



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^{a*} 

^a 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 km² in 1975, it decreased by 27.9% to 110.8 km² 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 km² and reached the lowest level in August with 110.9 km².

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 km² in 2033 and 95.66 km² 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.

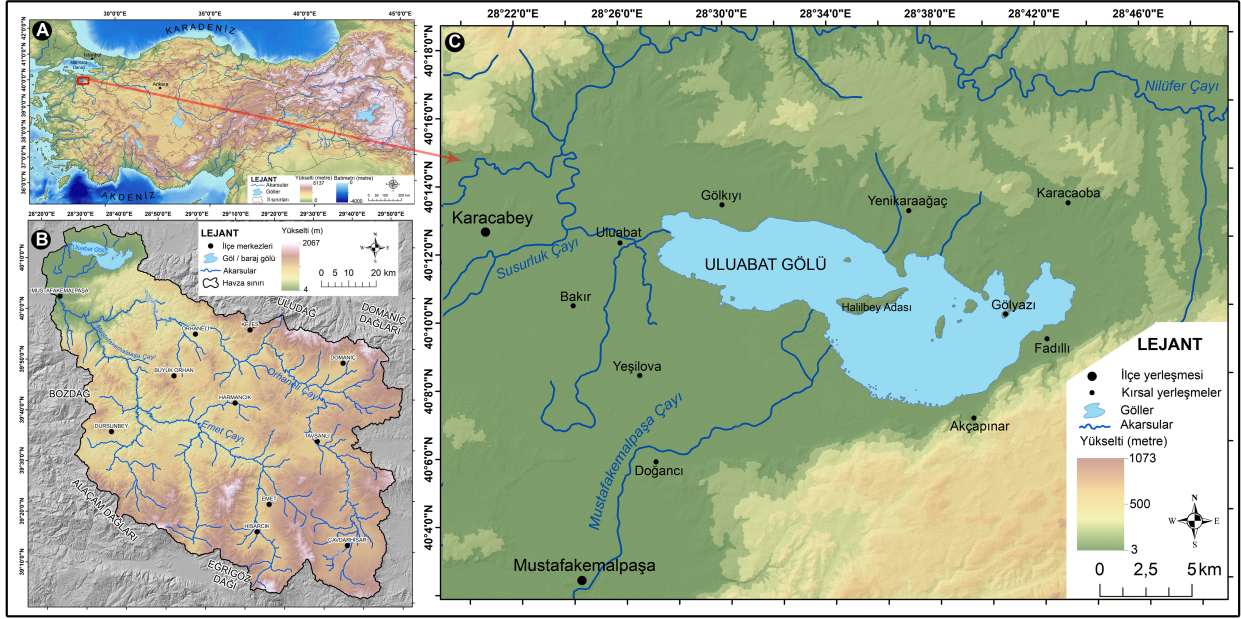
Göller, hidrografik, floristik ve ekolojik olarak sulak alan kapsamında yer alır. Bu bakımdan özellikle sığ göllerin birçoğu çok hassas yapıya sahiptir (Kuleli vd., 2011; Davidson & Finlayson, 2018). Ekosistem işleyişi, faunistik açıdan birçok canlıyı sürekli ve geçici barındırma potansiyeli, üretken 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.

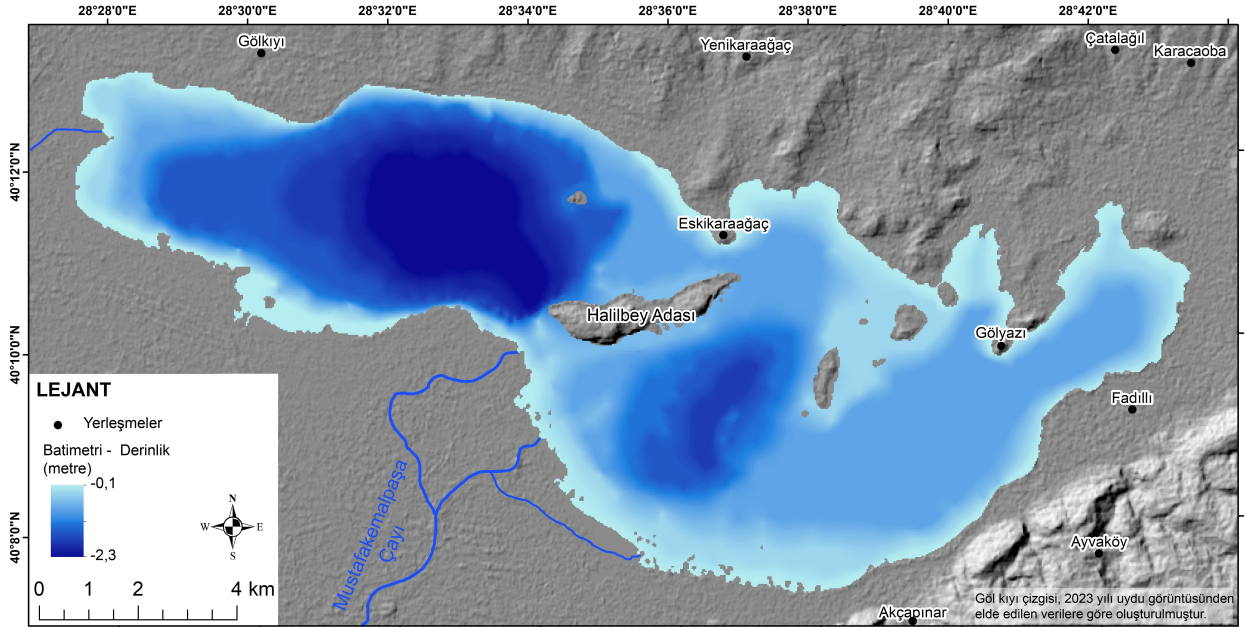
1.1. Çalışma Alanı

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 km², 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 km² 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 (%)
18.06.0975	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 işleyişi 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

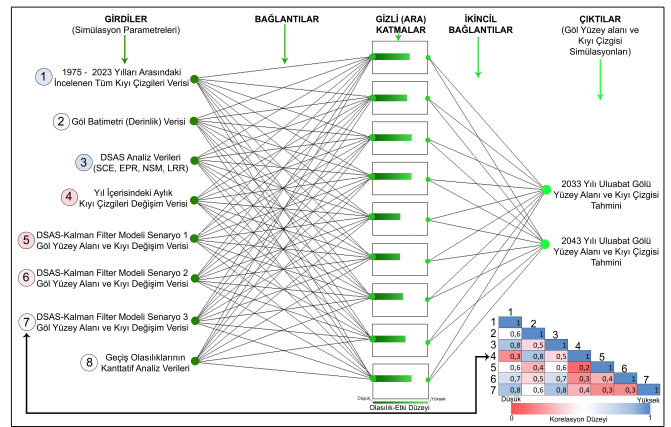
nitelendirilebilmektedir (Tang & Chi, 2005). Bir YSA yapısı, girdi katmanı, bağlantılar, ara katmanlar ve çıktı katmanından oluşmaktadır (Şekil 3). Nöronları yansıtan girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı birbirlerine hiyerarşik bir biçimde bağlanmaktadır. Farklı özellik ve alt kategorilere sahip 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 ağırlıklarının, 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 işlemde 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.

