri kullanılmıştır. Binaların/yapıların tehlike sınıflarına göre sayılarının tespiti için ise öncelikli veri kaynaklarındaki (hali hazır plan) eksik veriler nedeniyle, il genelini kapsayan ve derin öğrenme algoritmaları ile üretilen %90 ve üzeri doğruluğa sahip bir veri seti olan küresel bina ayak izi verileri kullanılmıştır (MICROSOFT, 2023).



Şekil 2. İş akış şeması.

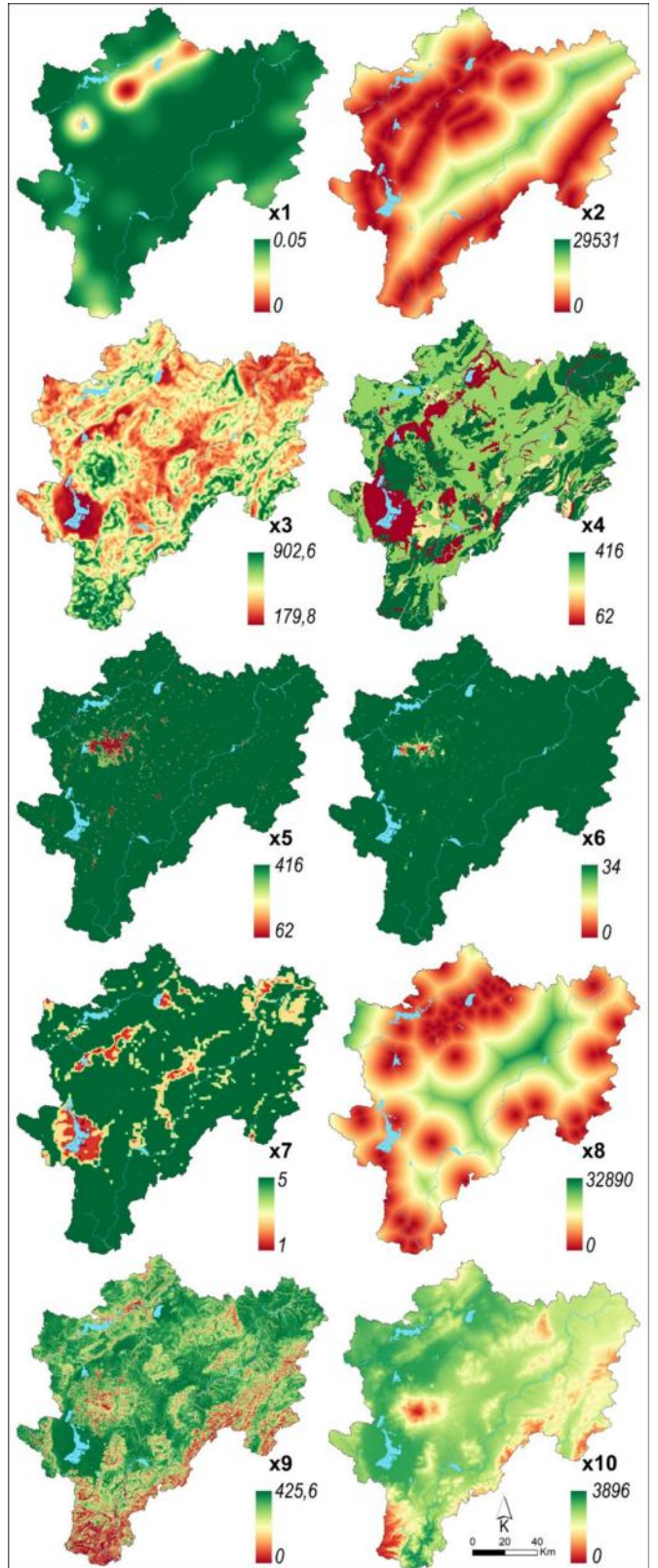
Figure 2. Workflow diagram.

### 3.1. Kullanılan Değişkenler

**x1. Episantr yoğunluk:** Depremlerin yoğunlaştığı bölgeleri gösterir. Depremlerin sıklığı ve büyüklüğü, bir bölgedeki deprem tehlikesini anlamak için kritik öneme sahiptir. Episantr, faylar boyunca depolanan enerjinin ilk serbest bırakıldığı yeryüzündeki konumdur (Harff vd., 2016). Deprem merkez üsleri ve büyüklükleri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ve Kandilli Rasathanesi çevrimiçi deprem kataloglarından elde edilmiştir (AFAD, 2024; Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2024). Deprem tehlikesi değerlendirmesinde 1900'den günümüze 4 Mw veya daha büyük depremlere ait merkez üslerinin yoğunluğu ve il genelinde bu merkez üslerine olan mesafe kullanılmıştır (Şekil 3).

**x2. Fay hatlarına olan uzaklık:** Fay hatlarına olan mesafe, bir bölgenin depremlerden ne kadar etkileneceğini belirleyen önemli bir faktördür. Fay hatlarına yakın bölgeler, deprem sırasında daha yüksek sarsıntı seviyelerine maruz kalırlar (Field, 2000). Kayseri ilinde etkili olabilecek 24 adet fay ve 16 adet fay segmenti olmak üzere toplam 40 adet tekil aktif yapı yer almaktadır (AFAD, 2021). Bu veri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)'nın güncelleştirilmiş fay haritalarından il geneli ve yakın çevresindeki fayların sayısallaştırılması ile elde edilmiştir (Emre vd., 2011).

**x3. VS30:** Yüzeyden 30 metre derinliğe kadar olan zemin tabakalarının ortalama makaslama sismik dalga hızını ifade eder (Borcherdt, 2012). VS30 değeri yerel zemin koşullarının sarsıntı üzerindeki etkisini ölçer ve yüksek VS30 değeri sert zeminleri ifade eder ve kayma dalgası hızının yüksek olduğunu gösterir (Heath vd., 2020). Sert zeminler, sismik dalgaların daha hızlı ya-



Şekil 3. Deprem tehlike haritalarının üretiminde kullanılan bağımsız değişkenler (x1. Episantr yoğunluk, x2. Fay uzaklığı, x3. VS30, x4. Litoloji, x5. Yerleşme gelişim, x6. Bina kat sayısı, x7. Zemin sıvılaşma duyarlılığı, x8. Episantr uzaklığı, x9. Eğim, x10. Yükselti)

Figure 3. Independent variables used in the production of earthquake hazard maps (x1. Epicenter density, x2. Fault distance, x3. VS30, x4. Lithology, x5. Settlement development, x6. Number of building floors, x7. Ground liquefaction susceptibility, x8. Epicenter distance, x9. Slope, x10. Elevation)

yılmasına ve genellikle daha az hasara neden olurken, yumuşak zeminler ikincil sismik dalgaların hızını azaltır ve genellikle daha fazla hasara neden olur (Rusydi, Effendi ve Rahmawati, 2017). VS30 değeri üzerinde faylara olan uzaklık, rölyef ve litoloji belirleyici faktörlerdir. Bu veriler USGS tarafından yayınlanan ve 827,5 metre çözünürlükte küresel ölçekte üretilen Vs30 haritasından elde edilmiştir. Enterpolasyon aracıyla 28 metre çözünürlüğe yükseltilmiştir.

*x4. Litoloji:* Kaya ve zemin türlerini ifade eder. Sismik dalgaların yayılmasını, litoloji ve ortam kontrol ettiğinden deprem tehlikesini belirlemede önemli bir parametredir (Yanis ve Furumoto, 2019). Farklı litolojik birimler, sismik dalgaların yayılma hızını ve amplifikasyonunu etkileyebilir. Örneğin, gevşek sedimanter kayalar, sismik dalgaları daha fazla yükseltebilir (Kramer, 1996). MTA'nın 1/500.000 ölçekli sayısal jeoloji haritasına göre, il genelinde 37 farklı jeoloji ve litoloji kombinasyonu bulunmaktadır ve bunlar literatüre dayalı olarak 5 hiyerarşik sınıfta değerlendirilmiştir (MTA, 2024).

*x5. Yerleşim alanlarının gelişimi:* Bir hadisenin afet olarak değerlendirilmesi can veya mal kaybı ile belirlendiğinden deprem olayının afet olarak kabul edileceği yerler öncelikle yerleşim yerleridir. Yerleşim yerleri içinde ise konutların yapım yılı hem yapının zamana bağlı olarak dayanıklılığını yitirmesi hem de yeni yapıların deprem yönetmeliğine bağlı olarak süreç, malzeme ve kontrol açısından daha güçlü olabileceği varsayımına bağlı olarak gelişim süreci açısından 5 kategoride tehlike sınıfına ayrılarak modellere dahil edilmiştir. Mevcut binalar, mevcut tasarım kurallarına uyulmaması nedeniyle daha büyük bir sismik risk altında olabilir ve bina performansını iyileştirmek için yapısal güçlendirme gerektirebilir (Anwar ve Dong, 2020). Bu durum, özellikle eski binaların deprem riskini artırarak güçlendirme ihtiyacını ön plana çıkarmaktadır. Bu değişken 2015 yılına kadar hazırlanan bir veri setinin, Esri 2023 arazi kullanım verileriyle entegre edilip güncellenmesiyle oluşturulmuştur (Marconcini vd. 2020; ESRI, 2023).

*x6. Bina kat sayısı:* Günümüzde birçok bina hem plan hem yükseklik açısından düzensiz yapılandırmalara sahiptir. Bu durum, gelecekte yıkıcı depremlere maruz kalmalarına yol açabilir. Afetlerin sıklığının ve yoğunluğunun artması hem yeni hem de mevcut yapıların dayanıklılığının değerlendirilmesine odaklanılmasını gerektirmektedir (Gilbert, 2016) Bina kat sayısı, yapıların deprem karşısındaki dayanıklılık ve esneklik performansını belirleyen önemli bir faktördür. Düşük katlı binalar genellikle depreme neden olan fayın yakınında yüksek frekanslı uyarımlara duyarlıyken, yüksek katlı binalar geniş alanlarda var olabilen uzun periyotlu hareketlere duyarlıdır (Jennings, 2003). İl genelinde başta merkez ilçeler olmak üzere, taşra ilçe merkezlerinde de kısmen yer alan yüksek katlı yapılar depreme karşı duyarlılığı arttırması bakımından önem taşımaktadır. Küresel ölçekte bina yüksekliklerinin hazırlandığı veri tabanından, 2018 yılına ait raster veri, düzenlenerek modellere dahil edilmiştir (Pesaresi ve Politis, 2023).

*x7. Zemin sıvılaşma duyarlılığı:* Depremlerin güçlü etkisine bağlı olarak topraktaki gözenek suyu basıncı artarak topraktaki granüler malzemelerin katıdan sıvıya dönüşmesine ve yapıların dengesini önemli ölçüde bozarak depremin şiddetinin artmasına neden olmaktadır (Zhou vd. 2022). Yani sıvılaşma, deprem sırasında su doygun toprakların katlaşılarak sıvı gibi davranma-

sıdır. Deprem tehlikesini arttıran bu faktörün etkisini tehlike analizine dahil etmek için Koks ve arkadaşları (2019) tarafından hazırlanan 250 metre çözünürlüklü küresel zemin sıvılaşma risk haritası noktasal veriye dönüştürülmüş daha sonra enterpolasyonla modele uygun 28 metre çözünürlüğe yükseltilmiştir.

