

Işıklı Göl'ün (Denizli-Çivril) Yıllık ve Aylık Göl Yüzey Alanı ve Su Rengi Değişim Analizleri

Annual and Monthly Lake Surface Area and Water Colour Change Analyses of Işıklı Lake (Denizli-Çivril)

öz

Göller, oluşum kökenleri, yükselti seviyesi, derinlikleri, hidrografik beslenme kaynakları, bulunduğu iklim koşullarındaki farklılıklar ve antropojenik unsurlarla etkileşimi nedeniyle dinamik değişim yapısına sahiptir. Bu çalışmada, Işıklı Göl'ün (Denizli-Çivril) yıllar arası (1984-2024) ve aylık (2023 yılı içerisinde) yüzey alanı ve göl rengi değişimlerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada; 1984, 1994, 2004, 2014 ve 2024 yıllarına ait 10 yıl aralıklarla Landsat uydu görüntüleri ile 2023 yılının her ayına ait Sentinel uydu görüntüleri, meteorolojik veriler materyal olarak kullanılmıştır. Belirtilen uydu görüntülerinden NDWI analizi ile uzun ve kısa dönemli su yüzey alanları belirlenmiştir. Daha sonra her uydu görüntüsünün elektromanyetik spektrum görünür dalga boyunun baskın değeri tespit edilmiştir. Buradan elde edilen verilerle de gölün uzun ve kısa dönemli rengi saptanmıştır. Çalışmada ayrıca GCI analizine tabi tutulmuş ortalama değerler üzerinden gölün sucul bitki, klorofil dağılışı yoğunluğu ortaya konmuştur. Son olarak aylık göl yüzey alanı, göl rengi, uzun yıllar ortalama aylık sıcaklık ve yağış değerleri korelasyona tabi tutulmuş, aralarındaki bağlantı düzeyleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, 1984'den 2024'e göl yüzeyinin 30,3 km² alan kaybettiği ve gölün % 48,7 küçüldüğünü göstermektedir. 2023 yılının aylık su yüzey alanı pik verilerinden göl yüzeyinin martta 42 km² olduğu, eylülde ise 16 km²'ye kadar küçüldüğü saptanmıştır. Göl renginin martta mavi tonlarda, eylülde ise sucul bitki, su kaybı, ötrofikasyon nedeniyle yeşil tonlarda olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Göl rengi ve değişimi, Işıklı Gölü, CBS, uzaktan algılama

ABSTRACT

Lakes have a dynamic change structure due to their origin of formation, elevation level, depth, hydrographic feeding sources, differences in climatic conditions and interaction with anthropogenic factors. In this study, it was aimed to analyse the inter-annual (1984-2024) and monthly surface area and lake colour changes of Işıklı Lake (Denizli-Çivril). In the study; Landsat satellite images of 1984, 1994, 2004, 2014 and 2024 at 10-year intervals and Sentinel satellite images of each month of 2023 and meteorological data were used as materials. Long and short term water surface areas were determined by NDWI analysis from the mentioned satellite images. Then, the dominant value of the visible wavelength of the electromagnetic spectrum of each satellite image was determined. The long and short term colour of the lake was determined with the data obtained from here. In the study, aquatic plant and chlorophyll distribution density of the lake was also determined based on the average values subjected to GCI analysis. Finally, monthly lake surface area, lake colour, long-term average monthly temperature and precipitation values were correlated and the level of connection between them was examined. The findings obtained show that the lake surface lost 30.3 km² of area from 1984 to 2024 and the lake shrunk by 48.7%. In 2023, it was determined from the monthly water surface area peak data that the lake surface was 42 km² in March and decreased to 16 km² in September. It was determined that the lake colour was blue in March and green in September due to aquatic plants, water loss and eutrophication.

Keywords: Lake colour and change, Işıklı Lake, GIS, remote sensing

S. Murat UZUN



Marmara Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye



Geliş Tarihi/Received 12.09.2024
Kabul Tarihi/Accepted 19.12.2024
Yayın Tarihi/Publication Date 30.12.2024

Sorumlu Yazar/Corresponding author:
S. Murat UZUN

E-mail: murat.uzun@marmara.edu.tr

Cite this article as:

Uzun, M. S. (2024). Annual and monthly lake surface area and water colour change analyses of Işıklı Lake (Denizli-Çivril). *Eastern Geographical Review*, 29(52), 77-95.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Giriş

Göller dinamik yapısı, doğal ve beşeri ortam koşullarını etkileme ve bu koşullardan etkilenme potansiyeli, flora ve fauna varlığı, ekosisteme katkısı açısından değişimin odak noktası olan coğrafi unsurların başında gelmektedir (Akbaş, 2024; O'Reilly ve ark., 2015; Pekel ve ark., 2016). Göller, jeomorfolojik olarak çanaklarının oluşum kökeni, suyun kimyasal ve fiziksel özellikleri ile antropojenik kullanım açısından çeşitli özellikler taşırlar (Hoşgören, 2020; Meyer ve ark., 2024). Dünyada ve ülkemizde bazı göller oldukça geniş alanlı ve batimetrik açıdan oldukça derindir (Hoşgören, 1994). Aynı zamanda göller, bulunduğu yükselti seviyesi ile drenaj havzasının büyüklüğü açısından da farklılıklar sunmaktadır (Sikder ve ark., 2023). Dünya'daki kara içi göllerinin önemli bir bölümü tatlı su kaynakları kapsamında sınıflandırılmakta, bazı kara içi göllerinin ise suyu kimyasal bileşimi açısından farklılıklar gösterebilmektedir (Lausch ve ark., 2024). Belirtilen çeşitlilikler göllerin, bulunduğu konum, litolojik yapısı, jeomorfolojik oluşumu, hidrografik beslenme şartları, klimatolojik koşullardaki çeşitlilik ve antropojenik kullanımla yoğun etkileşim içerisinde olduğunu gösterir (Akbaş ve ark., 2020; Cooley ve ark., 2021).

Gölleri dinamik ve üretken yapısındaki değişkenlikler, farklı zamansal süreler açısından göllerin su yüzey alanının, renginin, florasının, kıyı çizgisinin, siltasyon boyutunun, organik ve inorganik madde miktarının değişimler göstermesine sebebiyet verebilmektedir (Busker ve ark., 2019; Turoğlu, 2017; Wang ve ark., 2018). Bu tür değişimlerin kapsamını, genellikle yüzey alanı, su hacmi değişiminin mekânsal ve zamansal boyutta ele alınması oluşturmaktadır. Günümüzde göllerin zamansal açısından yüzey alanı değişimleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ile hızlı bir şekilde yapılmakta, farklı analizlerle göllerdeki değişimin ilişkisel durumu araştırılmaktadır (Ataol & Onmuş, 2021; Aydın ve ark., 2020; Kale & Erişmiş, 2024; Luo ve ark., 2022; Pekel vd., 2016; Sharma ve ark., 2019; Uzun, 2024; Woolway ve ark., 2020; Wang ve ark., 2024; Zhao ve ark., 2022).

Son yıllarda Dünya'daki göllerin zamansal ve alansal değişimini inceleyen araştırmaların dışında göl su renginin belirlenmesine yönelik çalışmalarda artış gözlemlenmektedir (Garaba ve ark., 2015; Matta ve ark., 2024; Lehman ve ark., 2018; Shen ve ark., 2015; Van der Woerd & Wernand, 2018; Yang ve ark., 2022). Bu çalışmalarda farklı çözünürlükteki multispektral uydu görüntülerinden elektromanyetik spektrum görünür dalga boyları temel alınarak göl sularının renkleri sınıflandırılmaktadır (Burket ve ark., 2023; Wernand & Van der Woerd, 2010). Yapılan bu tarz çalışmalarda bulutluluk, coğrafi konum, yükselti, derinlik, ötrafikasyon vb. birçok sebepten dolayı göllerin yüzeylerinden yansıyan güneş radyasyonu ve dalga boyu değişmekte, göller mavi, açık mavi, yeşil, turuncu, sarı, kahverengi gibi renklerde gözükmetedir (Persson & Jones, 2008; Yang ve ark., 2022). Dünyada 83 bin göl verisinin kullanıldığı bir çalışmada, dünyadaki göllerin temel iki sınıflandırma kapsamında % 31'nin mavi, % 69'unun ise mavi olmadığı tespit edilmiştir (Yang ve ark., 2022). Yapılan bu çalışma ayrıca göl renginde morfolojik özellikler ve klimatolojik şartların temel belirleyici faktör olduğunu ortaya koymuştur (Yang ve ark., 2022). Bazı çalışmalarda, iklim değişikliği ve stresi altındaki göllerin bulunduğu sahalarda yaz sıcaklıklarındaki 3°C'lik artış gölün renginde değişimlere yol açtığı tespit edilmiştir (Collins ve ark., 2019; Topp ve ark., 2020). Bu durumun dünyadaki göllerin % 14'ünün mavi renk görünümünde iken mavi olmayan renge geçebileceğini ve ekosistemsel değişimlerin yaşanabileceğini göstermektedir (Yang ve ark., 2022).