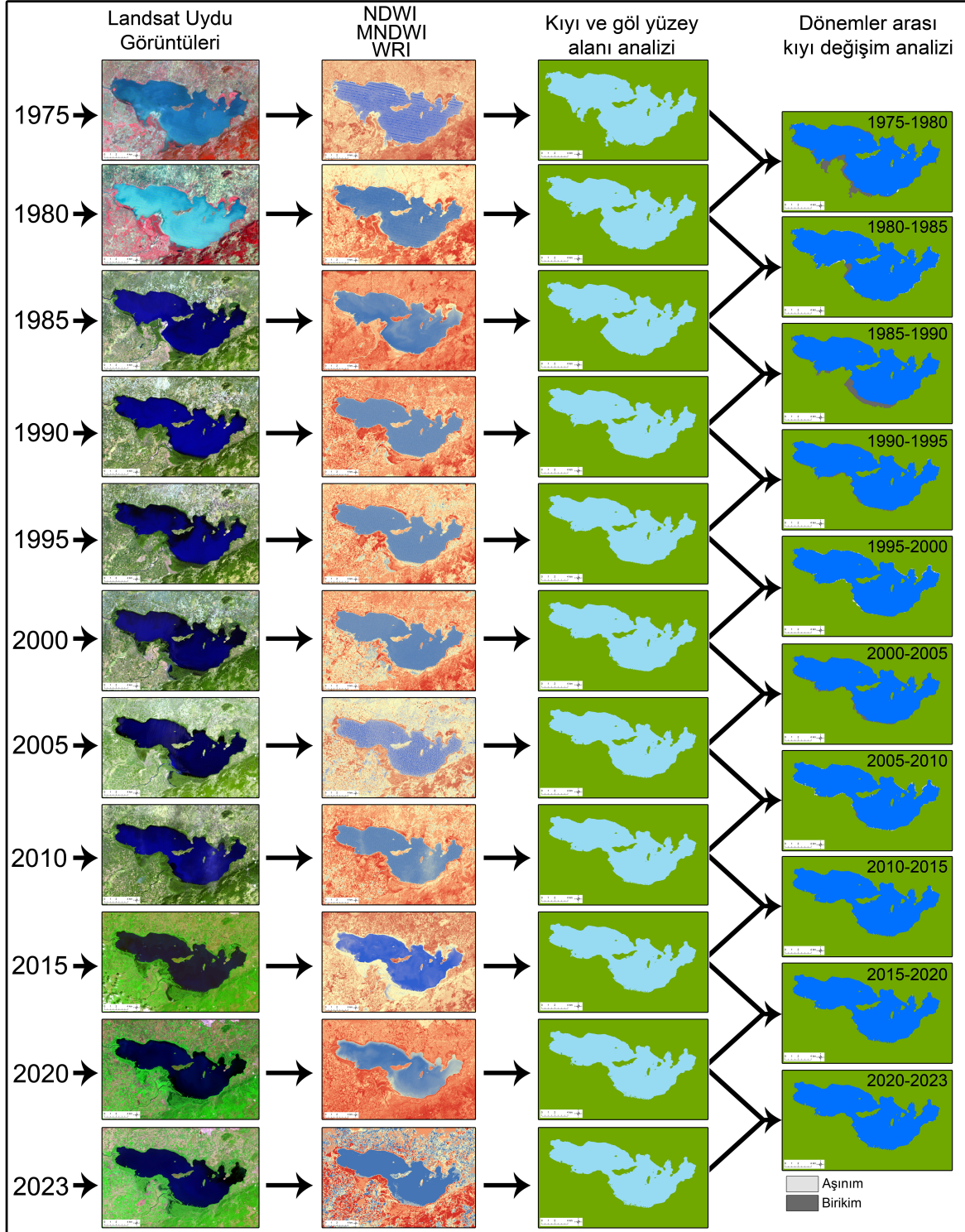
Figure 3. Artificial Neural Network model used for future prediction of lake surface area and shoreline and correlation matrix of criteria.

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 km² iken 2023 yılında 110,8 km² 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).

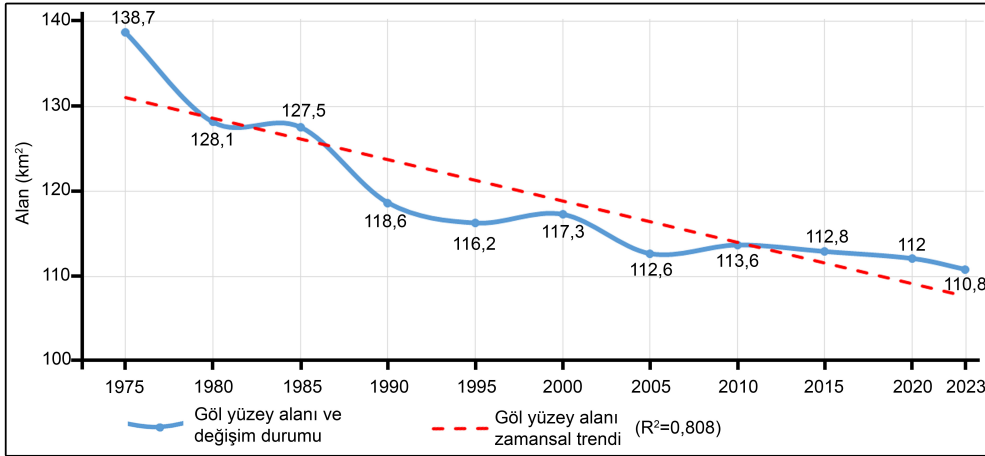
Dönemsel olarak göl kıyısında meydana gelen değişim incelendiğinde, sadece 1995-2000 ile 2005-2010 dönemlerinde kıyı aşınımı kıyı birikiminden fazla meydana gelmiştir. Diğer tüm dönemlerde kıyılarda meydana gelen değişimin büyük çoğunluğu kıyı birikimi şeklinde olmuştur (Şekil 6 ve Tablo 2). Bu durum sulak alan yapısındaki Uluabat Gölü'nün doğal dinamik süreçlerinin etkisinde olduğunu göstermektedir. 1975-1980 arasında Uluabat Gölü'nün özellikle güney-güneybatı kıyılarında 10 km²'den fazla kıyı birikimi meydana gelmiştir. (Şekil 4). 2005 yılında sonra göl kıyılarındaki birikim alanları dönemler arasında daima 1 km²'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-