*x8. Deprem merkezine (episantr) olan uzaklık:* Deprem merkez üssü ile sismoloji istasyonu arasındaki mesafeyi temsil eder. Merkez üssü, depremin odak noktasının dikey olarak üzerinde bulunan yüzey alanıdır (Ochoa, Niño ve Vargas, 2017). Episantr'a yakın bölgeler, daha yüksek şiddette sarsıntılara maruz kalır. Deprem merkezlerine olan uzaklık, episantr yoğunluk ile birlikte üretilen noktasal veriler kullanılarak öklid mesafe aracıyla türetilmiştir.

*x9. Eğim:* Arazinin eğimi, deprem tehlikesi üzerinde dolaylı olarak etkili olan bir parametredir. Bu durum eğimin arttığı dağlık arazilerde kayma dalgası hızında değişime neden olmasıyla ortaya çıkan ve depremin etkisini azaltan yapı ile ilgilidir. Diğer taraftan "aktif sismik bölgelerdeki yüksek eğimli yamaçların aşınmaya uğraması nedeniyle daha yüksek Vs30 değerlerine sahip olma eğiliminde" olduğu tespit edilmiştir (Allen ve Wald, 2007).

*x10. Yükselti:* Rakım bir bölgedeki zemin özelliklerini ve yapıların deprem direncini etkileyebilir. Yüksek yerler, arazi stabilitesine bağlı olarak genellikle daha az etkilenir. Yani litolojik olarak daha emniyetli alanlar aynı zamanda depremlerin büyüklüğüne rağmen şiddetlerinin yani etkilerinin azaldığı yerlerdir. Dolayısıyla yükselti ile deprem tehlikesi arasında negatif yönde bir korelasyon söz konusudur. Veri SRTM DEM görüntülerinden elde edilmiştir (SRTM, 2014).

## 3.2. Modeller

### 3.2.1. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP)

AHP, karmaşık dünyamızda karar vermemize yardımcı olan bir karar verme modelidir. Bu model, karar hedeflerine ulaşmak için kriterleri, kısıtlamaları ve alternatifleri bir hiyerarşi içinde tanımlamayı ve düzenlemeyi içeren üç aşamalı bir süreç sunar. Süreç, unsurlar arasındaki ikili karşılaştırmaların değerlendirilmesini ve tüm düzeylerde ikili karşılaştırmaların sonuçlarının çözüm algoritması kullanılarak sentezlenmesini içerir (Saaty, 1980:110).

Deprem duyarlılığını değerlendirmek için literatüre, uzman görüşlerine, saha gözlemlerine ve yerel yönetim veri tabanlarına dayanarak on parametre belirlenmiştir. İlk adım olarak, analizde kullanılacak parametrelerin mekânsal dağılımı incelenmiştir. Bu aşamada, parametrelerin coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak mekânsal analizi yapılmıştır. Daha sonra, uzman görüşleri ve literatüre dayalı olarak belirlenen ağırlıklarla ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma sürecinde, her bir parametrenin diğerlerine göre ne kadar önemli olduğu değerlendirilmiş ve duyarlılık analizi yapılmıştır.

İkili karşılaştırma matrisi, her bir kriterin göreceli önem düzeyini belirtmektedir. Kriterler arasındaki üstünlük dereceleri, belirli sayısal değerler aracılığıyla ifade edilmiştir; bu bağlamda, "1" değeri eşit önemi simgelerken, "3" bir miktar üstünlüğü, "5"



belirgin bir üstünlüğü, "7" güçlü bir önemi ve "9" ise yüksek derecede üstünlüğü temsil etmektedir. Ayrıca, ara değerler (2, 4, 6, 8) belirgin farkların olmadığı durumlarda kullanılmak üzere tanımlanmıştır. Tablonun son sütununda verilen ağırlık katsayıları, kriterlerin karar verme sürecindeki genel ağırlıklarını yansıtarak, hangi kriterin daha öncelikli olduğunu belirlemede rehberlik etmektedir. Örneğin, episantr yoğunluğuna ait 0.241'lik ağırlık katsayı, yükselti'nin 0.020'lik katsayısına göre daha yüksek bir öneme sahip olduğunu ve bu nedenle karar sürecinde daha fazla dikkate alındığını ifade etmektedir. Ağırlık derecelerine göre sınıflandırılmış olan kriterler toplamı 1'i geçmemek üzere 0.416 ile 0.062 arasında değişen beş farklı kategoriye ayrılmıştır. Toplam katsayınının 1 olması %100'lük etkiyi göstermektedir. Dolayısıyla 0.416 katsayısı bu değişkenin modelde yaklaşık olarak %41,6 oranında etkiye sahip olduğunu ifade etmektedir. Bunun yanı sıra, ikili karşılaştırma matrisinin %2'lik bir tutarlılık oranına sahip olması hiyerarşik mantığın yüksek tutarlılıkla sağlandığını göstermektedir. Kriterlerin bu sıralaması, her bir parametrenin hassasiyet açısından önemini ve karar sürecindeki rolünü analitik bir çerçevede sunmaktadır (Tablo 1).

Episantr yoğunluğu, fay hattına yakınlık, VS30 (zemin sismik hızı) ve zemin yapısı (litoloji) gibi değişkenler, en yüksek ağırlık katsayılarıyla en kritik risk faktörleri olarak öne çıkmaktadır. Fay hattına yakın, zayıf zemine sahip ve eski yapıların bulunduğu alanlar en yüksek risk grubuna dahil edilirken, uzak mesafede yer alan, sert zeminli ve yeni yapıların bulunduğu alanlar daha az riskli kabul edilmiştir. Bu değişkenlerin tamamının ağırlıklandırma katsayıları 0.416 ile 0.062 arasında değişen 5 sınıfa ayrılmıştır. İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranı %2 olarak hesaplanmış olup, bu oran yüksek bir tutarlılık seviyesini göstermektedir. Parametrelerin hassasiyet açısından önemi, hazırlanan tabloda gösterildiği sıralamayla aynıdır.

İkili karşılaştırma ve duyarlılık analizi sonrasında, değişkenlere yeniden sınıflandırma yöntemi ile katsayılar atanmıştır. Bu süreçte, her bir değişkenin deprem tehlikesine katkısını yansıtabilecek şekilde yeniden sınıflandırılması yapılmıştır. Son olarak, nihai haritayı elde etmek için, değişkenlere ait ağırlıklandırma katsayıları kullanılmıştır (Tablo 2).

**Tablo 1.** Analitik hiyerarşi süreci ikili karşılaştırma matrisi.

**Table 1.** Analytic hierarchy process pairwise comparison matrix

İkili Karşılaştırma	Episantr Yoğunluk	Fay Uzaklık	VS30	Litoloji	Yerleşme Gelişim	Bina Kat Sayısı	Zemin Sıvılaşma Duyarlılığı	Episantr Uzaklık	Eğim	Yükselti	Ağırlık Katsayısı
Episantr Yoğunluk	1	1/2	2	3	4	5	6	7	8	9	0.241
Fay Uzaklık		1	1	2	3	4	5	6	7	8	0.223
VS30			1	1	2	3	4	5	6	7	0.156
Litoloji				1	1	2	3	4	5	6	0.115
Yerleşme Gelişim					1	1	2	3	4	5	0.084
Bina Kat Sayısı						1	1	2	3	4	0.061
Zemin Sıvılaşma Duyarlılığı							1	1	2	3	0.044
Episantr Uzaklık								1	1	2	0.032
Eğim									1	1	0.025
Yükselti										1	0.02
Tutarlılık Oranı %2											

**Tablo 2.** Analitik hiyerarşi prosesinde değişkenler arası ikili karşılaştırma duyarlılık analizi.

**Table 2.** Pairwise comparison sensitivity analysis between variables in the analytical hierarchy process.

Episantr Yoğunluk	Fay Uzaklık	VS30	Litoloji	Yerleşme Gelişim	Bina Kat Sayısı	Zemin Sıvılaşma Duyarlılığı	Episantr Uzaklık	Eğim	Yükselti	Ağırlık Katsayısı
0.101-0.485	1-5000	180-350	Alüvyon, Çört, Yamaç Molozu vb.	1985-1995	13-34	4.51-5	1-5000	0-10	1000-1100	0.416
0.011-0.1	5001-10000	351-475	Aglomera, Evaporit, Melanj vb.	1996-2005	9-12	3.91-4.5	5001-10000	10.01.2020	1101-1200	0.262
0.003-0.01	10001-20000	476-600	Çakıltaş, Dasit, Kumtaşı, Şist vb.	2006-2015	6-8	2.51-3.9	10001-15000	20.01.1930	1201-1400	0.161
0.001-0.002	20001-30000	601-755	Diyorit, Gabro, Granit vb.	2016-2023	1-5	1.51-2.5	15001-25000	30.01.1940	1401-1600	0.099
0-0.001	30001+	755-905	Andezit, Bazalt, Kal-ker vb.	Yerleşme Dışı	Yerleşme Dışı	1.0-1.5	25001+	40.1 +	1600+	0.062

### 3.2.2. Fuzzy AHP modeli

Fuzzy AHP belirsizliği hesaba kattığı için AHP'nin daha esnek ve gerçekçi bir versiyonudur. Bu yöntem, üçlü bulanık sayılar kullanılarak faktörler arasındaki karşılaştırmalarda belirsizlik ve subjektiviteyi azaltır (Chang, 1996). Fuzzy AHP'de, ikili karşılaştırma matrisi oluşturmak için olasılıklar üzerinden daha esnek bir puanlama sistemi uygulanır. Bu esneklik, her bir değişkenin modele olan katkısında büyük bir değişiklik yaratmaz. Asıl etki, değişkenlerin AHP'den farklı olarak hiyerarşik sınıflara bölünmesi yerine, bulanıklaştırma (fuzzification) işlemiyle pozitif veya negatif etki yönünde sürekli/sayısal bir değişken olarak modele eklenmesiyle ortaya çıkar. Bu durum, AHP'nin en önemli dezavantajı olan sınıflandırma yaparak bağımsız değişkenlerin genelleştirilmesi ve buna bağlı olarak daha az ayırt edilebilir bir sonuç haritası üretmesi eksikliğini telafi eder. Böylece, sonuç haritasının daha spesifik olarak analiz edilmesine olanak sağlar.

Fuzzy AHP'de ikili karşılaştırma matrisi oluştururken kullanılan üçlü bulanık sayılar AHP ile oluşturulan tabloyla uyum gösterecek şekilde ayarlanmıştır. Geometrik ortalama ile ağırlık katsayısı netleştirme (defuzzification) işlemi yapılmıştır. Dolayısıyla ağırlık katsayıları ve tutarlılık oranı da aynıdır. Böylece AHP ve Fuzzy AHP ile oluşturulan tehlike haritalarının mekânsal olarak farklılıklarını karşılaştırmak mümkün hale gelmiştir.