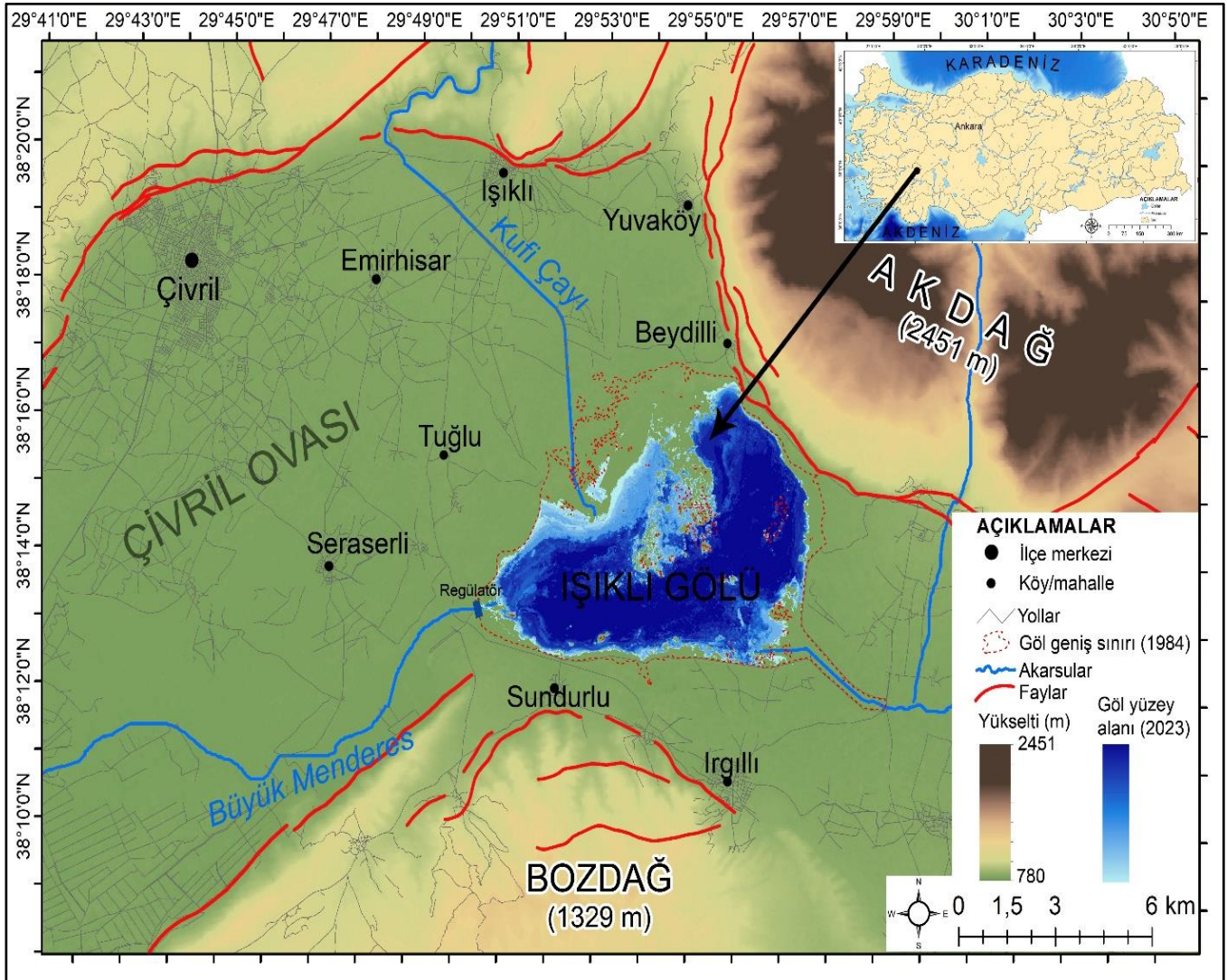
Göl su renkleri klimatolojik koşullar, coğrafi konum, yükselti, hidrografik bağlantılar, çevresel arazi kullanımı/arazi örtüsü ve değişimleri ile biyojeokimyasal unsur ve süreçlerden etkilenmektedir (Hayden ve ark., 2019; Soranno ve ark., 2019; Topp ve ark., 2021; Votruba & Corman, 2020). Göl su yüzeyi renk değişimleri aynı zamanda küresel iklim değişikliğinden etkisi ile farklılaşmaktadır (Oleksy ve ark., 2022; Woolway ve ark., 2021). Göl su rengi incelemelerinin uzun bir geçmişi olmasına rağmen (Conte, 1881; Crosby, 1884; Tyler, 1965; Tyndall, 1870) ortamsal ilişki-etkileşim açısından yapılan lokal ve global çalışmalar son yıllarda ortaya konmuştur (Matta ve ark., 2024; Smith & Davies-Colley, 1992). Göl renginin tespit edilmesi, sadece biyokimyasal sonuçları ortaya koymaz aynı zamanda, hidrografik, floristik ve ekonomik unsurlardaki değişimlerin sonuçları ile birbirleri

arasındaki bağlantıyı da ortaya koymaktadır (Köhler ve ark., 2013; Webster ve ark., 2018). Son yıllarda küresel ve yerel olarak yapılan çalışmalarda göllerin rengi tespit edilmiş, dalga boyu ve renk skalası ortaya konmuş ve web tabanlı harita uygulaması olarak veriler erişime sunulmuştur (Yang ve ark., 2022). Ülkemiz kapsamında daha çok su analizleri üzerinden incelemelerin yapıldığı göl rengi çalışmaları CBS ve UA tekniklerinin kullanımı kapsamında kısıtlı kalmıştır. Yang vd., 2022'nin ortaya koyduğu *Dünya Göl Renkleri Veri Tabanında* ülkemizdeki doğal ve yapay göllerinin birçoğunun göl rengi Landsat uydu görüntüleri kullanılarak tespit edilmiştir (Şekil 2). Ancak derinliği az, yıllık değişkenliği yüksek, arazi kullanımı ile etkileşimi fazla olan Manyas (Kuş), Ulubat (Apoloyont), Sapanca, Işıklı, Eber, Akşehir, Erçek, Hazar gölleri gibi bazı göller için renk tespiti yapılmamıştır. Yapılan çalışmalar temel alınarak, Türkiye sınırları içerisindeki göller ile ilgili mevcut boşluğu doldurmak, farklı çözünürlükteki uydu görüntüleri üzerinden su yüzey değişimleri ile birlikte yıllık ve aylık su rengini belirlemek, göl su rengi değişimindeki nedenleri analiz etmek bu çalışmanın temel hedefini oluşturur. Bu araştırmada inceleme sahası olarak, göl havzası açısından jeomorfolojik, hidrografik, floristik çeşitlilikler sunan, uzun ve kısa dönemli yıllık-aylık değişkenlikleri barındıran ve de yukarıda da bahsedildiği gibi bugüne kadar yapılan çalışmalarda (Yang ve ark., 2022) araştırmaya konu olmayan Işıklı Gölü (Denizli-Çivril) seçilmiştir.

Araştırma Sahası

Araştırma sahasını oluşturan Işıklı Gölü, Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu bölümünde, Denizli'nin Çivril ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Göl, Büyük Menderes Nehri havzası içerisindeki, Baklan grabeninin doğusunda, Dinar grabeninin batısında bulunmaktadır. Gölün kuzey-kuzeydoğusunda Akdağ, güneyinde Bozdağ, batısında Çivril ovası ve doğusunda Büyük Menderes Nehri'nin kaynaklandığı Dinar grabeni ve Gökgöl yer almaktadır. Işıklı Gölü, coğrafi koordinat sistemine göre 38°12'-38°17' kuzey enlemleri ile 29°50'-29°57' doğu boylamları arasında yer alır (Şekil 1).

Işıklı Gölü deniz seviyesinden 790 m yükseklikte bulunur. Göl, diri faylarla sınırlandırılmış, Çivril grabeninin doğu kesimindeki karstik birimlerle çevrili sahada yer alır (Ceylan, 1998). Göl çanağı, oluşum kökeni olarak tektonik kökenlidir. Işıklı Gölü'ne doğu-güneydoğusundan Büyük Menderes, kuzeyden Kufi Çayı deşarj olmaktadır (Ceylan & Eskikurt, 2001). 1943-1954 yılları arasında tarımsal sulama, sel-taşkın önleme amacıyla Işıklı Gölü güneybatısındaki su çıkışı sağlayan Büyük Menderes Nehri üzerine regülatör ve baraj seddesi yapılmıştır. Böylece tektonik çanakta var olan göl su yüzeyi antropojenik müdahale ile yeniden şekillenmiş ve son görünümünü almıştır (Çelik & Gülersoy, 2013; Karabulut & Yıldırım, 2022). Işıklı Gölü'nde doğal ve antropojenik süreçlerle, siltasyon ve tarımsal inorganik maddenin suya karışımı nedeniyle, sucul bitkiler, sazlık-bataklık alanlar bulunmakta, ötrafikasyon ve değişimleri yaşanmaktadır. Yıl içerisinde seviye değişimleri yaşanan gölün en derin yeri gölün güney kesiminde yer almakta ve burada derinlik takribi 7 metredir.



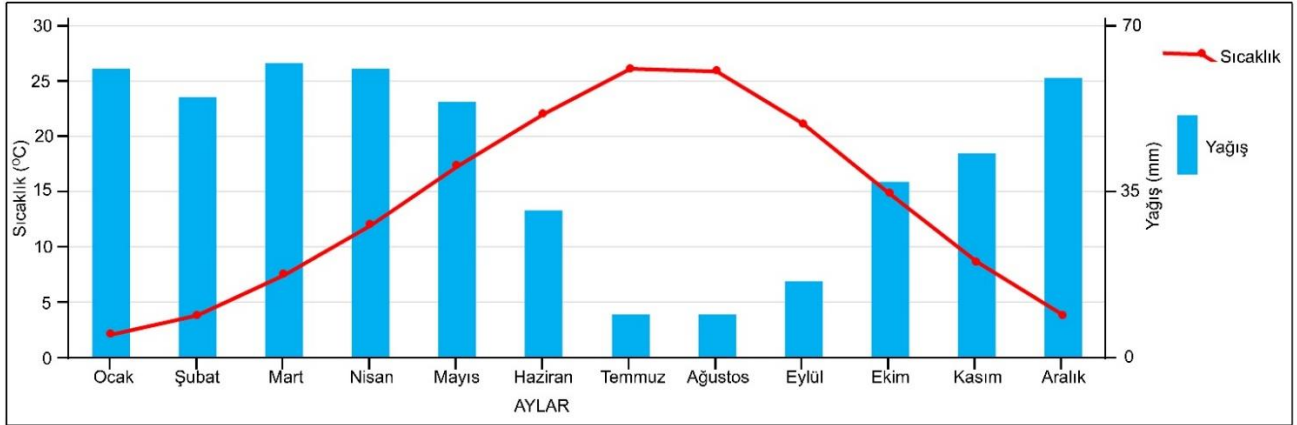
Şekil 1. Işıklı Gölü ve Yakın Çevresinin Lokasyon Haritası ile Sayısal Yükselti Modeli (SYM).

Gölün kuzeyindeki Akdağ'ın güney kesiminde Jura-Ktretase'ye ait pelajik kireçtaşları bulunmaktadır (Bahadır, 2014). Bu alanda faylarla sınırlanmış olarak ofiyolitik melanj da bulunur. Gölün güneyinde Bozdağ kesiminde Oligosen'e ait karasal kırıntılar litolojiyi oluşturur. Graben tabanı kuzeyden ve güneyden diri faylarla sınırlanmıştır. Gölün bulunduğu saha ile batısındaki Çivril ovası tabanı kuvaternere ait alüvyonlarla kaplıdır. Göl, jeomorfolojik olarak graben tabanından daha alçaktaki bir depresyon alanında yer almaktadır. Bu bakımdan gölün doğusundaki Gököl ile birleşik bir oluşum göstermekte bu alandaki birikintisi konisi ve seviye farkları bu iki gölü ayırmaktadır. 1950'li yıllarda yapılan antropojenik müdahaleler jeomorfolojik ve hidrografik olarak bu sahada değişimlere neden olmuştur.