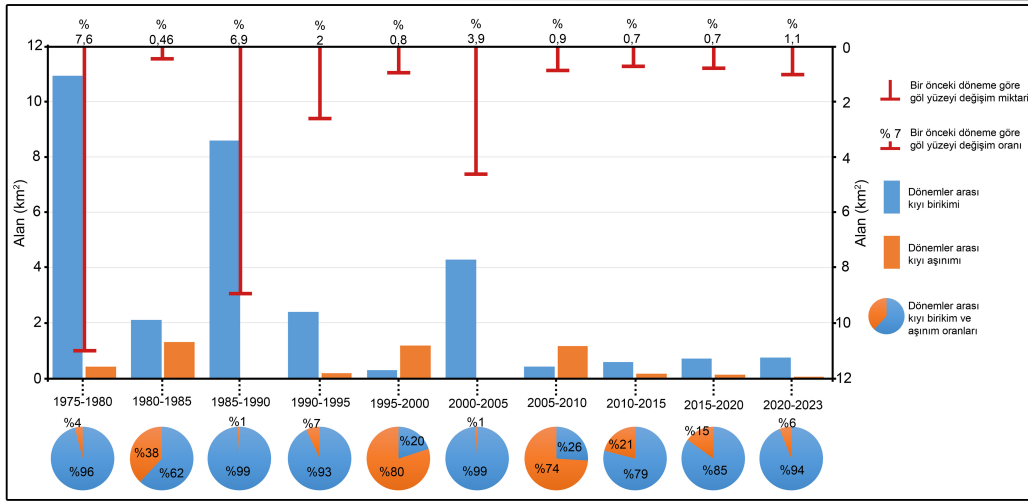
Şekil 5. Uluabat Gölü'nün 1975-2023 yılları arasındaki göl yüzey alanı verileri ve eğilimi.

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.

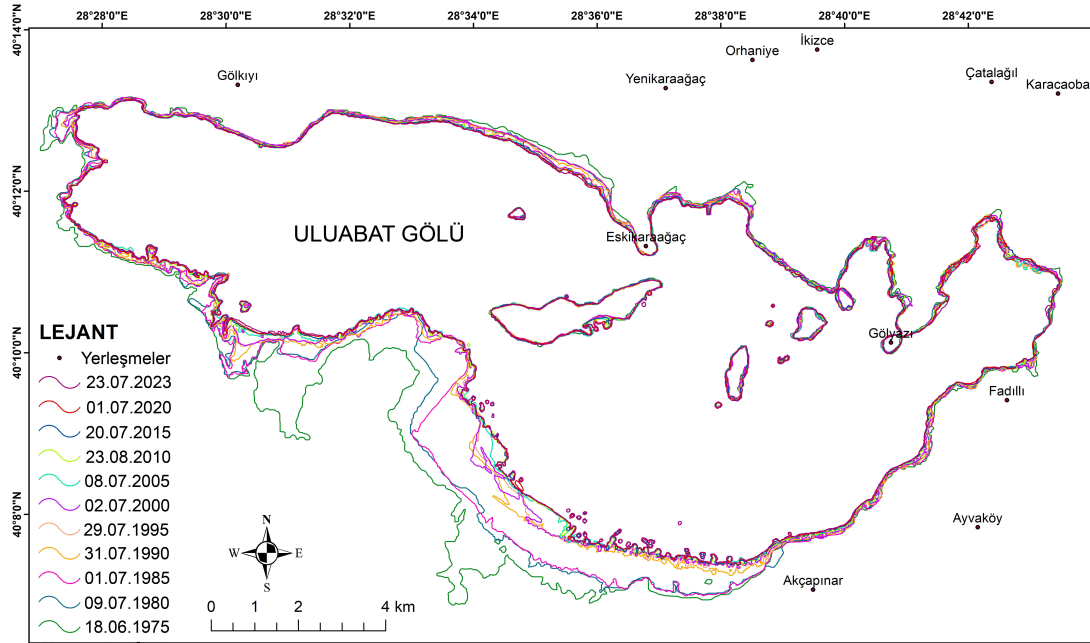
Dönemler	Dönemler arası göl yüzeyi değişimi (km ²)	Göl yüzey alanı değişim durumu	Göl yüzey alanı değişim oranı (%)	Dönemler arası kıyı birikimi alanı (km ²)	Dönemler arası kıyı erozyonu alanı (km ²)	Dönemler arası kıyı birikimi oranı (%)	Dönemler arası kıyı erozyonu oranı (%)
1975-1980	10,542	Azalma	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).

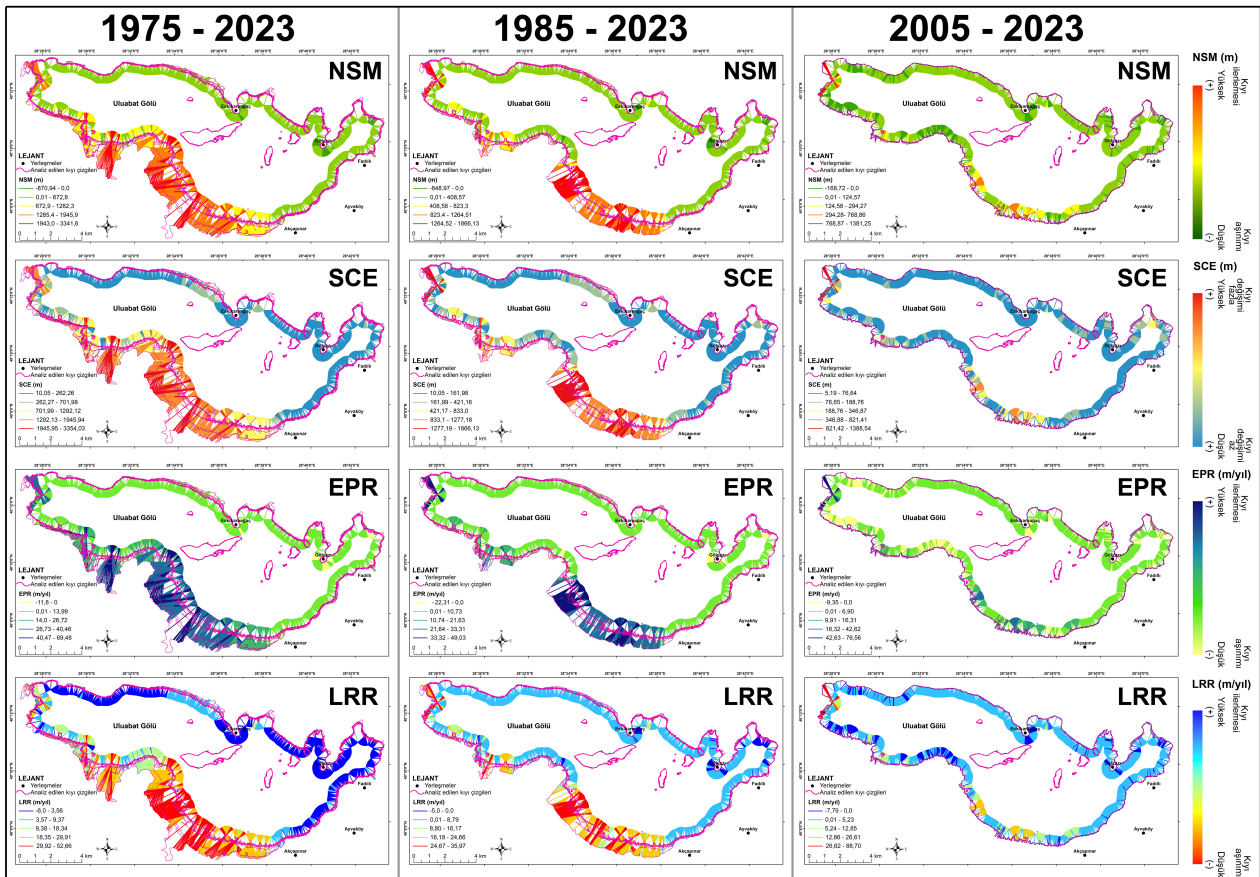
	NSM (m)			SCE (m)		
	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum
1975-2023	504,04	3341,6	-870,9	518,9	3354	10
1985-2023	280,2	1866,1	-848,9	300,5	1866,1	10
2005-2023	53,1	1381,2	-168,7	80,3	1388,5	5,1
	EPR (m/yıl)			LRR (m/yıl)		
	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum
1975-2023	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 km², şubat'ta 113,3 km², mart ayında 125,05 km², nisan'da 116,38 km², mayıs ayında 115,41 km², haziran'da 112,43 km², temmuz'da 111,23 km², ağustos'ta 110,9 km², eylül'de 111,76 km², ekim'de 111,43 km², kasım'da 111,82 km² ve aralık ayında 110,95 km² 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 km²'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 değişimin yaşandığını göstermektedir (Şekil 10).