### 3.2.3. Rastgele orman modeli

Sezgisel yöntemlerden sonra istatistiksel yöntemlerden rastgele orman algoritması kullanılmıştır. Bu seçimin sebebi sınıflandırma probleminde sıkça karşılaşılan doğrusal olmayan örüntüleri bulmada etkili olması ve ek işlemler gerektirmeden sayısal ve kategorik verilerle çalışmayı kolaylaştırmasıdır (Brei-

man, 2001).

Modelde, parametreler seçildikten sonra her ağaç için torbala tekniği kullanılarak önyüklemeli örneklem oluşturulur. Ardından, her bir örneklem için ağaç gelişimi başlar. Her düğümde, tüm değişkenler arasından 'm' sayıda rastgele seçilen değişkenler kullanılarak en iyi dallanma belirlenir (Erdem vd., 2018). Belirlenen ağaçlar ve dallanmaları arasında oylama yapılarak, en yüksek oyu alan ağaç bir sınıfa atanır.

Bağımlı değişkeni temsil eden grid\_code ile litoloji (0.83), yerleşme gelişim (0.72), bina katsayısı (0.67) ve zemin sıvılaşması (0.79) değişkenleri arasında yüksek ve pozitif korelasyon vardır. Bu, bu değişkenlerdeki artışın deprem tehlikesinde de artışa neden olduğunu gösterir. Öte yandan, VS30 (-0.70), eğim (-0.43) ve yükselti (-0.69) ile negatif yöndeki yüksek korelasyon, ters orantılı bir ilişkiyi temsil etmektedir. Bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerinde de rasyonel bir bağıntı söz konusudur. Korelasyon değerlerine göre, istatistiksel regresyon modeli (Rastgele Orman) ilgili ve gerekli parametrelerin seçilmesiyle oluşturulmuştur (Tablo 3).

VS30, yüzey dalga hızını temsil eder ve zemin sertliğini ölçer. Deprem tehlikesi açısından %36 ile en önemli değişken olarak öne çıkmaktadır. Depremlerin odağı olarak fay hatları, modele katkısı açısından %21 ile ikinci sırada yer almaktadır. Kaya türü ve özellikleri, deprem dalgalarının yayılmasını etkiler ve bu kapsamda modele olan katkısı %18'dir. Episantr yoğunluk, depremlerin yoğunlaştığı ve tekrar etme olasılığı yüksek olan yerleri göstermesi açısından önemlidir ve modele katkısı yaklaşık %10'dur. Eşdoğrusallık açısından, değişkenlerin değerlerinin 8'in altında olması, birbiriyle aynı niteliğe sahip parametrelerin modelde kullanılmadığını ifade etmektedir (Tablo 4).

**Tablo 3.** Rastgele orman modelinde kullanılan değişkenlerin korelasyon matrisi.

**Table 3.** Correlation matrix of variables used in random forest model.

Değişkenler	grid_code	Episantr Yoğunluk	Faylara Uzaklık	VS30	Litoloji	Yerleşme Gelişim	Bina Katsayısı	Zemin Sıvılaşması	Episantr Uzaklık	Eğim	Yükselti
grid_code	1	0.53	-0.57	-0.7	0.83	0.72	0.67	0.79	-0.47	-0.43	-0.69
Episantr Yoğunluk	0.53	1	-0.45	-0.32	0.46	-0.03	-0.05	0.38	-0.73	-0.26	-0.39
Faylara Uzaklık	-0.57	-0.45	1	0.27	-0.52	-0.39	-0.36	-0.44	0.55	0.13	0.45
VS30	-0.7	-0.32	0.27	1	-0.72	-0.49	-0.48	-0.78	0.26	0.69	0.73
Litoloji	0.83	0.46	-0.52	-0.72	1	0.6	0.57	0.77	-0.43	-0.5	-0.73
Yerleşme Gelişim	0.72	-0.03	-0.39	-0.49	0.6	1	0.81	0.5	-0.14	-0.28	-0.52
Bina Katsayısı	0.67	-0.05	-0.36	-0.48	0.57	0.81	1	0.51	-0.11	-0.23	-0.49
Zemin Sıvılaşması	0.79	0.38	-0.44	-0.78	0.77	0.5	0.51	1	-0.33	-0.47	-0.65
Episantr Uzaklık	-0.47	-0.73	0.55	0.26	-0.43	-0.14	-0.11	-0.33	1	0.14	0.37
Eğim (%)	-0.43	-0.26	0.13	0.69	-0.5	-0.28	-0.23	-0.47	0.14	1	0.55
Yükselti (m)	-0.69	-0.39	0.45	0.73	-0.73	-0.52	-0.49	-0.65	0.37	0.55	1

**Tablo 4.** Rastgele orman modelinde değişkenlerin önem katsayıları ve eşdoğrusallık değerleri.

**Table 4.** Significance coefficients and multicollinearity values of variables used in the random forest model.

Değişkenler	Önem Derecesi	%	Eşdoğrusallık (VIF)
VS30	0.363	36.27	4.6
Faylara Uzaklık	0.214	21.37	1.9
Litoloji	0.183	18.32	4.1
Episantr Yoğunluk	0.096	9.6	3
Rakım	0.054	5.36	2.8
Zemin Sıvılaşma Kapasitesi	0.026	2.6	3.5
Bina Yükseklik	0.022	2.22	3.3
Eğim	0.013	1.33	2
Episantr Uzaklık	0.017	1.7	2.5
Yerleşme Gelişim	0.012	1.23	3.4

Ağaç Sayısı: 15, Derinlik: 30, Örneklem Sayısı: 100.000, Test Örneklem Oranı: %20, Eğitim Seti  $r^2$ : 0.988, Test Seti  $r^2$ : 0.974

## 4. Bulgular

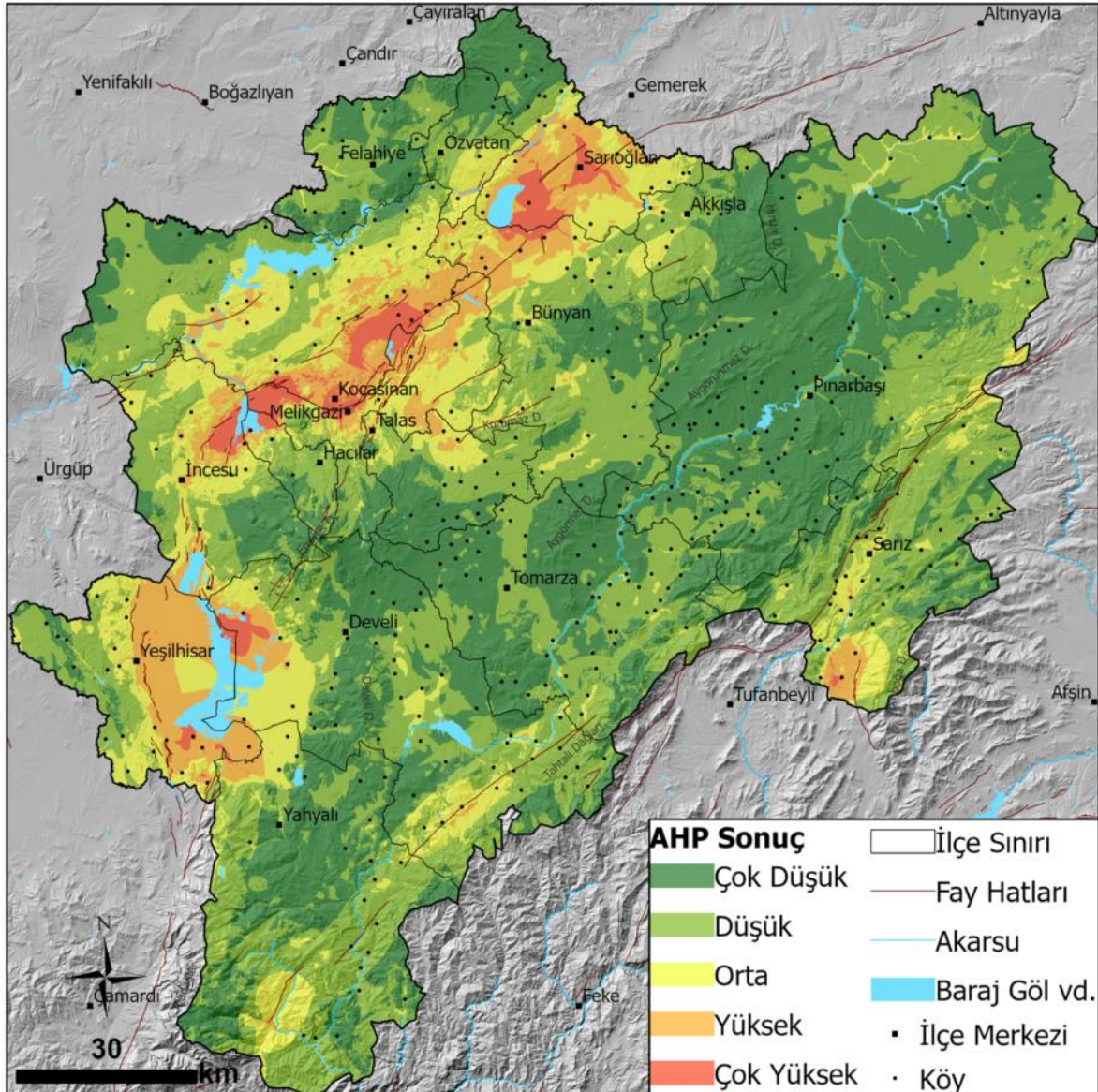
### 4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi Tehlike Haritasının Analizi

AHP sonuç haritasında, "çok yüksek" tehlikeli alanlar 366 km<sup>2</sup> ile il yüzölçümünün %2'sine karşılık gelmektedir. Bu alanların önemli bir bölümünün yapılaşmış olması, afet riskini artırmaktadır. Özellikle, Kocasinan ve Melikgazi ilçelerinin kentsel yerleşim alanlarının büyük bir kısmı bu kategoride yer almaktadır. Bu bölgeler, kentsel yapı yoğunluğunun en fazla olduğu yerlerdir. Kocasinan ilçesinin kuzeydoğusunda kalan çok yüksek tehlikeli alanlar, büyük ölçüde tarımsal arazilerden oluşurken, çevresindeki yerleşik alanlar da bu sınıfa dahil olmaktadır. Melikgazi ilçesinin batısında, organize sanayi bölgesinin etkisiyle kentsel yapı yoğunluğu nispeten düşüktür. Daha batıda, İncesu'ya doğru, bu alanlar bataklık ve tarımsal arazilere dönüşmektedir. Sarioğlan ilçesi, çok yüksek tehlikeli alanların yoğunlaştığı bir diğer bölgedir. Burada, Palas ve Sarioğlan ovalarının alçak kesimlerinde yer alan ilçe merkezi ve kasabalar, tehlikenin boyutunu artırmaktadır (Şekil 4, Tablo 5).