Göl sahası ve içerisinde bulunduğu havza, Akdeniz iklimi ile Karasal iklimin geçiş zonunda yer almaktadır (Bahadır, 2014). Işıklı Gölü havzası, Köppen-Geiger iklim tasnifine göre Bsk (yarı kurak-karasal) ve Csa (ılıman, kışları nemli, yazları kurak-Akdeniz iklimi) iklim tipleri arasında geçiş özelliği göstermektedir (Öztürk vd., 2017). Çivril meteoroloji istasyonu verilerine göre, yıllık ortalama sıcaklık 13,7°C, yıllık toplam yağış miktarı 497 mm'dir. Yıllık sıcaklık amplitüdü 24°C'dir (en sıcak ay ağustos 26,1°C-en soğuk ay ocak 2,1°C) (Şekil 3). Maksimum sıcaklıklar yaz aylarında 30°C'nin üstüne çıkmakta, minimum sıcaklıklar kış mevsiminde ise 0°C altına inmektedir. Meteoroloji verilerine göre yağışın büyük bölümü ilkbahar (% 36'sı) ve kış mevsimlerinde (% 35'i) düşmektedir.



Şekil 2. Türkiye göl renkleri haritası (harita verileri, Yang ve ark., 2022 ve <https://eeproject.users.earthengine.app/view/cool>, web sitesinden temin edilmiş ve düzenlenerek sunulmuştur).



Şekil 3. Çivril Meteoroloji İstasyonu Verilerine Göre Ortalama Aylık Sıcaklık ve Yağış Grafiği (1990-2023).

Göl, hidrografik açıdan Büyük Menderes Nehri, Kufi Çayı ile yüzeysel (flüvyal), meteorik ve karstik kaynaklarla beslenime sahiptir. Gölün gideğini, güneybatıdaki baraj ve regülatör ile Büyük Menderes Nehri üzerinden sağlanmaktadır. Göle yapılan antropojenik müdahale nedeniyle, haziran ayına kadar gölde su tutma süreci yaşanmakta daha sonra tarımsal sulama için Büyük Menderes ile su deşarjı meydana getirilmektedir. Gölün yüzeyi ve çevresindeki nilüferlerin ticari ve turistik açıdan kullanımı vardır (Özen & Ürker, 2020). Gölde sazlık ve bataklık alanlar genişçe yer kaplamakta, kapladıkları alan yıl içerisinde değişiklik göstermektedir. Göl ve çevresinde 150-200 arasında kuş türü varlığı tespit edilmiştir (Karabulut & Yıldırım, 2022). Gölde sucul bitki yoğunluğu yanında balık ve deniz canlısı habitatı yaygındır. Işıklı Gölü ve yakın çevresindeki Gököl ile birlikte çeşitli kategorilerde koruma statülerine sahiptir.

Yöntem

Çalışmanın verilerini, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırma Kurumu'ndan (United States Geological Survey-USGS) alınan 1984, 1994, 2004, 2014 ve 2024 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri ile 2023 yılı içerisindeki 12 ayın herbirine ait Copernicus üzerinden temin edilen Sentinel 2 MSI uydu görüntüleri oluşturmaktadır (Tablo 1). Ayrıca iklimsel parametreler için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden Çivril istasyonuna ait (1990-2023) iklim verileri temin edilmiştir. Bunun dışında Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1:25.000 ölçekli topografya paftaları (L23-b3, L23-b4, L23-c1, L23-c2) ve MTA'dan alınan 1:500.000 ölçekli jeoloji paftaları (İzmir paftası) veri olarak kullanılmıştır. Çalışmada ilk olarak topografya paftalarından ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılarak sahanın Sayısal

Yükselti Modeli (SYM) oluşturulmuştur.

Çalışmanın temel sistematüğinde Landsat ve Sentinel multispektral uydu görüntüleri kullanılarak göl yüzey alanları ve değişimlerin belirlenmesi ilk basamağı, elektromanyetik

spektrumun farklı dalga boylarındaki yansıma özelliklerine dayanarak göl rengindeki değişikliklerin saptanması ile uzun ve kısa dönemli göl renginin tespiti ikinci basamağı, bu veriler üzerinden ilişkisel analizlerin yapılması üçüncü basamağı oluşturmaktadır.

Tablo 1.

Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin özellikleri

Tarih	Uydu	B*	Ç*	Tarih	Uydu	B*	Ç*
10.04.1984	Landsat 4-5 TM	0	30	24.06.2014	Landsat 7 ETM	0,02	30
16.05.1994	Landsat 4-5 TM	2	30	19.05.2024	Landsat 9 OLI	0,08	30
12.06.2004	Landsat 4-5 TM	0	30				
Tarih	Uydu	B*	Ç*	Tarih	Uydu	B*	Ç*
14.01.2023	Sentinel 2 MSI	0,1	10	13.07.2023	Sentinel 2 MSI	0,1	10
13.02.2023	Sentinel 2 MSI	0	10	12.08.2023	Sentinel 2 MSI	0	10
20.03.2023	Sentinel 2 MSI	0	10	16.09.2023	Sentinel 2 MSI	0	10
14.04.2023	Sentinel 2 MSI	0	10	16.10.2023	Sentinel 2 MSI	0	10
14.05.2023	Sentinel 2 MSI	0	10	15.11.2023	Sentinel 2 MSI	0	10
23.06.2023	Sentinel 2 MSI	0,3	10	20.12.2023	Sentinel 2 MSI	0,2	10

B*: Bulutluluk (%), Ç*: Çözünürlük (m)

Araştırmada gölün su yüzey alanının çıkarımında Normalleştirilmiş Su Farkı İndisi (NDWI) formülü kullanılmıştır. Formül şu şekildedir:

$$NDWI = \frac{(P_{green} - P_{NIR})}{(P_{green} + P_{NIR})}$$

NDWI formülünde P_{green} yeşil, P_{NIR} yakın kızılötesi bantları simgelemektedir (McFeeters, 1996). Formülde simgeler, Landsat ve Sentinel uydu görüntülerinde farklı bantları ifade etmektedir. Bu kapsamda Landsat uydu görüntülerinde P_{green} 3.bant, P_{NIR} 5. bant iken, Sentinel uydu görüntülerinde P_{green} 3. bant, P_{NIR} 8 banttir. Çalışmada eşik yöntemi ile NDWI sonucunun 0,01 den fazla olduğu alanlar su yüzeyi olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda sazlık-bataklık alanlar dışında göl aynası olarak ifade edilen yerler su yüzeyi kapsamında değerlendirilmiştir (Hoşgören, 2020).

Çalışmanın sistematüğindeki diğer aşama göl renginin belirlenmesidir. Bu kapsamda gölün rengi uzun dönemli olarak Landsat uydu görüntülerinden, yıl içerisinde ise Sentinel uydu görüntülerinden analiz edilmiştir. Analizlerde göl su yüzeyi rengi, incelenen tarihteki baskın dalga boyu yoğunluk dağılımındaki en yüksek pikin dalga boyu olarak belirlenmiştir (Lehman ve ark., 2018; Yang ve ark., 2022; Wernand & van der Woerd, 2010). Daha sonra elde edilen veriler piksel tabanlı olarak göl su yüzey alanı kapsamında analiz edilmiştir. İncelenen tarihlerdeki göl rengini temsil eden dalga boyu değeri, gölün normal renk uydu görüntüsü üzerinden belirlenmiş ve bu değer göl rengi olarak kullanılmıştır (Oleksy ve ark., 2022; Topp ve ark., 2020). Daha sonra 2023 yılı içerisindeki her ay için tespit edilen göl renkleri, iklimsel parametreler ve floristik etkenler (klorofil-a yoğunluğu) açısından ilişkilendirilmiştir. Göl rengi değişiminin sıcaklık ve yağışla ilişkisi, Çivril istasyonu klimatolojik verileri ile korelasyona tabi tutulup incelenmiştir. 2023 yılına ait her ayın göl yüzey alanı, renk için dalga boyu, Çivril istasyonu sıcaklık ve yağış verisi değerleri, 0-1 arasında değerlerle oranlanmıştır. Elde edilen veriler 4 ana

kriterin yıl içerisindeki seyri açısından karşılaştırmada kullanılmıştır.

Göldeki değişimin floristik açıdan incelenmesi, göl rengi ve su yüzeyi ile karşılaştırılması için farklı bir indis kullanılmıştır. Bu kapsamda Işıklı Gölü 2023 yılının aylık Sentinel uydu görüntüleri Yeşil Klorofil İndisi (GCI) ile analiz edilmiş, daha sonra her ayın dağılışı verisi birleştirilerek yıllık GCI dağılışı üretilmiştir. GCI, aşağıdaki formül üzerinden uygulanmaktadır (Janke vd., 2015).

$$GCI = \frac{P_{NIR}}{P_{green}} - 1$$

GCI, formülünde, P_{green} yeşil, P_{NIR} yakın kızılötesi bantları simgelemektedir. Landsat ve Sentinel uydu görüntüleri için bu simgelerin farklı bantlar olduğu yukarıda belirtilmiştir.

Çalışmanın diğer kapsamında, 2023 yılı içerisinde aylık göl su yüzeyi verilerinin dağılışı bindirme analizi ile birleştirilmiştir. Belirtilen analiz verisi ile bir yıl içerisinde alansal olarak su yüzeyi ile kaplı alanının dağılışı tespit edilmiştir. 2023 yılı su yüzeyi kaplı ay sayısı ile 2023 yılı GCI analiz verisi karşılaştırılarak incelenmiştir.

Bulgular

Işıklı Gölü'nün 1984-2024 Yılları Arasındaki Göl Su Yüzeyi ve Renk Değişimi Analizi

Işıklı Gölü yüzey alanı değişim analizi 1984, 1994, 2004, 2014 ve 2024 yıllarına ait Landsat multispektral uydu görüntüleri üzerinden NDWI analizi ile gerçekleştirilmiştir. (Şekil 4). Bulgulara göre göl yüzey alanı 1984 yılında 62,23 km² iken 1994 yılında 53, 26 km², 2004 yılında 46,43 km², 2014 yılında 37,44 km² ve 2024 yılında 31,93 km² olarak hesaplanmıştır. Göl yüzey alanı 1984'den 1994'e 8,97 km², 1994'den 2004'e 6,82 km², 2004'den 2014'e 8,98 km² ve 2014'den 2024'e 5,51 km² 'lik alan kaybetmiştir (Tablo 2). Göl yüzey alanının incelenen dönemler arasındaki değişim yüzdesine bakıldığında, göl su yüzeyinin 1984'den 1994' % 14,4, 1994'den 2004'e % 12,8, 2004'den 2014'e

% 19,3 ve 2014'den 2024'e % 14,7 oranında alan kaybettiği görülmektedir. Işıklı Gölü'nün 40 yıllık sürede 30,3 km² alan kaybettiği ve bu zamanda diliminde göl su yüzeyinin % 48,7 oranında küçüldüğü tespit edilmiştir.

Tablo 2.