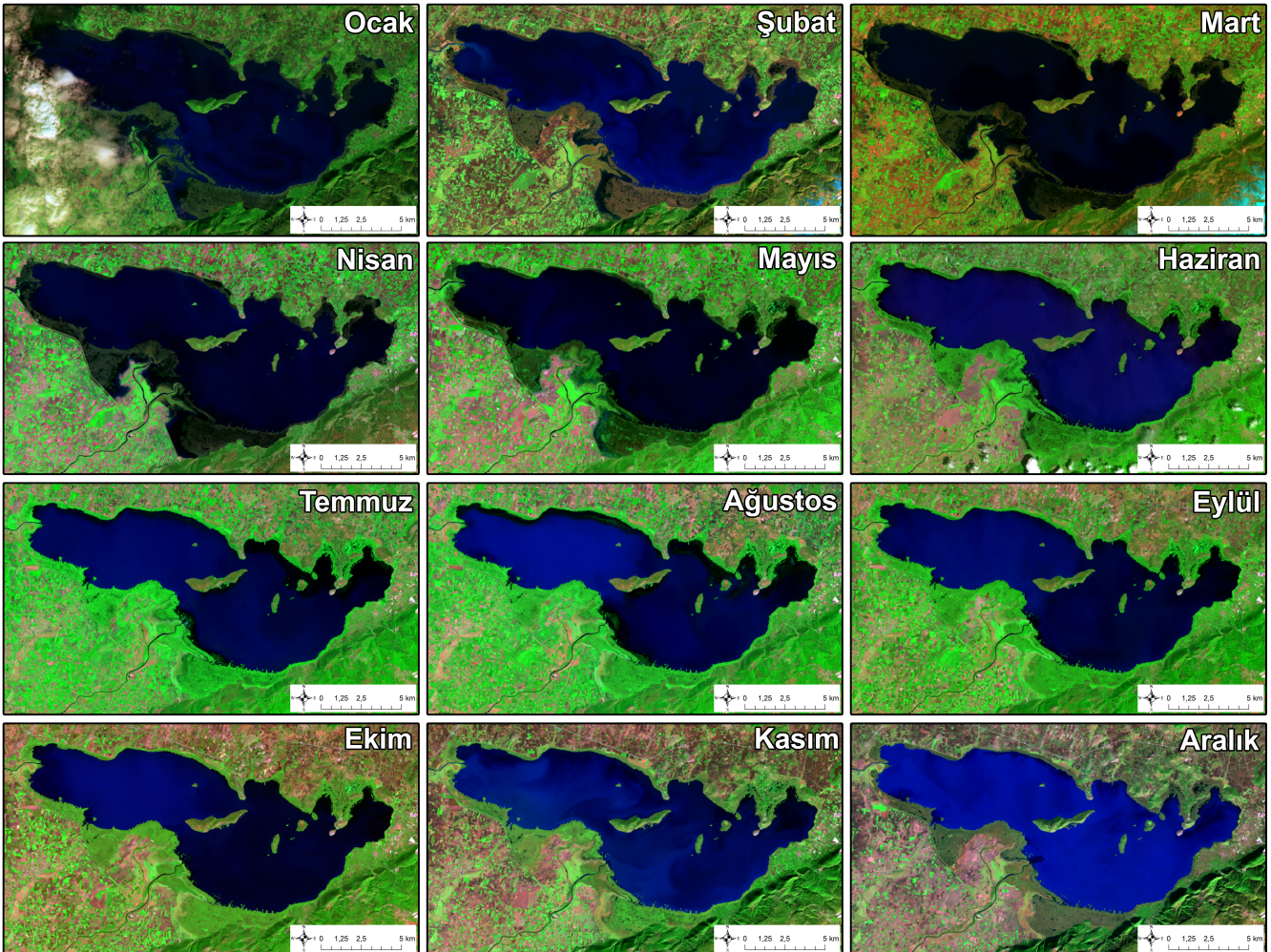
Yıllık modellenen değişim verisi üzerinden Uluabat Gölü yüzeysel alanının ortalama 113,68 km² olduğu saptanmıştır. Bu değer temel alındığında göl yüzeyi, 8 ay ortalamanın altında, 4 ay ise ortalama değer üzerinde olmaktadır. Özellikle mart, nisan

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 km² iken ilkbaharda 118,94 km², yaz mevsiminde 111,52 km² ve sonbahar mevsiminde 111,67 km² 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