Yerleşim alanlarının çevresindeki tarımsal arazilerin bir bölümü

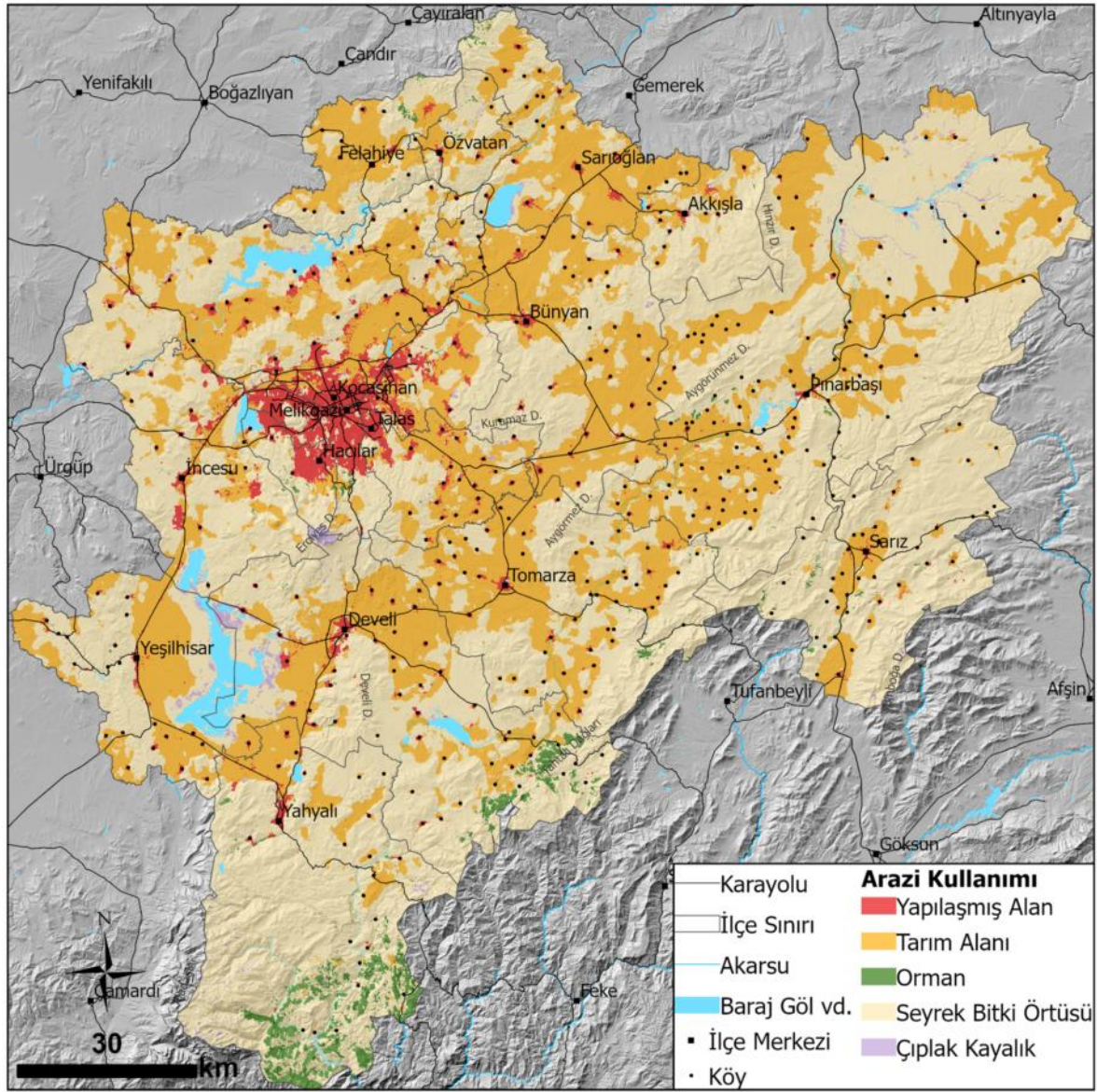
"çok yüksek", geri kalan kesimleri ise "yüksek" tehlikeli sınıfta yer almaktadır. Bu tarımsal araziler yapılaşmaya açılacaksa, kontrollü ve hassas bir sürecin takip edilmesi zorunludur. "Yüksek" tehlike sınıfındaki alanlar, 1380 km<sup>2</sup> ile il genelinin %8'ini kapsamakta ve genellikle "çok yüksek" tehlike sınıfındaki bölgelerin çevresinde konumlanmaktadır. Yeşilhisar ve Develi ovalarının büyük bölümü, Kocasinan ilçesinin kuzey ve batısındaki düzlükler, Melikgazi ilçesinin doğusundaki ve Sarız ilçesinin güneyindeki tarımsal araziler bu tehlike sınıfındadır (Şekil 5, Şekil 6).

İl genelinin %15'ini (2567 km<sup>2</sup>) oluşturan "orta" derecede tehlikeli alanlar arasında, Sarioğlan-İncesu hattı boyunca uzanan ovalar ve çevresindeki aşınım düzlükleri ile İncesu-Yeşilhisar hattı boyunca yer alan alçak düzlükler ve bataklıklar dikkat çekmektedir. Ayrıca, Talas ve Bünyan ilçelerinde tarım arazilerine karşılık gelen alçak düzlük kesimleri geniş yer kaplamaktadır. Doğu Anadolu fay kuşağına yakın olan Sarız ilçesinde, Sarız çayı havzasının alçak kesimleri orta derecede tehlikeli alanlar içinde önemlidir. Tehlike haritasında orta tehlikeli sınıfta yer almasına rağmen, düşük veya çok düşük sınıfta yer alması beklenen alanlar arasında Yahyalı-Pınarbaşı hattı boyunca uzanan Tahtalı dağ-



Şekil 4. Analitik hiyerarşi prosesiyle üretilen deprem tehlike haritası.

Figure 4. Earthquake hazard map produced by analytical hierarchy process



Şekil 5. Kayseri ilinde genel arazi kullanımı (ESRI, 2023).

Figure 5. Land use in Kayseri province (ESRI, 2023).

ları güzergahında yer alan bazı bölgeler buradan geçen fay dik-kat çekmektedir.

Düşük ve çok düşük tehlike sınıfındaki alanlar, il genelinin %75'ini oluşturmalarına rağmen toplam nüfusun yalnızca %19'unu barındırmaktadır. Engelibeli topografyaya sahip bu iki tehlike sınıfı içerisinde, Adana il sınırı boyunca uzanan Tahtalı Dağları, Kahramanmaraş il sınırında yer alan Binboğa Dağları, Pınarbaşı ilçesinde bulunan Aygörmez ve Hınzır Dağları, Yozgat sınırındaki Akdağ ile il merkezinin güneyindeki Erciyes Dağı ve Develi Dağı ile çevresindeki engelibeli araziler bulunmaktadır. Söz konusu alanlarda kırsal nüfus baskındır. Buradaki kırsal yerleşmelerde yapılara ait kat sayılarının az olması ve inşaat malzemesi olarak ağırlıklı olarak taşın kullanılması, afetlere karşı dirençliliği artıran önemli faktörlerdir. Nitekim Kayseri ili köy envanter raporunda kırsal meskenlerin %75'inin taş, %16'sının betonarme, %9'unun kerpiç olduğu belirtilmiştir (TÜİK, 1997). Günümüzde kerpiç evlerin çoğunluğu terk edilmiş veya yeniden inşa edilmiştir. Dolayısıyla ilde kırsal kesimin deprem dirençliliği, yapılar açısından yüksektir.

Kırılmalık, afetlerin etkilerine karşı sosyoekonomik sistemlerin

ve fiziksel varlıkların ne kadar duyarlı olduğunu ifade etmekte ve tespit edilmesinin birçok faktörü içeren karmaşık bir sorun olduğu için bütünlük bir yaklaşım gerektirdiği belirtilmektedir (Rashed ve Weeks, 2003). Bu kapsamda çalışma bütüncül bir kırılmalık tespiti yapmak yerine kırılmalığın önemli parametrelerinden toplam nüfus, kırılmalık nüfus, yapı sayısı ve yapılaşmış alan üzerinden olası riskleri açıklamaktadır.

"Çok yüksek" ve "Yüksek" tehlike sınıflarındaki alanlarda, toplam nüfusun %59'u, yapılaşmış alanın %36'sı ve yapı sayısının %37'si bulunmaktadır. Bu bağlamda, söz konusu iki tehlike sınıfı, birim alan başına düşen 3 bin kişi ve üzeri nüfusla, yapılaşmış alan ve yapı sayısı açısından risk yoğunluğunun en fazla olduğu alanlara karşılık gelmektedir. İlgili alanlarda yapı sayısının %37 oranında olması, mevcut altyapının da kapasitesinin üzerinde bir yoğunluğa sahip olduğunu işaret etmektedir. Ayrıca, bu alanlarda nüfusun yaklaşık yarısının 0-14 yaş aralığı ve 65 yaş üzeri nüfustan oluşan kırılmalık kesimde yer alması, deprem riskini artıran önemli bir parametredir (Tablo 5).

"Çok düşük", "Düşük" ve "Orta" tehlike sınıflarındaki alanlarda toplam nüfusun %41'i, kırılmalık nüfusun %17'si, yapılaşmış ala-

**Tablo 5.** AHP modeline göre tehlike sınıfları ve risk analizi.**Table 5.** Hazard classes and risk analysis according to AHP model

Tehlike Sınıfları	Analitik Hiyerarşi Prosesi									
	Alan km <sup>2</sup>	Alan %	Toplam Nüfus	Toplam Nüfus %	Kırılğan Nüfus	Kırılğan Nüfus %	Yapılaşmış Alan km <sup>2</sup>	Yapılaşmış Alan %	Yapı Sayısı	Yapı Sayısı %
Çok Düşük	6156	36	65476	5	26569	2	50	7	18972	6
Düşük	6733	39	206057	14	83532	6	207	30	85246	28
Orta	2567	15	329145	23	133305	9	190	27	87506	29
Yüksek	1380	8	470302	33	190387	13	157	22	70113	23
Çok Yüksek	366	2	374702	26	151727	10	95	14	41684	14
<b>Toplam</b>	<b>17202</b>	<b>100</b>	<b>1445683</b>	<b>100</b>	<b>585520</b>	<b>41</b>	<b>698</b>	<b>100</b>	<b>303521</b>	<b>100</b>

nın %64'ü ve yapı sayısının %63'ü bulunmaktadır. Bu bağlamda, bu üç tehlike sınıfı, birim alan başına düşen 1500 kişi ve altında bir nüfus yoğunluğuna sahip olup, yapılaşmış alan ve yapı sayısı açısından risk yoğunluğunun görece daha düşük olduğu alanları temsil etmektedir. Özellikle "çok düşük" tehlike sınıfındaki alanlar, yapı sayısının %6 oranında olması ile, mevcut altyapının güvenli ve yeterli olduğunu göstermektedir. "Düşük" tehlike sınıfında, yapılaşmış alanın %30'u ve nüfusun %14'ü bulunmakta; bu durum, bu bölgelerdeki yapılaşmanın daha dengeli bir şekilde gerçekleştiğini işaret etmektedir. Ancak, "Orta" tehlike sınıfındaki alanlarda nüfus yoğunluğunun artması, potansiyel tehlikelere karşı daha fazla dikkat gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Kayseri ilinde bulunan binaların %58'i 6 veya daha fazla katlıdır. Bu oranla Kayseri, yüksek katlı bina ortalamasında 8,2 ile ülke genelinde ilk sırada yer almaktadır (TÜİK, 2022). Yüksek katlı binaların dağılımında, merkez ilçeler ve yüksek kentleşme oranına sahip diğer ilçelerin merkez bölgeleri ön plana çıkmaktadır. Bu durum, il genelinde yoğun nüfuslu alanlardaki kırılğanlığın etkisini artırmaktadır. AFAD-RED (Risk, Etki ve Değerlendirme) tarafından yapılan bir deprem senaryosuna göre, Erciyes fay hattında gerçekleşebilecek olası 6.8 Mw büyüklüğündeki bir depremde en çok hasar görebilecek ilçeler ve tahmini zarar görecek bina sayıları şu şekildedir: Melikgazi (42.000), Kocasinan (33.000), Talas (9.000), Hacılar (6.000), Develi (5.000), İncesu (4.000), Bünyan (4.000) ve Tomarza (2.000). Geri kalan ilçelerde ise her birinde 1.000'den az olmak üzere toplamda yaklaşık 107.000 yapının hasar alabileceği öngörülmüştür (AFAD, 2021). Ayrıca il genelinde ilçe bazında 67 kriterle gerçekleştirilen kırılğanlık analizi çalışmasında en yüksekten en düşüğe doğru Kocasinan, Melikgazi, Talas, İncesu, Hacılar, Develi, Yahyalı, Bünyan, Pınarbaşı, Sarıoğlan, Tomarza, Yeşilhisar, Felahiye ve Özvatan ilçeleri sıralanmaktadır (Özmen, 2023). Dolayısıyla elde edilen bulgular AHP ve diğer modellerle üretilen deprem tehlike haritalarındaki mekânsal dağılışı uyum göstermektedir.