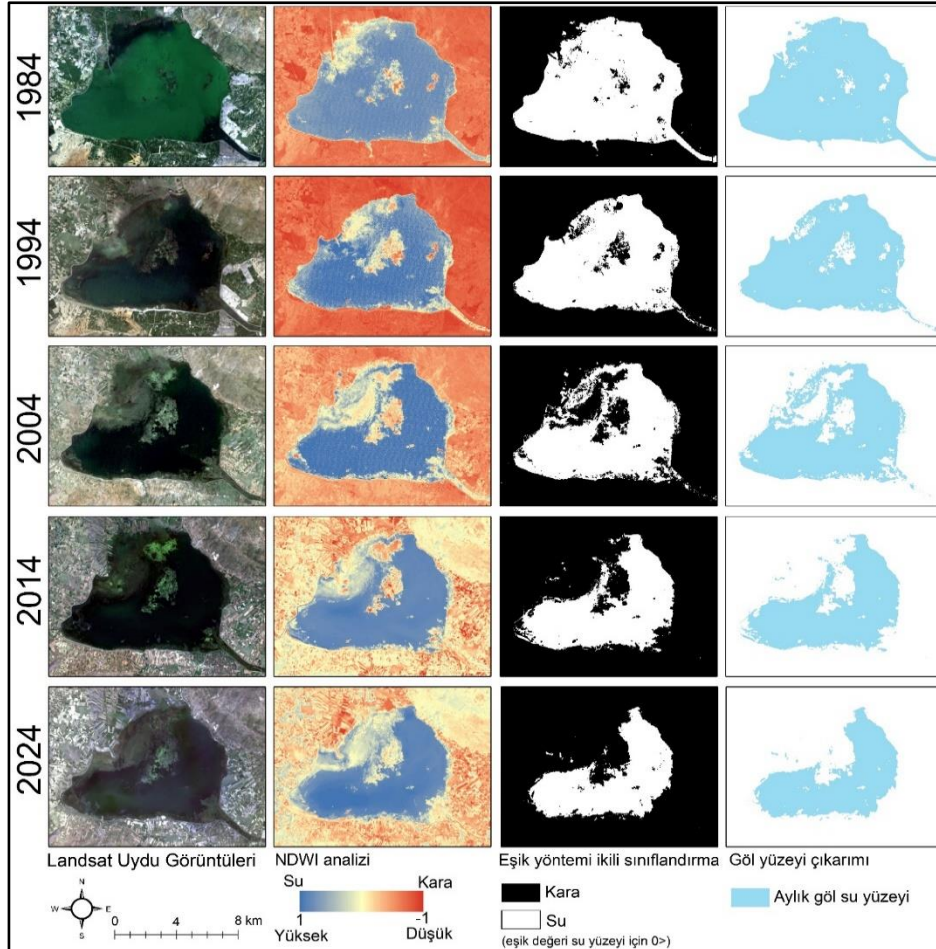
Işıklı Gölü'nün alansal değişim verileri (1984-2024)

Yıllar	Alan (km ²)	Bir önceki döneme göre değişim alanı (km ²)	Bir önceki döneme göre değişim alanı (%)
1984	62,23		
1994	53,26	-8,97	14,4
2004	46,43	-6,82	12,8
2014	37,44	-8,98	19,3
2024	31,93	-5,51	14,7

Uzun dönemli olarak Işıklı Gölü yüzey alanı değişimlerinin mekânsal boyutu incelendiğinde, gölün 1984'den 1994'e özellikle kuzeybatı kesimindeki Kufi Çayı deşarj alanından güney-güneybatıya doğru küçüldüğü gözlemlenmektedir (Şekil 4). Ayrıca bu dönemde gölün orta kesimi ile gölün su girdilerinden Büyük Menderes kanal kesimindeki alanda siltasyon sonucu su yüzey kayıplarının (göl aynası alanı) yaşandığı görülmektedir. Işıklı Gölü'nün 1994-2024 arası yüzey alanının kuzeybatı kesiminden sazlık, bataklık ve bitki yoğunluğu ile değiştiği, Büyük Menderes

su giriş kesiminde ise materyal birikiminin olduğu tespit edilmiştir. 2004-2014 arası dönemde gölün diğer dönemlerde olduğu gibi kuzeybatı kesiminden küçüldüğü ve bu alandan güneydoğu yönüne doğru sazlık-bataklık özelliğinde kara alanının oluştuğu gözlemlenmektedir. Benzer değişim sürecinin 2014-2024 yılları arasında yaşandığı ve gölün kuzeybatı kesiminin kara alanına dönüşerek hilal şekilli su yüzeyi görünümü oluştuğu saptanmıştır. Işıklı Gölü'nün 40 yıllık zamansal değişimi incelendiğinde, gölün kuzeybatı kesiminden güneydoğuya doğru su yüzey alanı kaybettiği, suyun doğu kesiminde kuzey-güney, güney kesiminde doğu-batı yönlü olarak dağılışı gösterdiği gözlemlenmektedir (Şekil 4).

Işıklı Gölü'nün Landsat uydu görüntülerinden göl rengi tespiti için dalga boyu yoğunluğunun pik değerleri tercih edilmiştir (Şekil 5). Gölün 1984'de daha yeşil, 1994-2014 yılları arasında yeşil-mavi tonlarda, 2024 yılında ise mavi tonlara yakın renkte olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Bu durumun oluşmasında tabii ki uydu görüntülerinin çözünürlük ve dalga boyu değerleri de etkilidir. Ancak gölün yüzey alanının küçülmesi, göldeki sucul bitki varlığının kara alanına dönüşmesini sağlamış ve böylece göl rengi maviye doğru değişmiştir. Ancak yıl içerisinde göl renginin sıcaklık, yağış, yüzey alan değişimi, hidrografik ve floristik süreçler nedeniyle değişeceği aşikardır. Bu nedenle çalışmanın diğer bölümünde göl su rengi yıl içerisinde aylık olarak analiz edilmiştir.

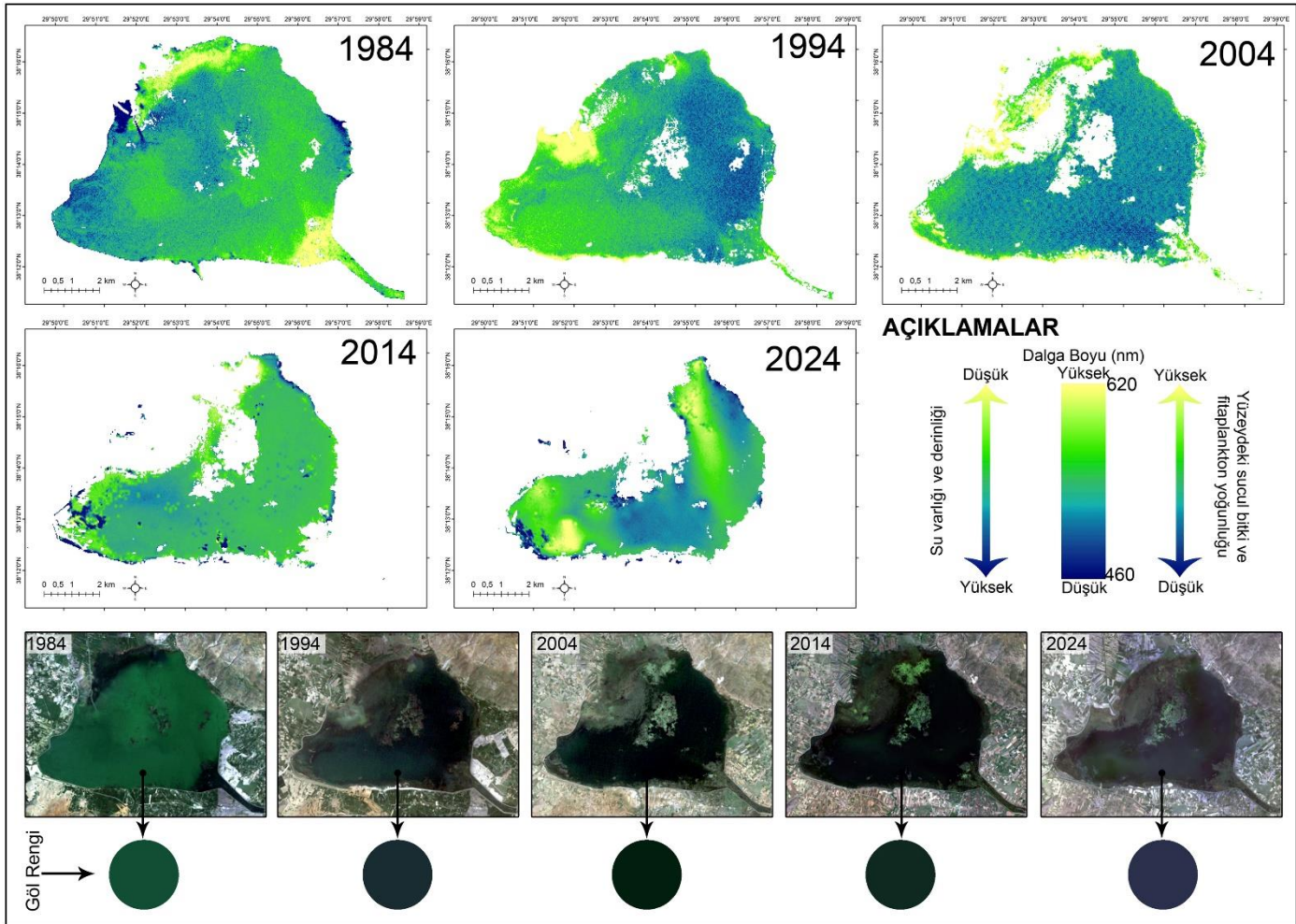


Şekil 4.

Işıklı Gölü'nün Landsat Uydu Görüntülerine Göre Uzun Dönemli NDWI Sonuçları ve Göl Yüzey Alanı Değişimi.

Işıkli Gölü'nün 1984 yılında sudaki fitoplankton ve sucul bitki varlığının yoğun olduğu ve dolayısıyla elektromanyetik spektrum açısından dalga boyunun belli alanlarda kısa (460 nm) belli alanlarda uzun (600 nm) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). 1994 yılında gölün doğu kesiminde kısa dalga boyu, batı kesiminde sucul bitkiler nedeniyle daha uzun dalga boyları olduğu

saptanmıştır. 2004 yılında gölün kıyı kesimleri tamamen uzun dalga boyun özelliği göstermektedir. 2014 yılında göldeki sucul bitki ve fitoplankton varlığı nedeniyle gölün ortalama dalga boyu uzamış, 2024 yılında ise heterojenik süreçler göl su yüzeyinde gözlemlenmiştir.