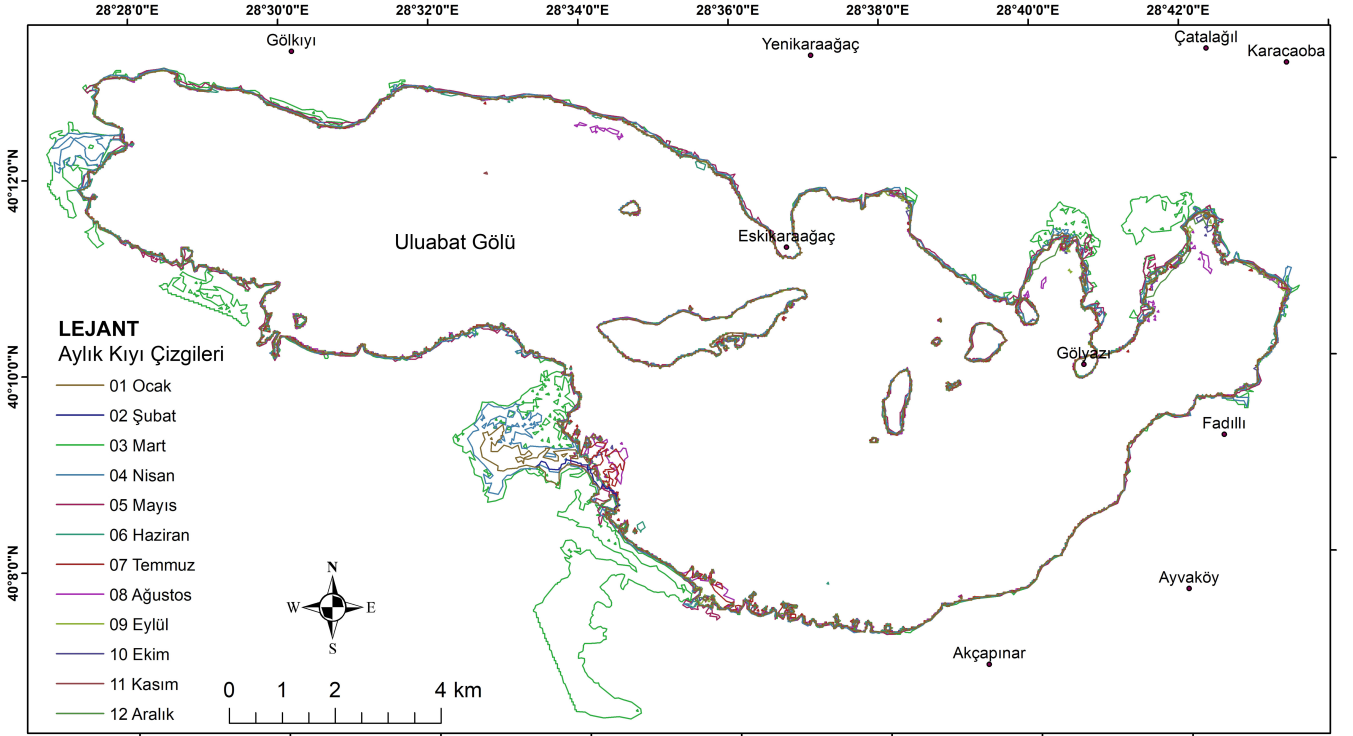
Uluabat Gölü yüzeysel alanı ve kıyı çizgileri 2033 ve 2043 yılları öngörülerek, üç farklı senaryo üzerinden modellenmiştir (Şekil 12). Model sonuçlarına göre 2033 yılı için Uluabat Gölü yüzeysel alanı, senaryo 1 kapsamında 101,74 km², senaryo 2 tahminlerine göre 106,03 km² ve senaryo 3 tahminlerine göre 109,23 km² olacağı öngörülmektedir (Şekil 13). Aynı şekilde 2043 yılı Uluabat Gölü yüzeysel alanı, senaryo 1 tahminlerine göre 96,18 km², senaryo 2 tahminlerine göre 102,11 km² ve senaryo 3 tahminlerine göre 107,17 km² 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 yüzeysel alanının güney-güneybatı kesiminde mevcudiyetini kaybedeceğini ortaya koymaktadır. Senaryo 1'e göre gölün kuzey kıyılarında ise değişimin daha stabil olacağı, Gölyazı'dan



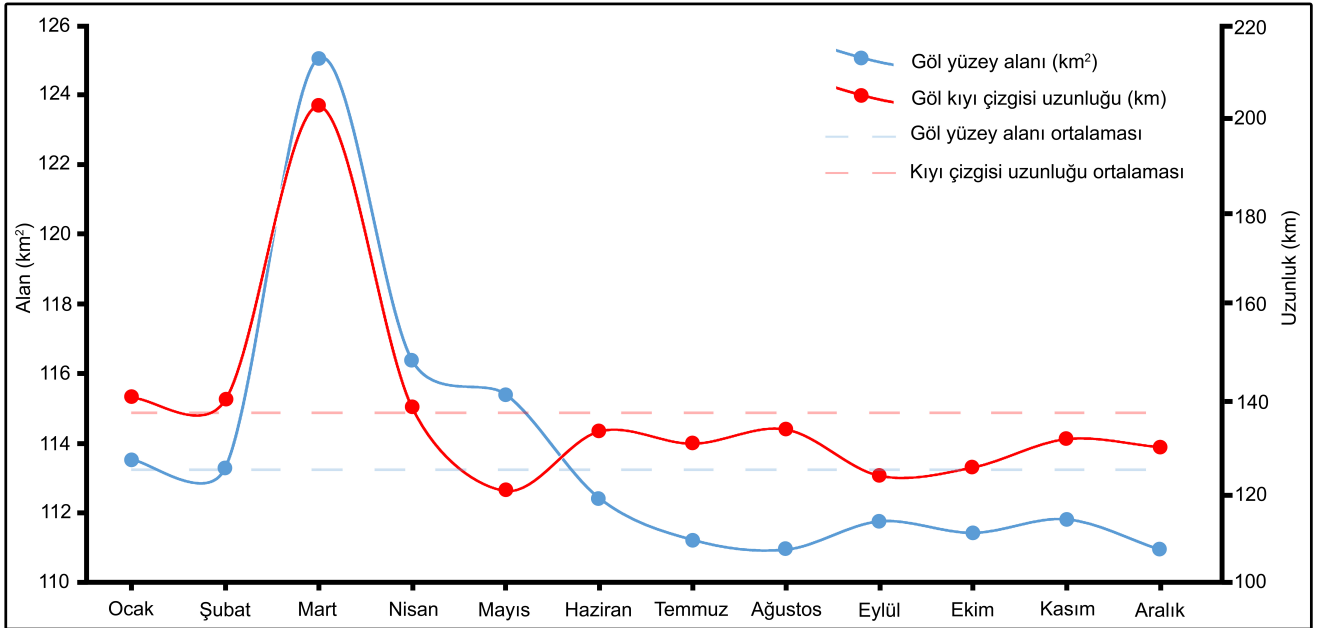
Şekil 9. Uluabat Gölü'nün 2022 yılı içerisindeki aylık Landsat uydu görüntüleri (bant kombinasyonu su yüzeyi için sınıflandırılmıştır).

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.