#### 4.2. Fuzzy AHP Tehlike Haritasının Analizi

Fuzzy AHP, belirsizlik ve bulanıklığı daha iyi yönetme kapasitesine sahipken, AHP daha kesin ve belirgin kriterlerle çalışır. Bu nedenle, tehlike sınıflarında ve risk analizinde önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Örneğin, Yeşilhisar ve Develi ovalarının AHP'de "çok yüksek" tehlikeli alanlar içinde gösterilen kısımları, Fuzzy AHP modelinde yer almamaktadır. Bunun yerine, yapılaşma yoğunluğunun fazla olduğu yerel alanlar bu sınıfa dahil edilmiştir. Bu yerler arasında Yeşilhisar ilçe merkezi, Musahacılı,

Sindelhöyük, Çayırözü ve Karacaören gibi yerleşmeler bulunmaktadır. Ayrıca, Sarız çayının aşağı çığırındaki alanlar Fuzzy AHP'de hem alansal olarak küçülmüş hem de daha spesifik olarak ayırt edilmiştir. Burada Yeşilkent ve Kemer yerleşmeleri bu sınıfa dahil edilirken, çevresindeki alanlar "yüksek" tehlikeli alanlar sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle, çok yüksek tehlikeli alanların yüzölçümü AHP'ye göre 73 km<sup>2</sup> azalmıştır (Şekil 6, Tablo 6).

Yüksek tehlikeli alanların yüzölçümü, AHP ile neredeyse aynı olmakla birlikte, dağılımda bazı farklılıklar görülmektedir. Bu farklar arasında ilk dikkati çeken, Yeşilhisar ve Develi ovalarının neredeyse tamamının yer almasıdır. Bu bölgelerde, yerleşim alanları lokal olarak "çok yüksek" sınıfındadır. AHP'de orta düzeyde tehlikeli gösterilen Bünyan ilçe merkezi ve ilçenin güneyindeki Akmescit-Elbaşı arası (Kayseri-Bünyan karayolu), Fuzzy AHP'de yüksek tehlikeli olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 6).

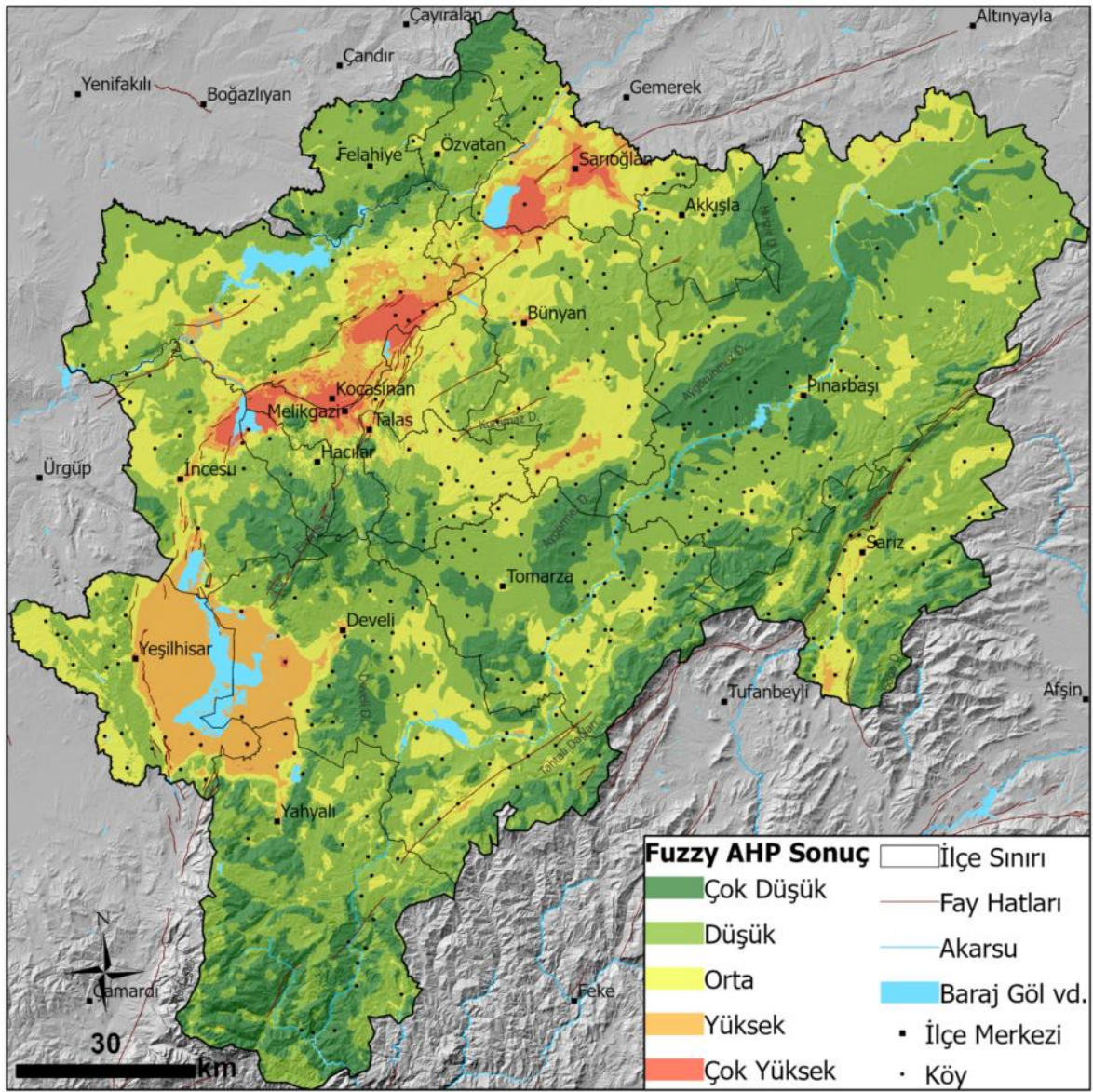
Orta düzeyde tehlikeli olarak sınıflandırılan araziler, AHP'ye göre yaklaşık 1000 km<sup>2</sup> artmıştır. Bu artışta, özellikle ilin Adana-Kahramanmaraş sınırı boyunca uzanan Tahtalı dağlarının kuzeyinde yer alan birikinti düzlükleri ile Yeşilhisar ovasının doğusundaki plato yüzeyi dikkat çekmektedir.

Düşük ve çok düşük tehlike sınıfındaki araziler, AHP'ye göre azalmış ve il genelinin %70'ini oluşturmuştur. Bu alanlar, AHP ile aynı kalmakla birlikte, orta tehlikeli alanlar bu modelde AHP'ye göre düşük tehlikeli alanlara doğru genişlemiş; çok düşük tehlikeli alanlar ise yükseltinin arttığı dağlık alanlara doğru daralmıştır. Bu daralma, ilgili sınıflarda nüfus miktarında da azalmaya neden olmuştur.

Fuzzy AHP ile elde edilen tehlike haritası, AHP ile oluşturulan haritaya göre dikkate değer farklılıklar içermektedir. Bu farklılıklar hem tehlike sınıflarının dağılımında hem de yüz ölçümlerinde ortaya çıkmakta, dolayısıyla riskin mekânsal dağılımında da değişmektedir. Öncelikle, benzer hususlar açısından karşılaştırıldığında, AHP'de olduğu gibi en yüksek risk taşıyan bölgeler, alan açısından küçük olmasına rağmen, önemli bir nüfus ve yapılaşma yoğunluğuna sahiptir. Bu tehlike alanları, toplam il alanının %10'unu, toplam nüfusun %31'ini, kırılğan nüfusun %26'sını ve yapıların yaklaşık beşte birini (%19) oluşturmaktadır.

#### 4.3. Rastgele Orman Modeli Tehlike Haritasının Analizi

AHP ve Fuzzy AHP'den elde edilen sonuç haritalarındaki çok



Şekil 6. Fuzzy AHP ile üretilen deprem tehlike haritası.

Figure 6. Earthquake hazard map produced with Fuzzy AHP.

Tablo 6. Fuzzy AHP modeline göre tehlike sınıfları ve risk analizi.

Table 6. Hazard classes and risk analysis according to Fuzzy AHP model.

Tehlike Sınıfları	Fuzzy AHP									
	Alan km <sup>2</sup>	Alan %	Toplam Nüfus	Toplam Nüfus %	Kırılğan Nüfus	Kırılğan Nüfus %	Yapılaşmış Alan km <sup>2</sup>	Yapılaşmış Alan %	Yapı Sayısı	Yapı Sayısı %
Çok Düşük	3529	21	31958	2	13013	1	6	1	2066	1
Düşük	8450	49	165643	11	67188	5	141	20	40322	13
Orta	3572	21	335188	23	135749	9	253	36	103596	34
Yüksek	1358	8	463102	32	187476	13	191	27	101200	33
Çok Yüksek	293	2	449792	31	182094	13	107	15	56337	19
<i>Toplam</i>	<i>17202</i>	<i>100</i>	<i>1445683</i>	<i>100</i>	<i>585520</i>	<i>41</i>	<i>698</i>	<i>100</i>	<i>303521</i>	<i>100</i>

yüksek tehlikeli olarak sınıflandırılan yerlerden rastgele örnek-leme ile alınmış noktalar, bağımlı değişken olarak kullanılmış ve aynı bağımsız değişkenlerle Rastgele Orman modeli oluşturulmuştur. Elde edilen harita, özellikle Fuzzy AHP ile büyük ölçüde örtüşmektedir. Önemli farklar arasında, Rastgele Orman modeli “çok yüksek” ve “yüksek” olarak sınıflandırdığı alanlar, diğer iki modele göre ilin %13’ünü oluşturarak daha geniş bir yüzölçümüne sahiptir. Bu durum, modelin daha agresif bir sınıflandırma yapısına sahip olması ile ilgilidir. Nitekim, orta düzeyde tehlikeli alanlar açısından diğer iki modele göre daha küçük bir alanla temsil edilmektedir. Düşük ve çok düşük sınıftaki arazilerin büyüklüğü ise diğer iki modele yakındır (Şekil 7, Tablo 7).