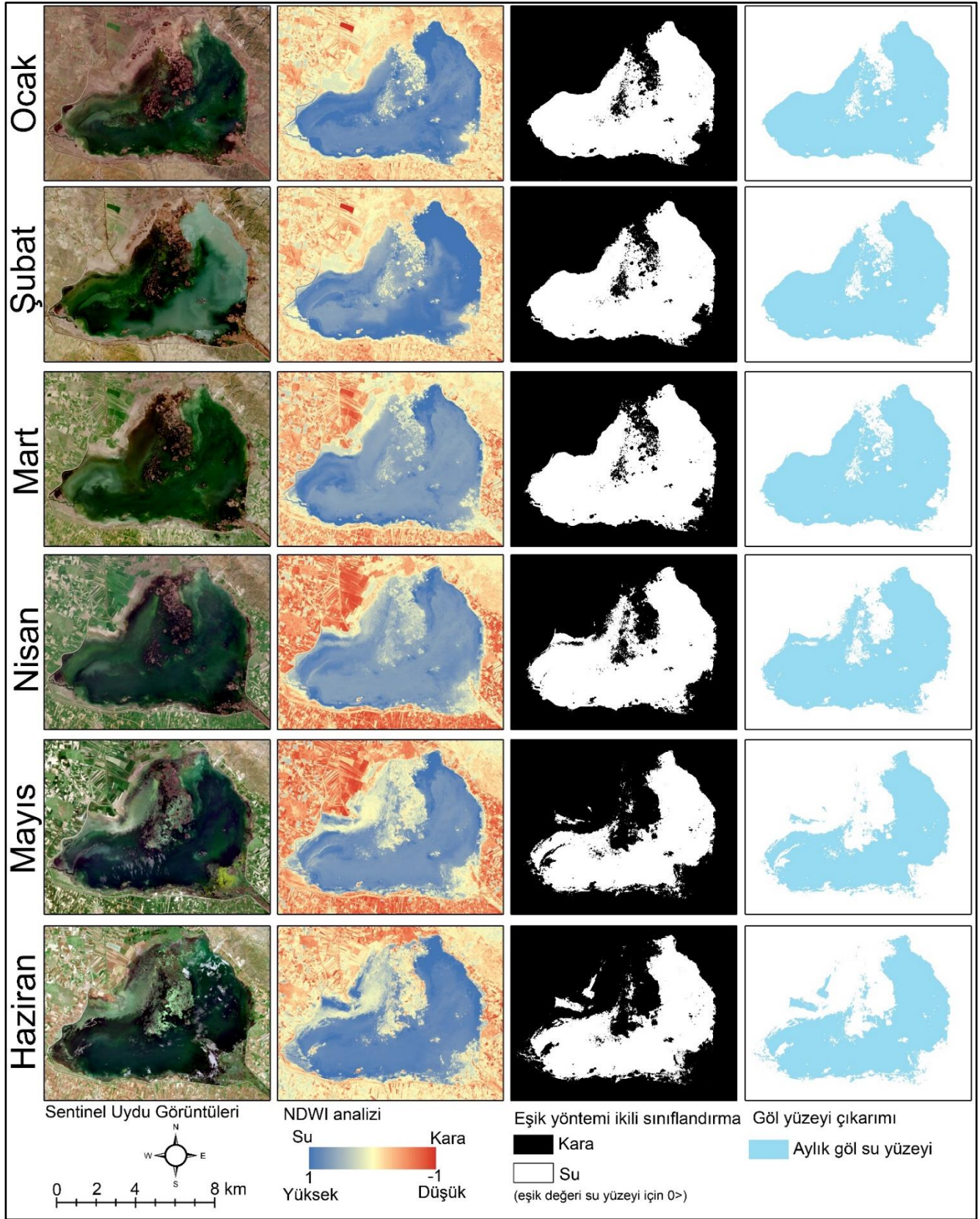
Şekil 5. Işıkli Gölü'nün Uzun Dönemli (1984-2024) Yıllık Göl Rengi Analiz Sonuçları ve Değişimi.

Işıkli Gölü'nün 2023 Yılı İçerisindeki Aylık Göl Su Yüzeyi ve Renk Değişimi Analizi

Işıkli Gölü'nün yüzey alanı 2023 yılı içerisindeki 12 ay boyunca Sentinel 2 MSI uydu görüntüleri üzerinden NDWI analizleri ile tespit edilmiştir (Şekil 7 ve 8). Analiz bulgularına göre, göl yüzey alanının yıl içerisindeki en geniş olduğu ay 42,54 km² ile mart iken en dar alanlı göl yüzeyinin eylül ayında 16,06 km² ile olduğu saptanmıştır (Şekil 6). 2023 yılındaki aylık göl yüzey alanı ortalaması 32,9 km² olarak tespit edilmiştir. Bu değer gölün uzun dönemli en geniş yüzey alanı olan 1984 yılına (62,23 km²) göre su yüzey alanının % 47'sinin kaybedildiğini göstermektedir. Göl yüzey alanı ocak ayında 38,76 km² iken şubat ve mart ayında göl yüzeyi genişlemiş, daha sonra haziran ayındaki mikro genişleme hariç eylül ayına kadar göl yüzey alanı daralma eğiliminde olmuştur (barajın su deşarj dönemi ve tarımsal su kullanımı

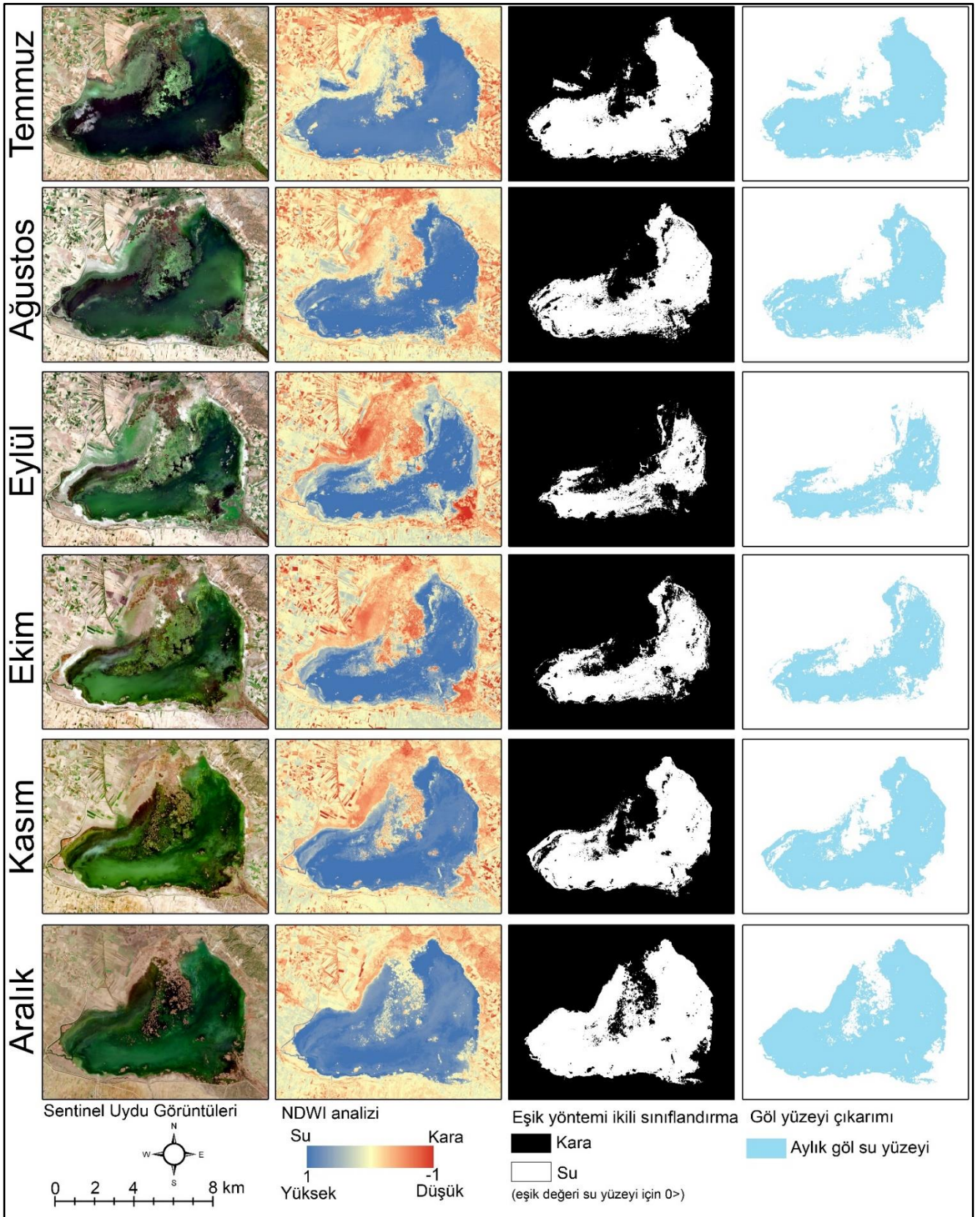
süreci). Eylül ayında göl yüzey alanı en dar sınırlardadır. Bu aydan itibaren tekrar yüzey alanı genişlemesi yaşanmakta aralık ayında yıl içerisindeki, yüzey alanı açısından, diğer pik değer gözlemlenmektedir (Şekil 6).

Göl yüzey alanının 2023 yılı içerisinde aylar arasındaki değişim değeri incelendiğinde, 5 dönem su yüzey alanının küçüldüğü, 6 dönem ise yüzey alanının genişlediği tespit edilmiştir (Şekil 6). Göl yüzey alanının ağustos-eylül döneminde 12,35 km² alan kaybettiği, kasım-aralık döneminde ise 8,76 km² su alanı kazandığı saptanmıştır. Pik değerlerin olduğu bu dönemlerin dışında eylül-ekim, ekim-kasım dönemlerinde yüksek miktarda artış, nisan-mayıs, temmuz-ağustos dönemlerinde ise yüksek düzeyde su kaybının olduğu kantitatif verilerden anlaşılmaktadır. Meydana gelen durumun oluşmasında meteorolojik su girdisinin kış ayında artması, buharlaşmanın haziran-ekim arasında su girdisinden daha fazla olması etkili olmaktadır.