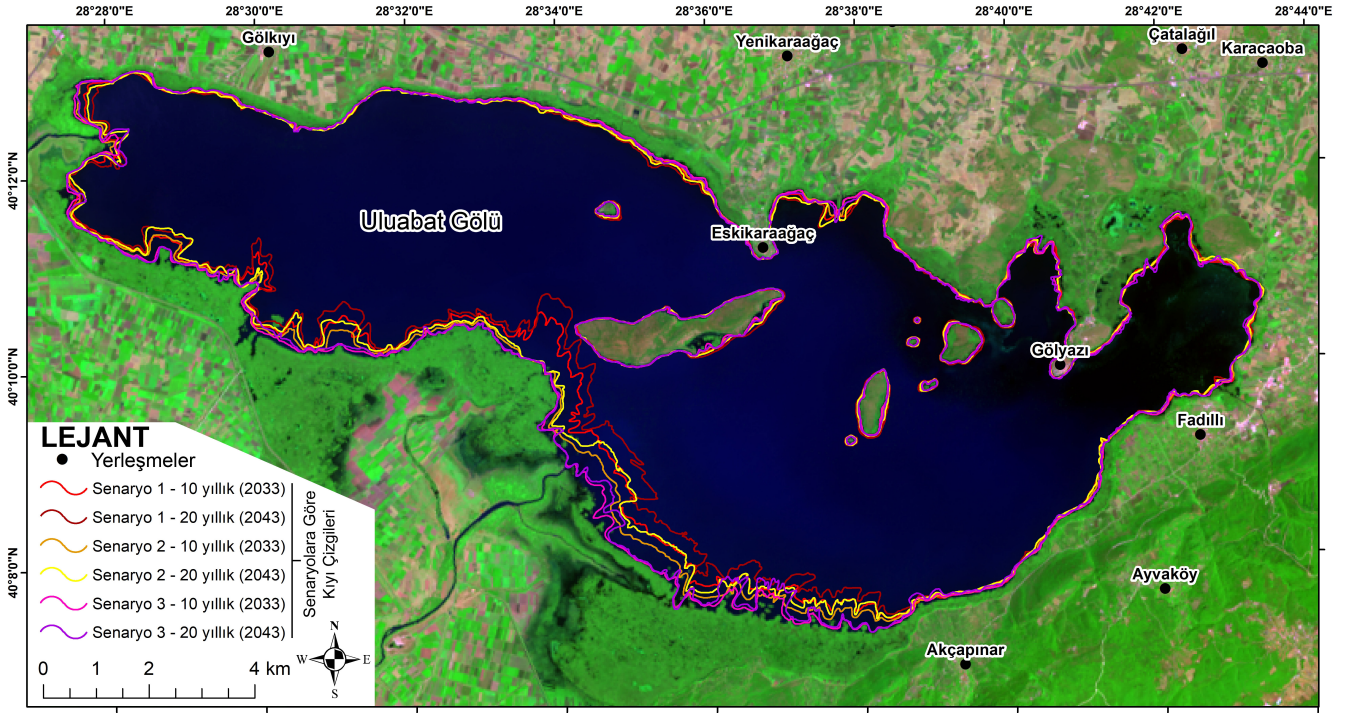
Figure 11. Graph of the change in surface area and shoreline length of Uluabat Lake in 2022.

doğuya doğru bazı alanlarda kara alanında su yüzeyine geçiş olacağı modellenmiştir. Senaryo 1 modeline göre 2033 yılında göl yüzeyi 9,06 km² 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

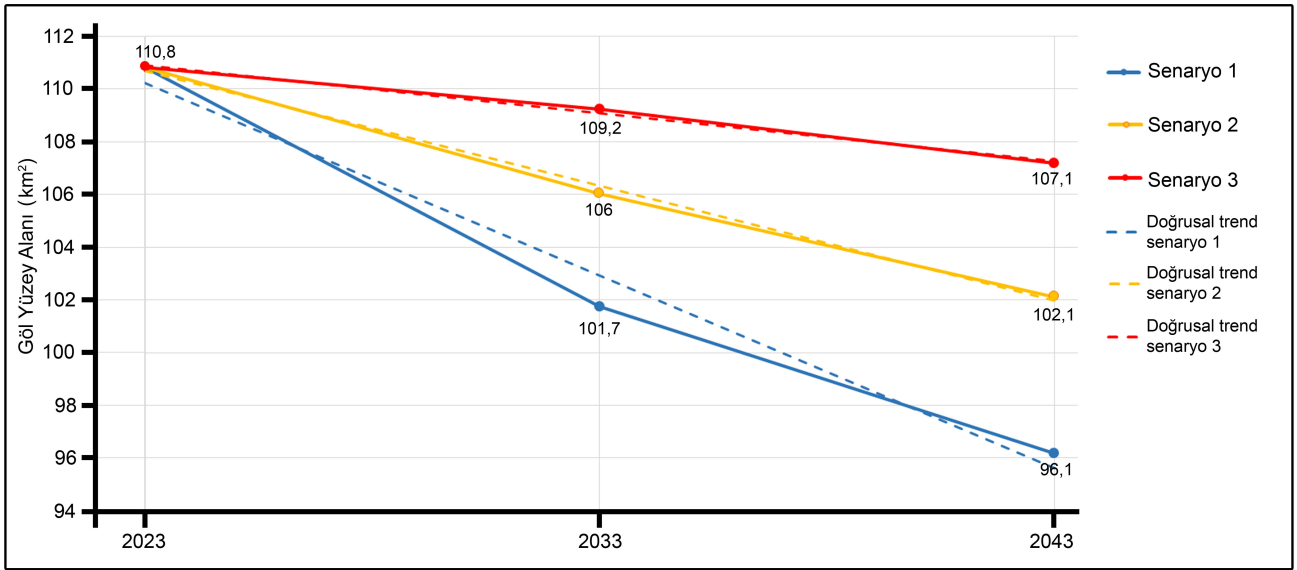
ile güneydoğu kesiminde sazlık-bataklık alanların artacağı öngörülmektedir. Senaryo 2 modeline göre 2023 yılından 2033 yılına kadar Uluabat Gölü yüzeyi 4,77 km² alan kaybederek % 4,3 oranında küçülecektir. Aynı şekilde modeline göre göl yüzeyi 2023 yılından 2043 yılına kadar 8,69 km² alan kaybedecek 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.