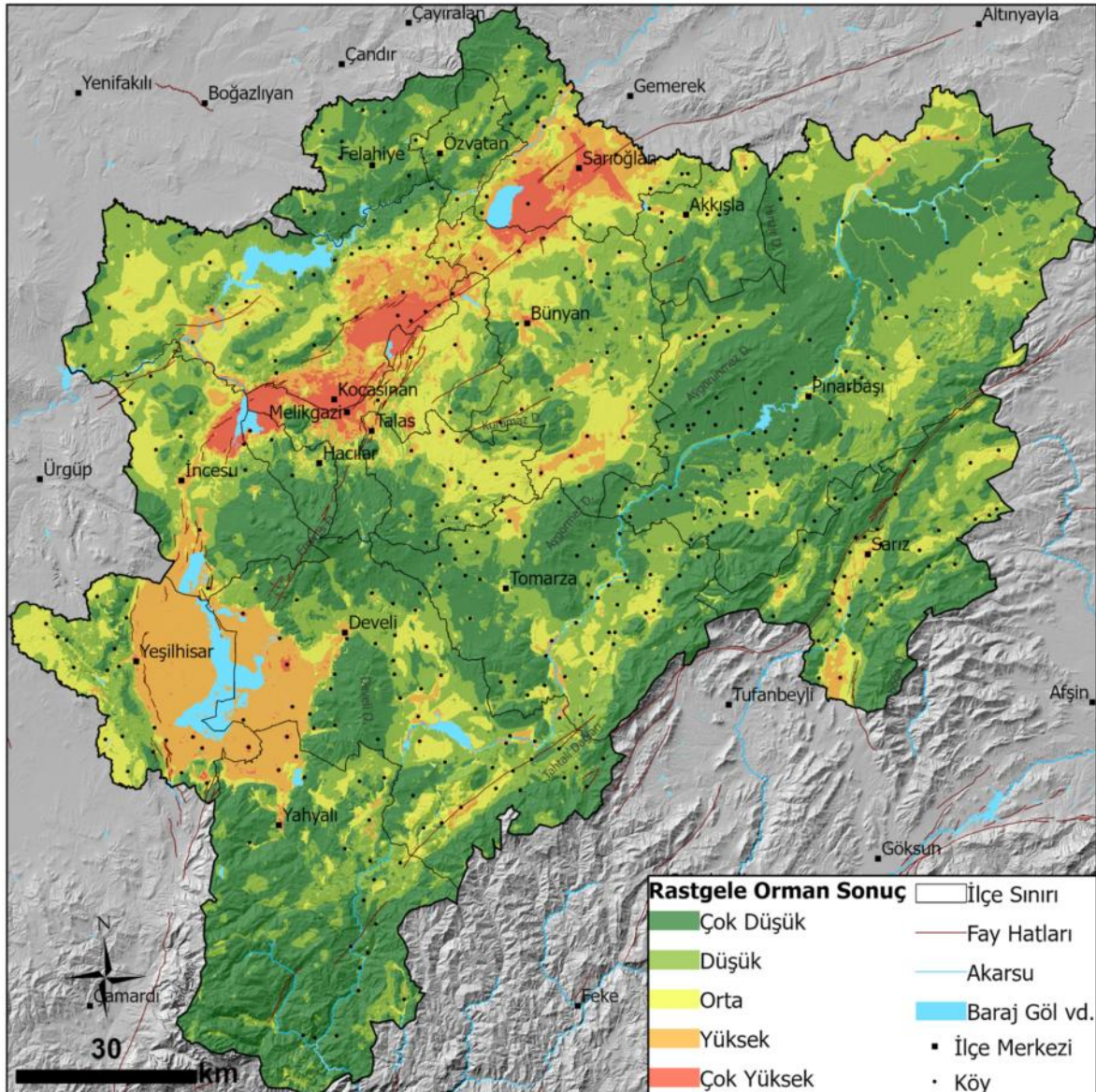
Rastgele Orman modelinde “çok yüksek” olarak sınıflandırılan yerlerde, yapılaşmış alanların özellikle alüvyal depolar üzerinde kalan kesimleri dikkati çekmektedir. Ayrıca, yapılaşmış alanların çevresindeki karayolları ve yakınındaki yapı kümeleri de bu sınıfta yer almaktadır.

“Yüksek” tehlikeli alanlar içinde yer alan çok yüksek tehlikeli alanlar da dahil edildiğinde, ilde KD-GB istikametinde uzanan

önemli ovaların sınırları ile büyük ölçüde örtüşmektedir. Bünyan ilçesindeki Zamantı Ovası, Tomarza ilçesindeki Çukuryavşan Ovası, Kocasinan ilçesindeki Yamula Ovası ve Sarız Ovası bu kuşak dışında yüksek tehlikeli olarak sınıflandırılan alanlar arasındadır.

“Orta” tehlikeli sınıfta, ovalar ve çevresindeki aşınım düzlükleri ve alçak platolar, vadi tabanları öne çıkmaktadır. Bunlar arasında Erciyes, Aygörmüş ve Kuramaz dağları arasında kalan düzlükler, Kocasinan ilçesindeki Elmalı Ovası öne çıkmaktadır. Ayrıca, Tahtalı Dağlarının kuzeyinde yer alan birikinti yelpazeleri dikkati çekmektedir.

Rastgele Orman modelinde “çok yüksek” ve “yüksek” tehlike sınıfları birlikte değerlendirildiğinde, Kayseri ilinin toplam alanının sadece %13’ünü oluşturmalarına rağmen, toplam nüfusun %70’ini kapsamaktadır. Kırılğan nüfusun %28’i bu sınıflarda yer almakta olup, yapılaşmış alanın %52’si ve yapıların %60’ı bu bölgelerde bulunmaktadır. Bu durum, yüksek tehlike potansiyeli taşıyan bölgelerde yoğun bir nüfus ve yapılaşma baskısının olduğunu gösterir. Nüfusun ve yapılaşmanın bu kadar yoğun olduğu alanlarda, tehlike derecesinin yüksekliği göz önüne alın-



Şekil 7. Rastgele orman modeli ile üretilen deprem tehlike haritası.

Figure 7. Earthquake hazard map produced with random forest model.

**Tablo 7.** Rastgele orman modeline göre tehlike sınıfları ve risk analizi.**Table 7.** Hazard classes and risk analysis based on random forest model.

Tehlike Sınıfları	Rastgele Orman									
	Alan km <sup>2</sup>	Alan %	Toplam Nüfus	Toplam Nüfus %	Kırılğan Nüfus	Kırılğan Nüfus %	Yapılaşmış Alan km <sup>2</sup>	Yapılaşmış Alan %	Yapı Sayısı	Yapı Sayısı %
Çok Düşük	7031	41	87216	6	35357	2	53	8	15921	5
Düşük	5464	32	147979	10	60048	4	120	17	38820	13
Orta	2507	15	205902	14	83469	6	157	22	65835	22
Yüksek	1743	10	429783	30	174001	12	213	30	105990	35
Çok Yüksek	457	3	574803	40	232646	16	155	22	76955	25
<i>Toplam</i>	<i>17202</i>	<i>100</i>	<i>1445683</i>	<i>100</i>	<i>585520</i>	<i>41</i>	<i>698</i>	<i>100</i>	<i>303521</i>	<i>100</i>

diğında, risk yönetiminin kritik önemde olduğu ve bu bölgelerde altyapı ve yapı kalitesine yönelik dirençliliği artırma çabalarına öncelik verilmesi gerekmektedir (Tablo 7).

Diğer taraftan, "çok düşük, düşük ve orta" tehlike sınıfları Kayseri ilinin %88'ini kaplamakta ve toplam nüfusun %30'unu barındırmaktadır. Kırılğan nüfusun %12'si bu bölgelerde yer alırken, yapılaşmış alanın %47'si ve yapıların %40'ı bu alanlarda bulunmaktadır. Bu grupta tehlikenin düşük olmasının yanında, yapılaşma yoğunluğu ve nüfus oranları da görece daha düşüktür.

Her üç yöntemi risk açısından karşılaştırdığımızda, tehlike düzeyi arttıkça hem toplam hem de kırılğan nüfusun önemli ölçüde yükseldiği gözlemlenmiştir. Özellikle, yüksek ve çok yüksek tehlike sınıflarında toplam nüfusun yaklaşık %60'ı yer alırken, kırılğan nüfusun %40'ının bu sınıflarda yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Random Forest modeli, özellikle çok yüksek tehlike sınıfında diğer modellere kıyasla daha yüksek kırılğan nüfus öngörüsü sunarak daha temkinli bir risk/tehlike tahmini vermektedir. Bu bulgular ışığında, yüksek ve çok yüksek tehlike sınıflarında yer alan nüfusun korunmasına yönelik risk azaltma stratejilerinin bu alanlarda yoğunlaştırılması gerektiği söylenebilir.

## 5. Tartışma

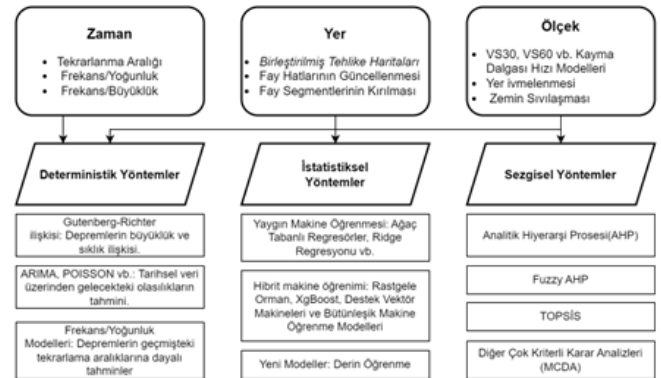
Kayseri ilinde deprem tehlikesinin mekânsal dağılımında "çok yüksek" ve "yüksek" tehlike sınıfında yer alan alanlar, alsal olarak küçük bir yüzdeye sahip olmasına rağmen, en yoğun yapılaşmanın bulunduğu il merkezi ve yakın çevresi ile kuzeydoğu kesimi boyunca uzanan aktif fay hatlarının yakınındaki Kuvaterner dolgu yüzeyleridir. Kayseri ili odaklı deprem tehlikesi ve riski konusundaki çalışmaların bulguları, bu nedenle il merkezi ve yakın çevresine yöneliktir. (AFAD, 2021; Özmen, 2023; Akgül, 2023). Bu çalışma diğerlerinden farklı olarak ilin tamamını deprem tehlikesi açısından önemli parametreler aracılığıyla ve alternatif modellerle mekânsal boyutunu değerlendirmesi açısından önemlidir. Çünkü deprem riskinin değerlendirilmesi için öncelikli olarak deprem tehlike haritaları üretilmelidir (Sagara ve Saito, 2013).