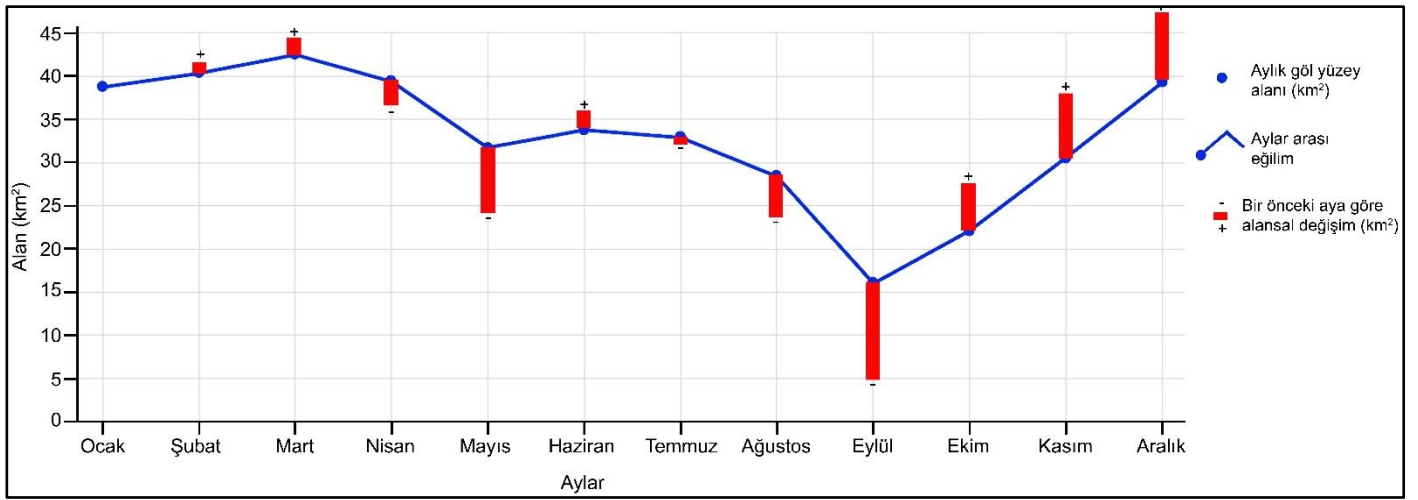
Şekil 6.

Işıklı Gölü'nün Sentinel Uydu Görüntülerine Göre Aylık NDWI Analizleri ve Göl Yüzeyi Değişimi (Ocak-Haziran Arası).

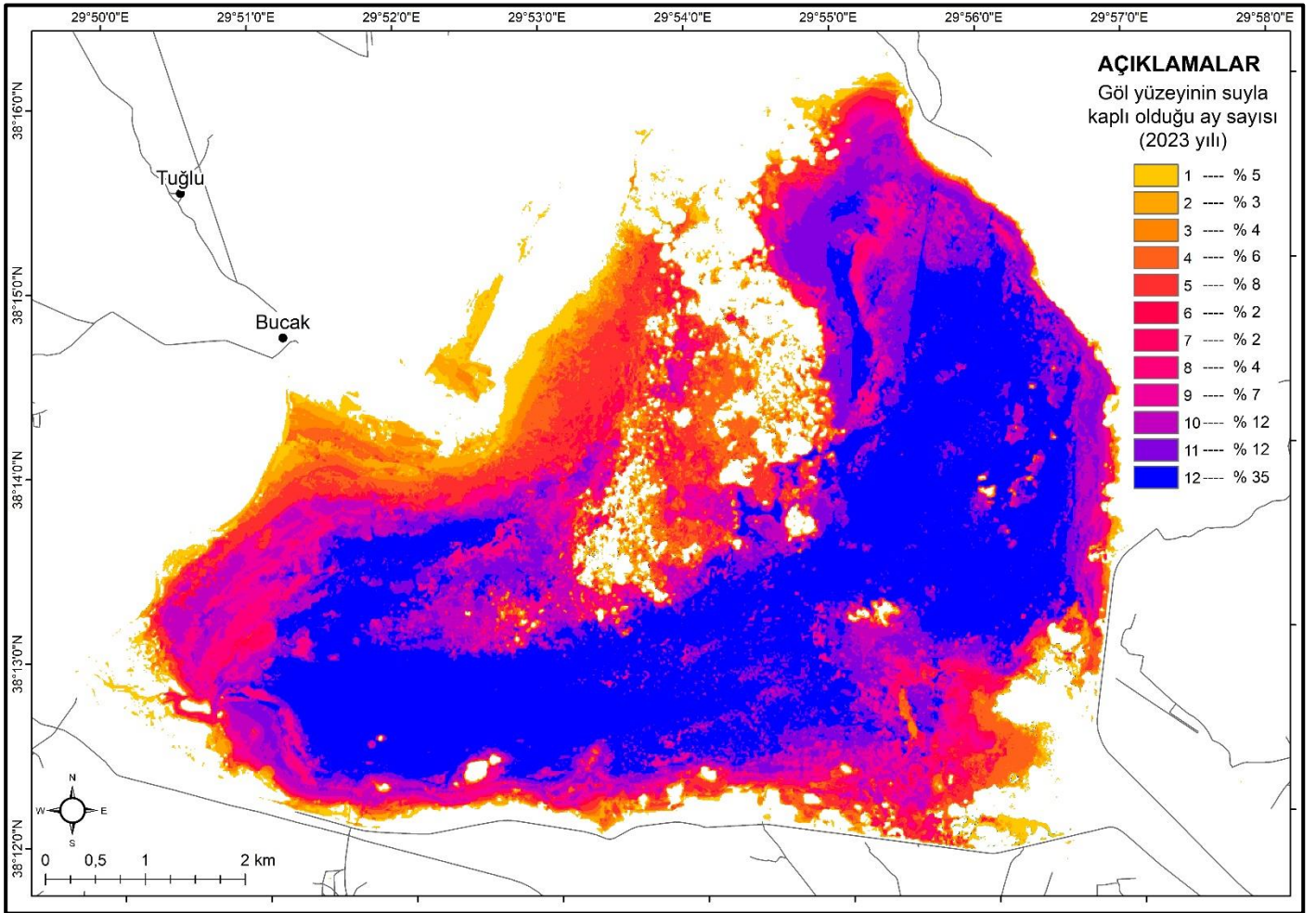


Şekil 7.

Işıklı Gölü'nün Sentinel Uydu Görüntülerine Göre Aylık NDWI Analizleri ve Göl Yüzeyi Değişimi (Temmuz-Aralık Arası).



Şekil 8. Işıklı Gölü'nün 2023 Yılı İçerisindeki Aylık Göl Yüzey Alanı ve Değişim Grafiği.



Şekil 9. Işıklı Gölü'nün Sentinel Uydu Görüntülerinden Tespit Edilen 2023 Yılındaki Aylık Su Yüzey Alanı Değişimi.

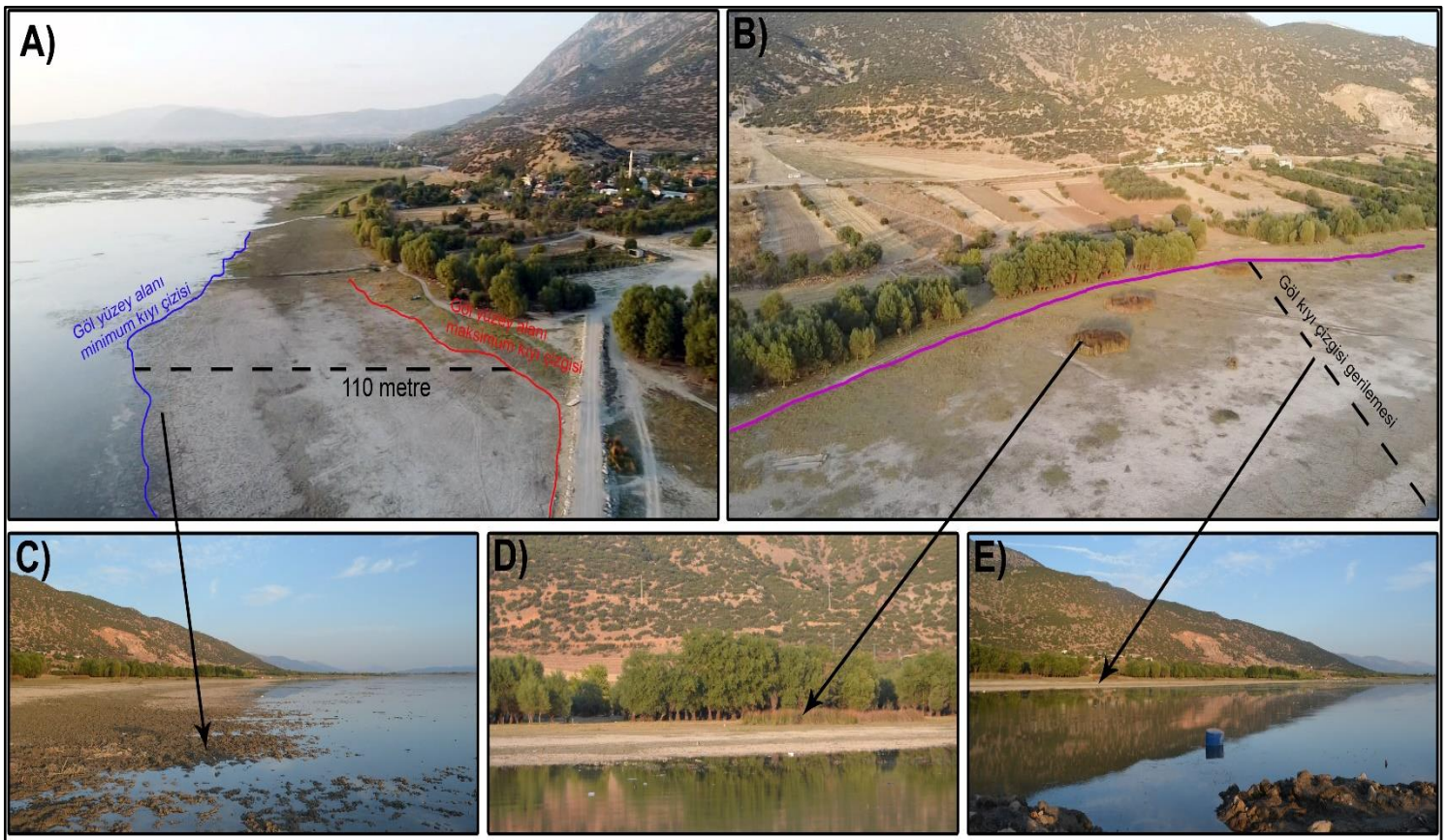
Aylar arasındaki göl yüzey değişiminin oransal değerleri incelendiğinde, en yüksek değişim oranlarının ağustos-eylül (% 43,4), ekim-kasım (%38,1), eylül-ekim (% 37,6) ve kasım-aralık (% 28,6) dönemlerinde olduğu görülmektedir (Şekil 6). Göl yüzey alanındaki değişimlerin pik değerlerinden özellikle ağustos

ayından itibaren yıl sonunda kadar yüksek oranda göl yüzey alanı değişimlerinin yaşandığı anlaşılmaktadır. Göl yüzey alanının yıl içerisinde en dar alanlı olduğu ayda (eylül) suyun gölün güney-güneydoğusu doğu kesimde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7 ve 8). Bu durumun oluşumunda batimetrik özellikler, malzeme taşınımı,

floristik unsurların yayılışı ve gölün dinamik süreçleri temel etkindir. Özellikle Kufi Çayı'nın kanal ile göle deşarj olduğu kesimde antropojenk su kullanımlarının, deirnlık ile birlikte yıl içerisinde aylık göl yüzey alanı değişimlerini etkilediği saptanmıştır (şekil 9).