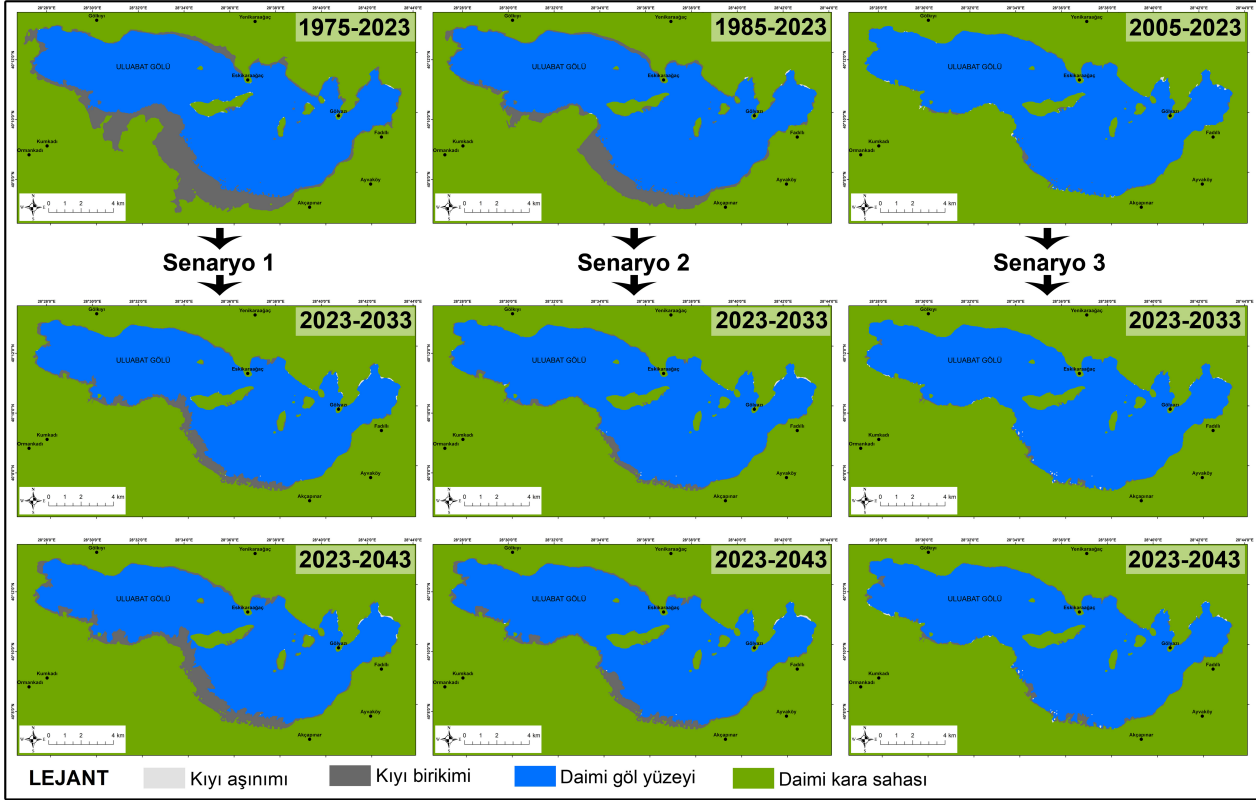
göre gölün güney-güneybatı kıyılarında kıyı ilerlemeleri olacağı tahmin edilmektedir. Senaryo 3'e göre 2023 yılından 2033 yılına kadar Uluabat Gölü yüzeyi 1,56 km² alan kaybederek % 1,4 oranında alansal olarak küçülecektir. Aynı şekilde senaryo 3 modeline göre göl yüzeyi 2023 yılından 2043 yılına kadar 3,63 km² alan kaybedecek ve göl % 3,2 oranında küçülecektir.

Senaryo 1 modeline göre 2023 yılından 2033 yılına Uluabat Gölü kıyılarında 9,14 km² kıyı birikimi, 0,21 km² 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 km² kıyı birikimi, 0,2 km² kıyı aşınımı olacağı tahmin edilmektedir. Göl kıyısında tahmin edilen 20 yıllık değişimin % 99'u kıyı birikimi, % 1'i ise

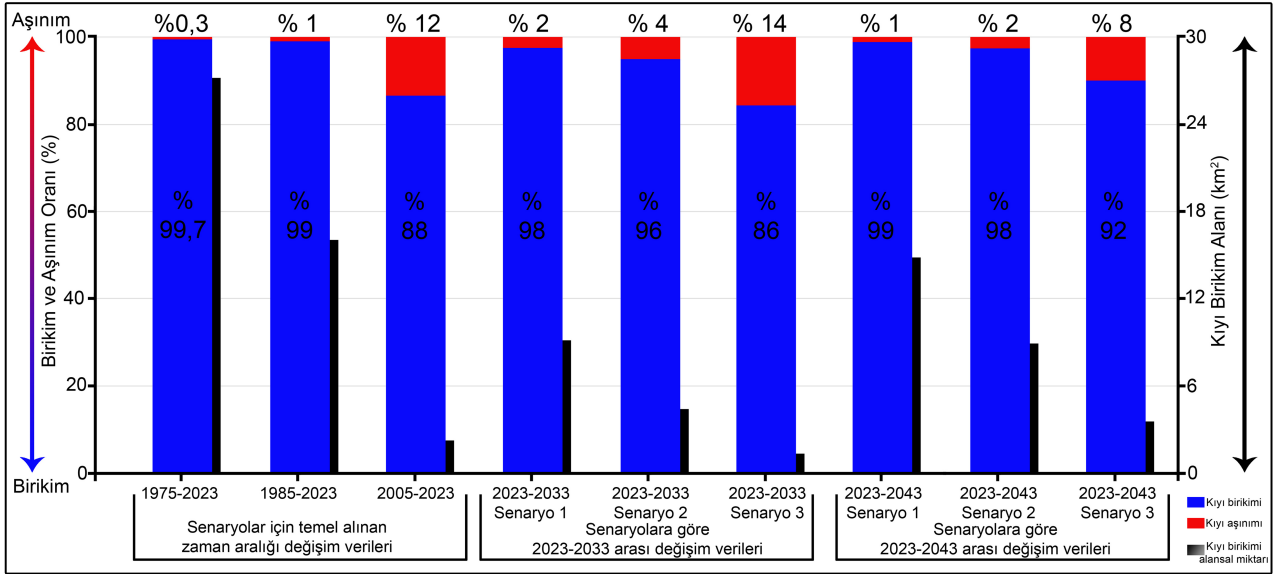
kıyı aşınımı şeklindedir (Şekil 15).

Uluabat Gölü kıyılarında senaryo 2 modeline göre 2023 yılından 2033 yılına kadar 4,7 km² kıyı birikimi, 0,21 km² 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 km² kıyı birikimi, 0,2 km² 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 km² kıyı birikimi, 0,23 km² 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.