Çalışmanın sınırlılığı açısından bir değerlendirme yapmak gerekirse yalnızca tehlike haritalarının üretimi afet yönetimi açısından yeterli değildir. Öncelikli amaç maruziyet ve kırılğanlığa bağlı olarak muhtemel zarar görülebilirliği yani riski tespit edip buna yönelik önlemler ve düzenlemeler yapmak olduğundan, bu haritalar aracılığıyla risk değerlendirmesi yapılması gerek-

mektedir. Bu çalışma risk analizinde öncelikli olarak ele alınan yapı, arazi kullanımı, yaş gruplarına göre kırılğan nüfus özelliklerine göre kısa bir değerlendirme yapmıştır. Ancak ilgili yazında risk analizleri çok daha fazla parametre ayrı ayrı veya entegre olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada "yer" odaklı deprem tehlike analizi yapılmıştır. Ancak deprem tehlikesi ile ilgili analizlerde "zaman", "yer" ve "ölçek" temaları bulunmakta ve bunları açıklamaya yönelik çeşitli metodolojiler kullanılmaktadır (Kramer, 1996; Mcguire, 2004). Söz konusu metodlar deterministik, istatistiksel ve sezgisel olmak üzere üç ana yaklaşım üzerinden sınıflandırılabilir (Şekil 8).

*Deterministik yöntemler* özellikle depremlerin tekrarlanma sıklığını ve büyüklüğünü tahmin etmeye yönelik olsa da depremlerin doğasındaki belirsizlikler bu modellerin pratikte sınırlı kalmasına neden olmaktadır. İstatistiksel yöntemler, fay hatlarının kırılması ve güncellenmesinin yanında deprem tehlike haritalarının üretilmesinde önemlidir. Yaygın makine öğrenmesi algoritmaları (örneğin Ağaç Tabanlı Regresyon, Ridge Regresyon) ile birlikte daha yeni hibrit yaklaşımlar (XGBoost, Destek Vektör Makineleri vb.) da bu süreçte kullanılmaktadır. Ancak, istatistiksel yöntemlerin doğruluğu, modelin eğitim verisinin kalitesine bağlıdır ve farklı modellerin karşılaştırılmasını gerekir. Sezgisel yöntemler ise büyüklük, ivmelenme, sıvılaşma ve tehlike haritalarının üretiminde kullanılmaktadır. Bunlar Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Fuzzy AHP ve TOPSIS yöntemler olmak üzere, belirsizliklerin fazla olduğu ve uzman görüşüne dayanan alanlarda etkili olan çok kriterli karar verme teknikleridir. Sezgisel yöntemler, özellikle subjektif veri ağırlığına dayanması nedeniyle sınırlamalar içerdiğinden deprem tehlike haritalarının üretilmesinde artık istatistiksel yöntemlerle birlikte hibrit olarak kullanılmaktadır.



**Şekil 8.** Deprem tehlikesinin analizinde hedefler ve kullanılan yöntemler.  
**Figure 8.** Goals and methods used in earthquake hazard analysis.



Bu yöntemlerin entegrasyonu, deprem tehlikelerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması için kritik öneme sahiptir. Her bir yaklaşımın güçlü yönlerini birleştirerek, sismik riskin karmaşık doğasını daha iyi ele almak mümkündür. Bu nedenle, etkili deprem tehlike haritalarının oluşturulması için bu metodolojilerin bir kombinasyonunun kullanılması gerekmektedir.

## 6. Sonuç

Bu çalışma, Kayseri ili için deprem tehlikesi ve risk değerlendirmesini AHP, Fuzzy AHP ve Rastgele Orman yöntemlerini entegre ederek incelemiştir. Her bir yöntem, kendine özgü yapısı ve analiz kapasitesi ile Kayseri'deki deprem tehlikesinin mekânsal dağılımını farklı açılardan ele alarak ayrıntılı bir şekilde ortaya koymuştur. AHP ve Fuzzy AHP modelleri, karar kriterlerinin önem ağırlıklarını dikkate alarak Kayseri'nin yerel coğrafi ve yapısal özelliklerine göre hassas bölgelerin sınıflandırılmasını sağlamıştır. Fuzzy AHP'nin belirsizliği yönetme yeteneği, özellikle yüksek yapı yoğunluğuna sahip yerlerde riskin daha ayrıntılı olarak analiz edilmesine olanak tanımış ve risk analizinde kesinlik kazandırmıştır. Diğer yandan, Random Forest algoritması ile oluşturulan risk haritası, mekânsal risk dağılımında daha geniş alanların yüksek tehlike kategorisinde sınıflandırılmasıyla öne çıkmış, deprem riskinin nüfus yoğunluğu, yerleşim yapısı ve arazi kullanım değişkenleriyle ilişkisini istatistiksel olarak güçlü bir model sunarak göstermiştir. Sonuçlar, Fuzzy AHP'nin, geleneksel AHP'ye göre daha detaylı ve belirsizliği daha iyi yöneten bir yaklaşım sunduğunu; Rastgele Orman modelinin ise diğer iki modele göre daha agresif bir sınıflandırma yapısı sergilediğini göstermektedir.

Tehlike sonuç haritalarında özellikle Sarioğlan-İncesu hattı boyunca uzanan depresyonlar, il genelindeki en tehlikeli alanları oluşturmakta ve bu bölgeler aynı zamanda en yoğun nüfuslu kuşaklara denk gelmektedir. Kayseri'nin Türkiye'de ortalama kat sayısının en fazla olduğu il olması, özellikle il merkezindeki yüksek katlı binaların deprem tehlikesinin olası etkilerini artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, yüksek tehlike sınıfında yer alan alanlarda toplam nüfusun yaklaşık %60'ının bulunması nedeniyle altyapı iyileştirme ve kentsel yapılaşma süreçlerinde deprem risk azaltma stratejilerine öncelik verilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu durum ilin, deprem tehlikesi ile birlikte kırılganlık ve maruziyete bağlı olarak deprem riskini arttırmaktadır. Kayseri ili özelinde yapılan analizler, bölgenin deprem riskine karşı kırılganlığını ortaya koymuş ve farklı yöntemlerin birlikte kullanılmasının, risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde kritik rol oynadığını göstermektedir. Yüksek ve çok yüksek tehlike sınıflarında yer alan alanlarda nüfus yoğunluğu ve yapılaşma baskısının artması, bu bölgelerde altyapı ve yapı kalitesine yönelik iyileştirme çalışmalarının öncelikli hale getirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, modellemelere daha fazla parametrenin dahil edilmesi, farklı senaryo analizleri yapılması ve yeni teknolojilerin kullanılmasıyla deprem tehlikesi ve risk değerlendirmesinin daha da geliştirilmesi mümkündür. Bu sayede, deprem riskinin azaltılması ve toplumsal dirençliliğin artırılması yönünde daha etkili adımlar atılabilir. Çalışma bulguları, il genelinde en yüksek tehlike potansiyeline sahip alanların doğru şekilde sınıflandırılarak kritik risk alanlarının belirlenmesi ve afet öncesi hazırlık, afet sırasında müdahale ve afet sonrası iyileşme süreçlerine yönelik kapsamlı bir strateji oluşturulmasında katkı sunabilir.

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

**Yazar katkısı/Author contribution:** Çalışmanın konsepti ve tasarımı F. A. C. ve Y. B. tarafından yapılmıştır. F. A. C. ve Y. B. tarafından veriler toplanmış ve yorumlanması yapılmıştır. İlk yazım kısmı F. A. C. tarafından yapıp daha sonradan Y. B. tarafından da okunmuş, en son gerekli düzeltmeler F. A. C. ve Y. B. tarafından yapılmıştır. *The study was conceived and designed by F. A. C. and Y. B.. The data were collected and interpreted by F. A. C. and Y. B.. The first writing part was done by F.A.C. and later read by Y. B., the last necessary corrections were made by F. A. C. and Y. B..*

**Etik Kurulu Onayı/Ethics Committee Approval:** Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

**Veri Erişebilirliği/Data:** Çalışma içindeki kullanılan bütün veriler açık erişimli veri tabanlarından elde edilerek amaca uygun olarak yeniden düzenlenmiştir. İlgili verilerin erişim adresleri, kaynakçada belirtilmiştir. *All data used in the study have been obtained from open access databases and have been organised according to their purpose. The access addresses of the relevant data are given in the bibliography.*

## Kaynakça

- AFAD. (2024). Deprem Kataloğu. <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>
- AFAD. (2018). Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. [https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/35429/xfiles/turkiye\\_de\\_afetler.pdf](https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/35429/xfiles/turkiye_de_afetler.pdf)
- AFAD. (2021). İl Risk Azaltma Planı, Kayseri (İRAP). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Kayseri. [https://kayseri.afad.gov.tr/kurumlar/kayseri.afad/Egitim/Kayseri\\_IRAP\\_Baski.pdf](https://kayseri.afad.gov.tr/kurumlar/kayseri.afad/Egitim/Kayseri_IRAP_Baski.pdf)
- Akgül, A. (2023). Kayseri il merkezi için Vs30 kayma dalgası hızı haritalarının hazırlanması (Tez Yayın No: 801843) [Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Allen, T. I., Wald, D. J. (2007). Topographic slope as a proxy for seismic site-conditions (VS30) and amplification around the globe. *Geological Survey (US)*, No. 2007-1357, <https://pubs.usgs.gov/of/2007/1357/>
- Anwar, G. A., Dong, Y. (2020). Seismic resilience of retrofitted RC buildings. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*. 19(3), 561-571. <https://doi.org/10.1007/s11803-020-0580-z>
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. (2023). Regional Earthquake-Tsunami Monitoring and Evaluation Center - Earthquake Catalog. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>