Işıklı Gölü'nün 2023 yılındaki aylar kapsamında suyla kaplı olan göl alanı incelendiğinde, yıl boyu (12 ay) suyla kaplı sahanın 15,67 km² olduğu ve toplam suyla kaplı alanın % 35'ini oluşturduğu tespit edilmiştir (şekil 9). Suyla kaplı ay sayısının, bütün aylardaki su yüzeyi kaplı alanların toplam dağılışına oranı incelendiğinde, gölün 11 ay suyla kaplı sahası % 12, 10 ay suyla kaplı yüzeyi % 12, 5 ay suyla kaplı yüzeyi % 8 orana sahiptir. 2023 yılı içerisinde gölün % 5'lik kesimi sadece 1 ay su yüzeyi ile kaplanmıştır. Belirtilen değerler Işıklı Gölü'nün yıllık değişkenliğinin yüksek olduğunu ve gölün % 65'nin yıl içerisinde su-kara değişimine uğradığını göstermektedir (şekil 9 ve Fotoğraf 1).

Göldeki 12 ay suyla kaplı alanın, kıydan uzak, doğuda K-G, güneyde D-B uzanım gösterdiği gözlemlenmektedir (şekil 9). Bu alandan itibaren göl su yüzeyinin yıl içerisinde batıda kuzey-kuzeybatıya doğru, gölün güneydoğusunda ise Büyük Menderes su girdisi kesimine doğru genişlediği saptanmıştır. Gölün güneydoğu kıyılarında kıyı çizgisinin değişkenlik düzeyinin batı ve kuzey kıyıları göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Analiz verileri, göl kıyı çizgisinin tamamında kıyı ilerlemesi-gerilemesi olduğunu, bu dinamik sürecin gölün kuzeybatı kıyısında maksimum düzeylere ulaştığını göstermektedir. Bu kesimindeki sazlık-bataklık ortam varlığı aynı zamanda göl ekosisteminde de değişimlerin yıllık bir döngüde olduğunu ortaya koymaktadır. Işıklı Gölü'nün suyla kaplı alan varlığının aylık analizi aynı zamanda gölün su yoğunluğu, derinliği ve klorofil değerleri ile de ilişkili bir dağılış olduğunu göstermektedir.

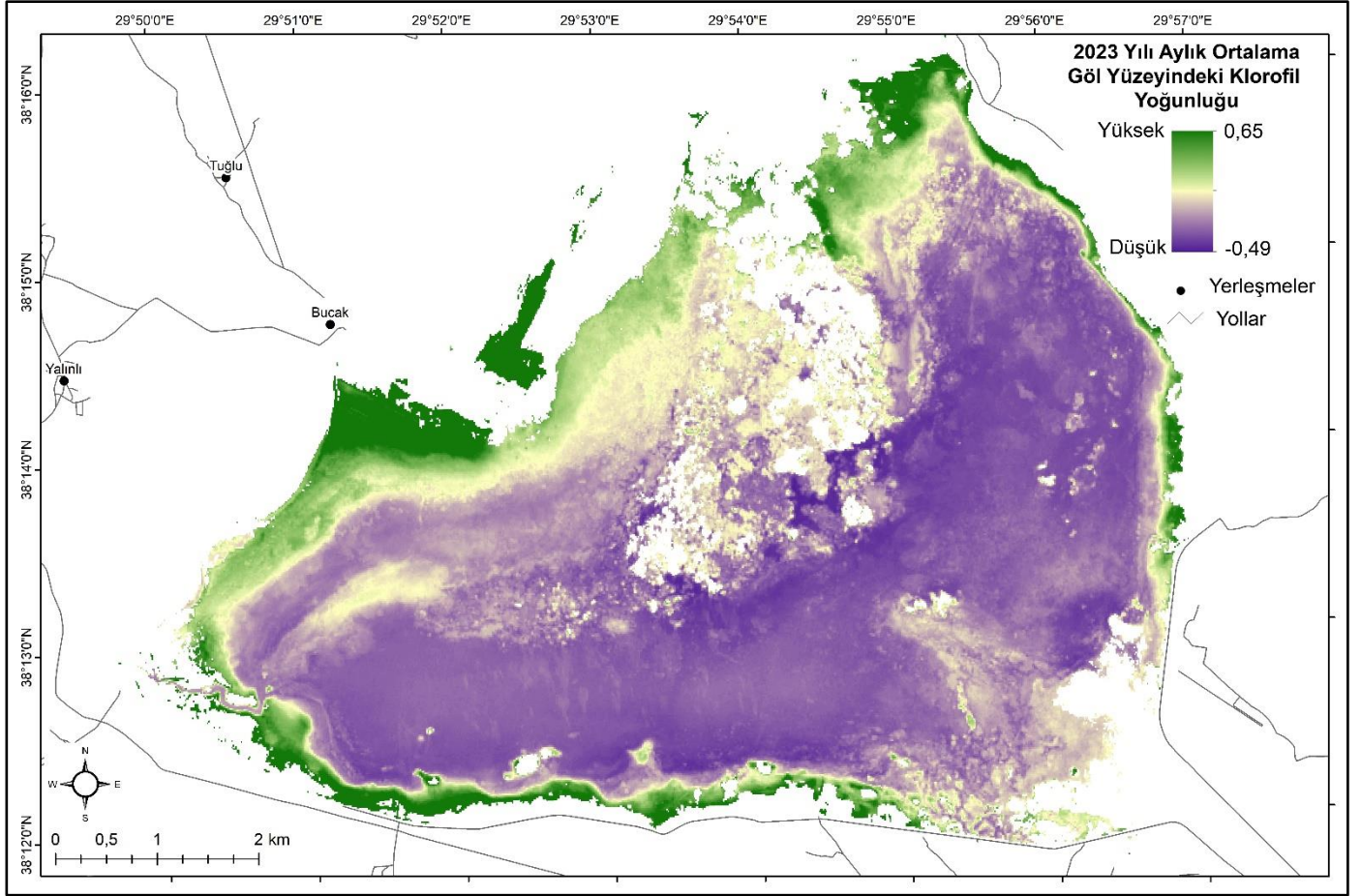


Fotoğraf 1.

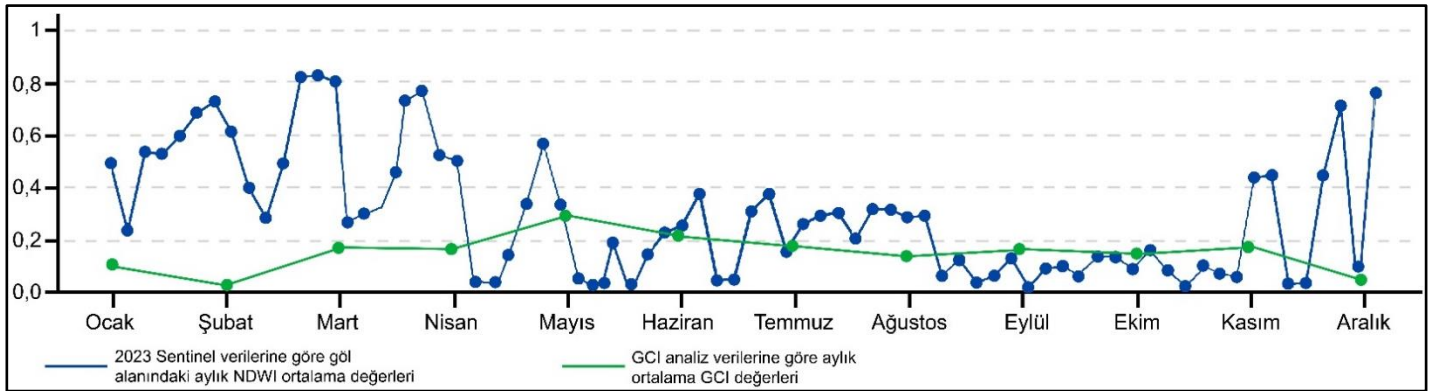
A) ve B) Işıklı Gölü Yüzey Alanı Değişimi (Gölün Kuzeydoğu Kıyıları) C), D) ve E) Göl Kıyısındaki Değişim Alanları.

Işıklı Gölü'nün barındırdığı flora ve bunun su varlığı ile ilişkisi, göl rengi ve yüzeyel alan değişiminde etkili olan faktörlerden biridir. Bu bakımdan gölün aylık Yeşil Klorofil İndisi (GCI) analizleri yapılmış ve daha sonra bindirme yöntemi ile yıllık ortalama GCI dağılışı göl kapsamında tespit edilmiştir. GCI'ye göre göl yüzeyel alanı ortalama değer 0,16'dır. Ancak dağılış açısından incelendiğinde özellikle gölün kuzey kesiminde geniş alanlı klorofil yoğunluğunun olduğu gözlemlenmektedir (şekil 10). Ayrıca gölün

güney kesimindeki kıyılarda benzer yoğunlukta klorofil dağılışı olduğu saptanmıştır. GCI dağılışın, Işıklı Gölü'nün suyla kaplı ay sayısı dağılışı ile paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durumun oluşmasında gölün dinamik yapısı nedeniyle kıyının ilerlemesi-gerilemesi, değişkenliğin yüksek olduğu alanlarda sucul bitkiler, nilüferler, sazlık bataklık alanlar ve değişen klimatolojik koşullar nedeniyle fitoplankton değişiminin etkili olduğu düşünölmektedir.



Şekil 10. Işıklı Gölü'nün 2023 Yılı GCI Dağılışı (Harita, Aylık Ortalama GCI Verilerinin Bindirme Analizi ile Oluşturulmuştur).



Şekil 11. Işıklı Gölü'nün NDWI ve GCI Ortalama Değerlerinin 2023 Yılı İçerisindeki Seyri (2023 Yılı NDWI Verileri, <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-2> Kaynağından Alınmıştır).