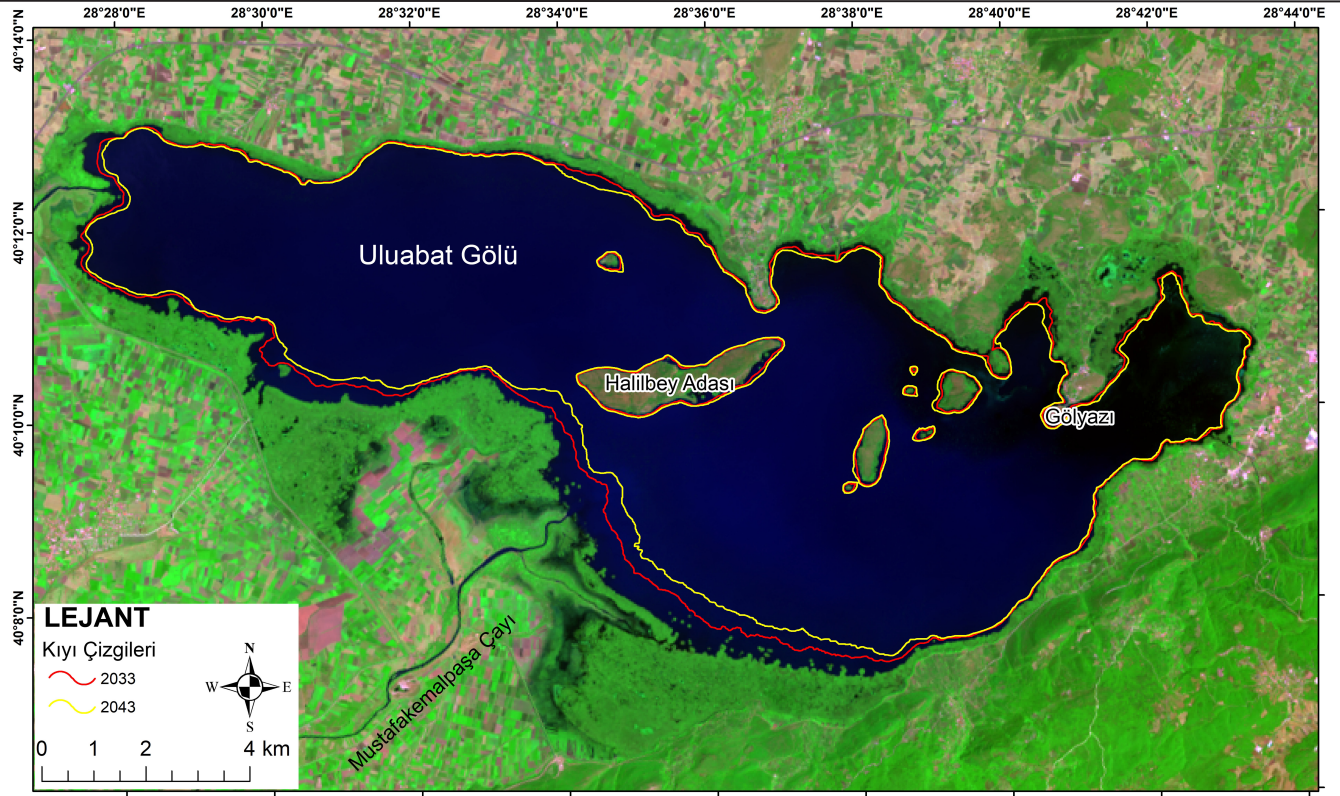
değişimin % 86'sını kıyı birikimi, % 14'ünü kıyı aşınımının oluştu- rması beklenmektedir Senaryo 3 modeline göre, 2023 yılından 2043 yılına kadar olan 20 yıllık dönemde göl kıyısında 3,62 km² kıyı birikimi, 0,29 km² kıyı aşınımı olacağı tahmin edilmektedir. Göl kıyılarında tahmin edilen 20 yıllık değişimin % 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 km² iken 2043 yılı göl yüzey alanı 95,66 km² olarak tahmin edilmiştir. YSA ön-

görülleri 2023 yılı göl yüzey alanı (110,8 km²) ile karşılaştırıldığında, 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 öngörülmüştür. Veriler gölün yüzeysel alanının daralması sonucu kıyıdağı girinti çıkıntı yapısının azalacağını göstermektedir (Şekil 16). Özellikle gölün güney kesimindeki sazlık-bataklık alan ile kuzeybatısında bulunan gideğen sahası ve Gölyazı'nın KD ve KB kesimindeki küçük koylarda girinti-çıkıntının azalacağı öngörülmektedir (Şekil 16).

YSA modeline göre Uluabat Gölü kıyılarında, 2023-2033 yılları



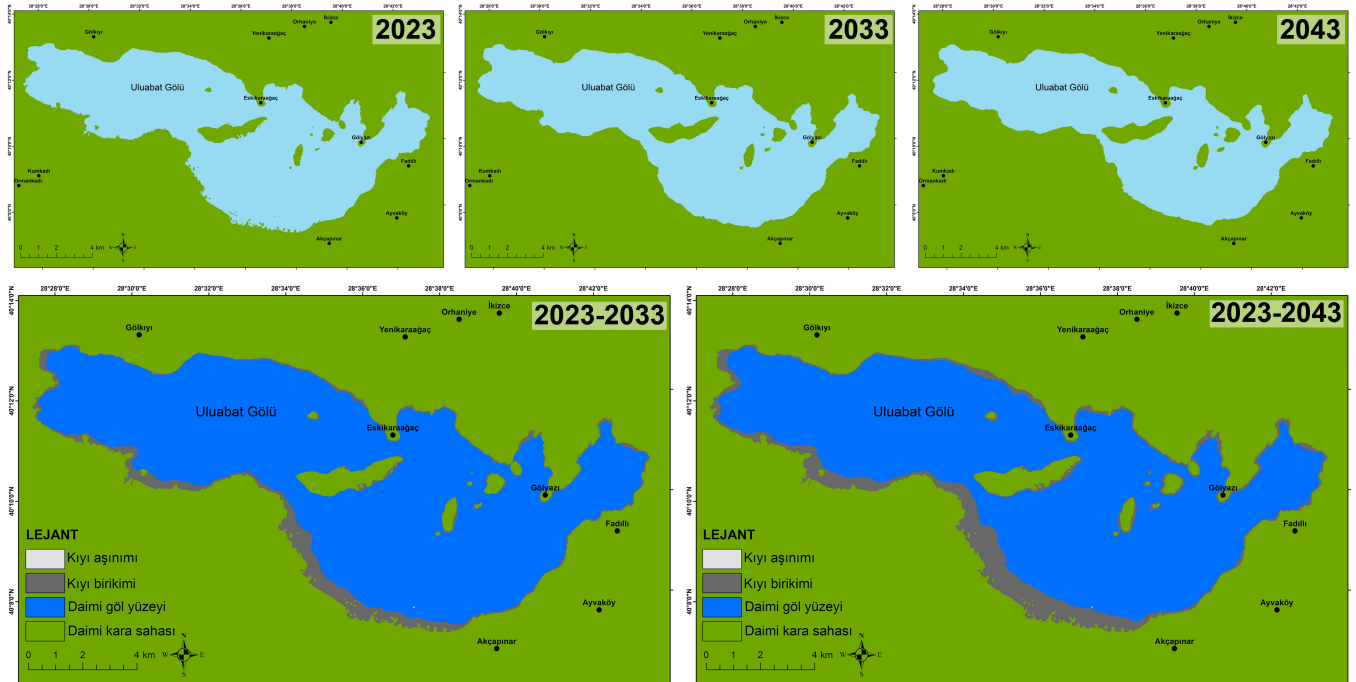
Şekil 16. Yapay Sinir Ağları (YSA) modeline göre Uluabat Gölü'nün 2033 ve 2043 yılları kıyı çizgisi tahmini.

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

arasında 8,95 km²'lik kıyı biriminin, 0,003 km² 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 km²'lik kıyı birikimi, 0,002 km²'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 km² iken 2023 yılında 110,8 km²'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 yaşandığıda tespit edilmiştir. Bu bakımdan göl su yüzeyi alanının mart ayında 125,05 km² ile pik yaptığı, ağustos ayında ise 110,9 km² 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 km², 2043 yılında ise 95,66 km² 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
- 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 Çalışmayı.
- 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>