- Borcherdt, R. D. (2012, September 24-28). *VS30—A site-characterization parameter for use in building Codes, simplified earthquake resistant design, GMPEs and ShakeMaps* [Conference presentation]. In the 15th world conference on earthquake engineering. Lisbon, Portugal. <https://pubs.usgs.gov/publication/70041709>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32. <https://link.springer.com/article/10.1023/a:1010933404324>
- Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı H., Olgun, Ş. (2011). *1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi*. Seri No: 32, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, <https://mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/diri-fay-haritalari>
- Erdem, F., Derinpınar, M. A., Nasırzadehdızajı, R. , Oy, S. , Şeker, D. Z. Bayram, B. (2018). Rastgele orman yöntemi kullanılarak kıyı çizgisi çıkarımı İstanbul örneği. *Geomatik*, 3(2), 100-107. <https://doi.org/10.29128/geomatik.362179>
- ESRI, Environmental Systems Research Institute. (2023). *Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover Time Series*. ESRI. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d3da5dd386d140cf93fc9ecbf8da5e31>
- Field, E. H. (2000). Accounting for site effects in probabilistic seismic hazard analyses of Southern California: overview of the SCEC Phase III report. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(6B), 1-31. <https://doi.org/10.1785/0120000512>
- Gilbert, S. W. (2016). *Disaster resilience: A guide to the literature*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Gutenberg, B., Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological society of America*, 34(4), 185-188. <https://doi.org/10.1785/BSSA0340040185>
- Harff, J., Meschede, M., Petersen, S., Thiede, J. (Eds.). (2016). *Encyclopedia of marine geosciences*. Springer Science Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6644-0>
- Heath, D. C., Wald, D. J., Worden, C. B., Thompson, E. M., Smoczyk, G. M. (2020). A global hybrid VS30 map with a topographic slope-based default and regional map insets. *Earthquake Spectra*, 36(3), 1570–1584. <https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/>
- Hu, J., Chen, J., Chen, Z., Cao, J., Wang, Q., Zhao, L., Zhang, H., Xu, B., Chen, G. (2018). Risk assessment of seismic hazards in hydraulic fracturing areas based on fuzzy comprehensive evaluation and AHP method (FAHP): A case analysis of Shangluo area in Yibin City, Sichuan Province, China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 170, 797-812. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.06.066>
- Jennings, P. C. (2003). *An introduction to the earthquake response of structures*. *International Geophysics*, 81, 1097-1125. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(03\)80181-X](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(03)80181-X)
- Kant Sharma, L., Kanga, S., Singh Nathawat, M., Sinha, S. and Chandra Pandey, P. (2012), Fuzzy AHP for forest fire risk modeling. *Disaster Prevention and Management*, 21(2), 160-171. <https://doi.org/10.1108/09653561211219964>
- Koks, E. E., Jongman, B., Husby, T. G., Botzen, W. J. (2015). Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental Science Policy*, 47, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013>
- Koks, E. E., Rozenberg, J., Zorn, C., Tariverdi, M., Vousdoukas, M., Fraser, S. A. (2019). A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets. *Nature Communications*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2583746>
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Pearson Education India.
- Lee, C.; Schaaf, T. (2006, 19-21 June). *The Future of Drylands* [Conference presentation]. International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research. Tunisia. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6970-3>
- Marconcini, M., Metz-Marconcini, A., Üreyen, S., Palacios-Lopez, D., Hanke, W., Bachofer, F. (2020). *World Settlement Footprint (WSF) 2015*. Dataset. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.10048412.v1>
- McGuire R (2004). *Seismic hazard and risk analysis: earthquake engineering research institute*. Monograph. [https://faeng.ufms.br/files/2019/06/PGA\\_Seismic-Hazard-And-Risk-Analysis\\_McGuire\\_2004.pdf](https://faeng.ufms.br/files/2019/06/PGA_Seismic-Hazard-And-Risk-Analysis_McGuire_2004.pdf)
- MICROSOFT. (2023). *Microsoft Building Footprints, Türkiye*. MICROSOFT, <https://github.com/Microsoft/USBuildingFootprints>
- Mokarram, M., Negahban, S. Abdeldjalil, B. (2021). GIS-based fuzzy-analytic network process (FAHP), fuzzy-analytic hierarchy process (FANP) methods and feature selection algorithm (FSA) to determine earthquake-prone areas in Kermanshah Province. *Environ Earth Sci*, 80(633), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09934-7>
- Morell, K. D., Styron, R., Stirling, M., Griffin, J., Archuleta, R., Onur, T. (2020). Seismic hazard analyses from geologic and geomorphic data: Current and future challenges. *Tectonics*, 39(10), 1-47. <https://doi.org/10.1029/2018TC005365>
- MTA (2024). *Kayseri Jeoloji Haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, [https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/productpath=2\\_46product\\_id=36727](https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/productpath=2_46product_id=36727)
- Nyimbili, P.H., Erden, T. & Karaman, H. (2018). Integration of

- [https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/product&path=2\\_46product\\_id=36727](https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/product&path=2_46product_id=36727)
- Nyimbili, P.H., Erden, T. & Karaman, H. (2018). Integration of GIS, AHP and TOPSIS for earthquake hazard analysis. *Nat Hazards*, 92, 1523-1546. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3262-7>
- Ochoa, L. H., Niño, L. F., Vargas, C. A. (2018). Fast estimation of earthquake epicenter distance using a single seismological station with machine learning techniques. *Dyna*, 85(204), 161-168. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.68408>
- Öncü, S. (2021). *CBS yöntemiyle Bursa'nın bütünlüklük doğal tehlike analizi* (Tez Yayın No: 696829) [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Özmen, M. (2023). Evaluating earthquake vulnerability of 2023 Kayseri, Türkiye via BWM-ABAC method. *Sādhana*, 48(3), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s12046-023-02216-x>
- Pesaresi, M., Politis, P. (2023). *GHS-BUILT-H R2023A - GHS building height, derived from AW3D30, SRTM30, and Sentinel2 composite*. European Commission, Joint Research Centre. <http://data.europa.eu/89h/85005901-3a49-48dd-9d19-6261354f56fe>
- Rashed, T., & Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6), 547-576. <https://doi.org/10.1080/1365881031000114071>
- Rusydi, H., Effendi, R., Rahmawati, R. (2017). Vulnerability zoning of earthquake disaster of Palu. Universitas Sebelas Maret, *International Journal of GEOMATE*, 1(2), 137-143. <https://doi.org/10.20961/ijscs.v1i2.5138>
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill International.
- Sagara, J., Saito, K. (2013). *Risk assessment and hazard mapping*. World Bank, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/16146>
- Sianko, I., Ozdemir, Z., Khoshkholghi, S., Garcia, R., Hajirasouliha, I., Yazgan, U., & Pilakoutas, K. (2020). A practical probabilistic earthquake hazard analysis tool: case study Marmara region. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(6), 2523-2555. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00793-4>
- SRTM, The Shuttle Radar Topography Mission. (2014). *USGS SRTM DEM*. NASA. <https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT>
- Stein, S., Geller, R. J., Liu, M. (2012). Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it. *Tectonophysics*, 562, 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.047>
- Taş, N. (2003). Yerleşim alanlarında olası deprem zararlarının azaltılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fa*
- kültesi Dergisi*, 8(1), 225-231. <https://acikerisim.uludag.edu.tr/items/bfd7c3ae-aa12-4511-a538-af9bc97985ce>
- TÜİK. (1997). *1997 Köy Envanter Etüdü Kayseri*. T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü. <https://kutuphane.tuik.gov.tr/pdf/0014605.pdf>
- TÜİK. (2022). *Bina İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Survey-on-Building-and-Dwelling-Characteristics-2021-45870>
- TÜİK. (2024). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://biruni.tuik.gov.tr>
- UNISDR, UN Office for Disaster Risk Reduction. (2009). *2009 UNISDR terminology on disaster risk reduction*. UNISDR, Geneva. <http://www.unisdr.org/we/inform/publicaitons/7817>
- WorldPop, (2020)a. *Global Population Density*. University of Southampton. <https://dx.doi.org/10.5258/SOTON/WP00674>
- WorldPop, (2020)b. *Global 100m Age/Sex Structures*. University of Southampton. <https://dx.doi.org/10.5258/SOTON/WP00646>
- Yanis, M., Furumoto, Y. (2019). Lithological identification of devastated area by Pidie Jaya earthquake through Poisson's ratio analysis. *GEOMATE*, 17(63), 210-216. <https://doi.org/10.21660/2019.63.77489>
- Yariyan, P., Zabihi, H., Wolf, I. D., Karami, M., Amiriyan, S. (2020). Earthquake risk assessment using an integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Artificial Neural Networks based on GIS: A case study of Sanandaj in Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101705>
- Zadeh L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353. <https://pdf.sciencedirectassets.com/273276/1-s2.0-S0019995800X00952/1-s2.0-S001999586590241X/main.pdf?X->
- Zhou, J., Huang, S., Wang, M., Qiu, Y. (2022). Performance evaluation of hybrid GA-SVM and GWO-SVM models to predict earthquake-induced liquefaction potential of soil: a multi-dataset investigation. *Engineering with Computers*, 38, 4197-4215. <https://doi.org/10.1007/s00366-021-01418-3>
- Zhu, Z., Zhang, Y. (2022). Flood disaster risk assessment based on random forest algorithm. *Neural Computing and Applications*, 34, 3443-3455. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-05757-6>

# TÜRK COĞRAFYA DERGİSİ

## TURKISH GEOGRAPHICAL REVIEW

Sayı/Volume 86, Aralık/December 2024



### İçindekiler / Contents

Editörden.....	1-6
<b>Araştırma Makaleleri/Research Articles</b>	
Mehmet Özcanlı, Erkan Yılmaz	Türkiye’de arazi örtüsü/kullanımı değişimlerinin belirlenmesi ve iklim değişimine olası etkileri <i>Determination of land cover/use changes in Türkiye and its possible effects on climate change</i> .....7-24
Sultan Murat Uzun	Uluabat Gölü yüzey alanının zamansal değişim analizi üzerinden DSAS ve yapay sinir ağları modellerine göre gelecek tahminleri <i>Future predictions according to DSAS and artificial neural network models based on temporal change analysis of Uluabat Lake surface area</i> .....25-43
Yasin Furkan Şenlik, Erkan Yılmaz	İzmir ve Manisa şehirlerinde en sıcak ve en soğuk noktaların dağılışı ile arazi kullanımı arasındaki ilişkiler <i>The relationships between the distribution of the hottest and coldest spots and land use in the cities Izmir and Manisa</i> .....45-56
Üzeyir Yasak, Cahitcan Sıtmaç	Uşak şehrinde çıkmaz sokakların morfolojik analizi <i>Morphological analysis of dead end streets in Uşak city</i> .....57-69
Ayşegül Oğul, Faize Sarış	İstanbul’da biyoklimatik konfor koşullarının mekansâl analizi <i>Spatial analysis of bioclimatic comfort conditions in Istanbul</i> .....71-85
Derya Özçelik, Muhterem Küçükönder	2023 Depremleri afet bölgesinde NO <sub>2</sub> troposferik yoğunluklarının mekansal-zamansal sıcak noktaları <i>Spatial-temporal hotspots of NO<sub>2</sub> tropospheric concentrations in the disaster area of 2023 earthquakes</i> .....87-103
Muhammed Mustafa Özdel, Beyza Ustaoglu, İsa Cürebal	İklim değişikliğine bağlı olarak zeytinin ( <i>Olea europaea</i> L.) Türkiye’de gelecekteki dağılımının modellenmesi ve uyum stratejileri üzerine bir inceleme <i>Review on modeling and adaptation strategies of the future distribution of olives (Olea europaea L.) in Türkiye depending on climate change</i> .....105-120
Serkan Yavuz, Selma Nur Avcı, Özlem Tonguc Yayintaş, Ahmet Evren Erginal	Records of metals in bryophytes emitted from ash clouds of thermal power plants: A case study of Orhaneli, Bursa, Türkiye <i>Termik santrallerin kül bulutlarından salınan metallerin bryofitlerdeki kayıtları: Orhaneli, Bursa, Türkiye Örneği</i> .....121-128
Sultan Duran, Mesut Doğan	GAP Bölgesi tarımında problemlerin tespiti ve durum analizi: Anket verileriyle bir inceleme <i>Identifying problems and analyzing agricultural conditions in the GAP region: A survey-based study</i> .....129-141
Fethi Ahmet Canpolat, Yusuf Bulucu	Kayseri ilinde deprem tehlikesinin, sezgisel ve istatistiksel modellerle karşılaştırmalı analizi <i>Comparative analysis of earthquake hazard in Kayseri province using intuitive and statistical models</i> .....143-159