Işıklı Gölü'nün 2023 yılı içerisindeki erişim sağlanan tüm Sentinel uydu görüntülerindeki ortalama NDWI değeri ile GCI analiz sonucundaki aylık ortalama değerler karşılaştırılmıştır (Şekil 11). Karşılaştırma bulguları genel olarak NDWI ortalama değerinin azaldığı zaman dilimlerinde GCI ortalama değerlerinin yükseldiğini göstermektedir. Bu durumda göl yüzey alanı ile ortamsal özelliklerin, sıcaklık ve yağışın yıl içerisindeki seyri ile yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

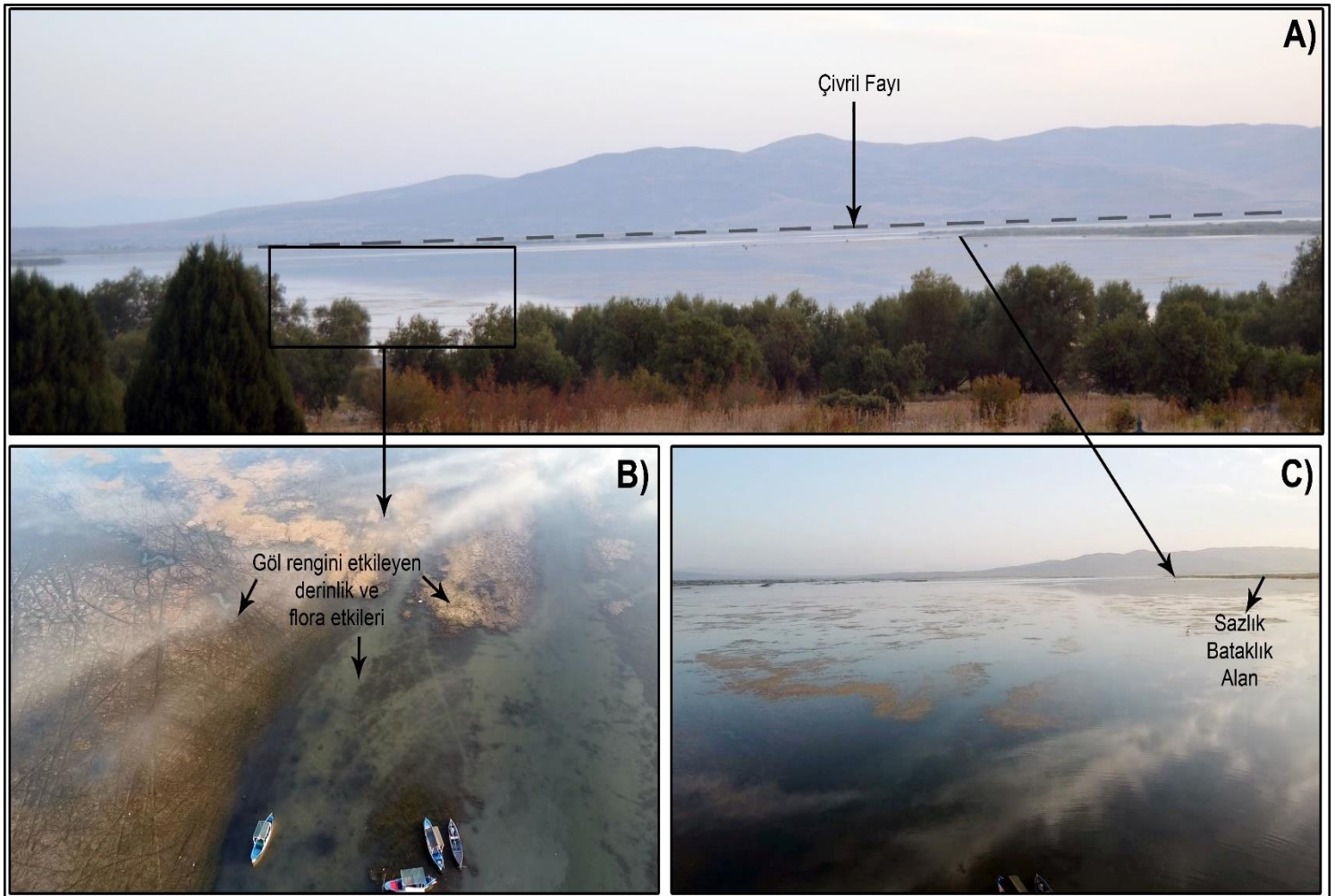
Işıklı Gölü'nün su rengi analizleri Sentinel multispektral uydu görüntüleri üzerinden aylık olarak analiz edilmiştir (Şekil 12). Bilindiği üzere elektromanyetik spektrum 450-490 nm arası mavi, 490-520 nm arası açık mavi, 520-560 nm arası yeşil, 560-600 nm arası sarı görünür ışık olarak nitelendirilir. Bu kapsamda çalışmadaki renk analiz bulguları, en kısa dalga boyu ortalamasına mart ayı (460 nm) en uzun dalga boyu ortalamasına ise eylül ayı (535 nm) sahip olduğunu gösterir (Şekil 12). Bütün ayların ortalaması 503

nm'dir. Bu veri gölün elektromanyetik spektrum olarak dalga boyunun açık maviden yeşile doğru geçiş gösterdiğini ortaya koymaktadır.

2023 yılı içerisinde aylık verilerdeki ortalama değerler dalga boyu açısından gölün mavi, açık mavi ve yeşil renklerinde değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır (Şekil 13). Ancak gölün 2023 yılı aylık verilerinden, göl yüzey alanından yansıyan dalga boylarının değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 12 ve 13). Özellikle gölün güneybatısındaki barajdan (regülatör) hazirandan sonra su deşarjının olması ile göldeki renk değişiminin ağustos, eylül, ekim ve kasımda yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu aylar içerisinde, sucul bitki ve fitoplankton varlığı, sazlık bataklık alan genişlemesi, gölde nilüfer bitkisinin dağılışı yansıyan dalga boylarının (elektromanyetik spektrum) bazı kesimlerde uzamasına neden olmuştur. Bu nedenle göl rengi aynı zamanda Işıklı Gölü'nün batimetrik dağılışı ile sucul bitki dağılışı hakkında da bilgi vermektedir (Fotoğraf 2 ve 3). Bulgular ocak-haziran ayı arasında gölün derinlik açısından pik değerlerde olduğunu

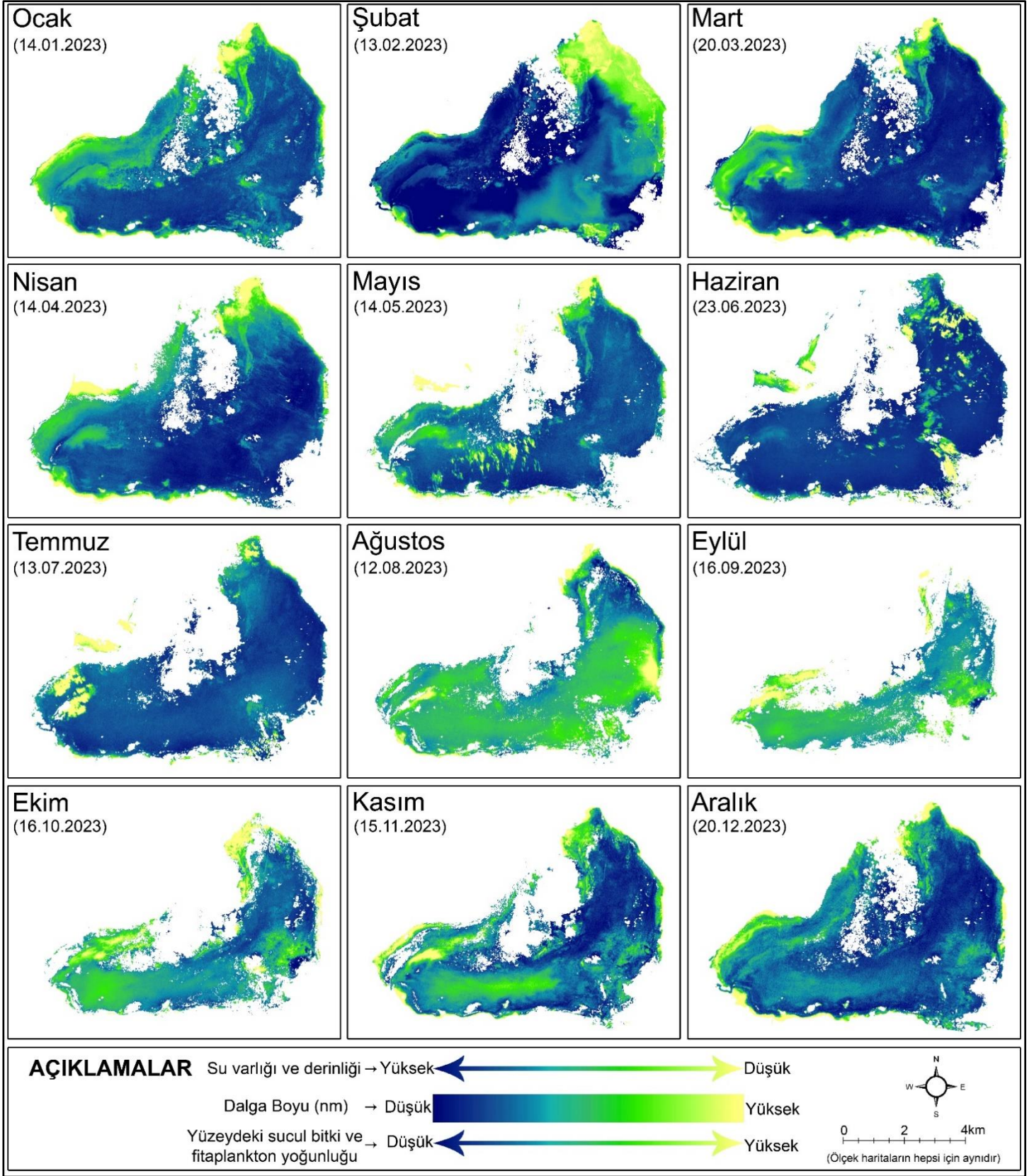
(ortalama 4-6 m), daha sonra göl su yüzey alanının küçülmesi, derinliğin azalması ile sucul bitki varlığının ortaya çıktığını göstermektedir (Şekil 12 ve 13).

Işıklı Gölü'nün aylık su rengi verileri, gölün yüzey alanı değişimi ile Çivril meteoroloji verileri (sıcaklık ve yağış) ile korelasyona tabi tutulmuştur. Bu bakımdan belirtilen verilerin yıl içerisindeki seyri ve birbiri ile olan ilişkisi irdelenmiştir (Şekil 14). Bulgular, göl renk değişimindeki seyrin özellikle göl yüzey alanı ile ters yönlü benzer ilişki içerisinde olduğunu ortaya koymuştur. Göl yüzey alanının en dar olduğu eylül ayında dalga boyunun uzadığı, göl yüzey alanının en geniş olduğu mart ayında ise dalga boyunun kısaldığı tespit edilmiştir (Şekil 14). Ayrıca sıcaklık ve yağışın yıl içerisindeki dağılışı ile göl yüzeyinin ötelemeli benzerlikler gösterdiği dikkat çeker. Bu bakımdan sıcaklığın arttığı ve yağışın azaldığı aylardan 1,-1,5 ay sonra dalga boyunun uzadığı saptanmıştır. Meydana gelen değişimde gölün hidrografik girdisinin azalması ile güneş enerjisi birikimi ile yoğunlaşan yeşil bitkilerin artması temel etken olmuştur.

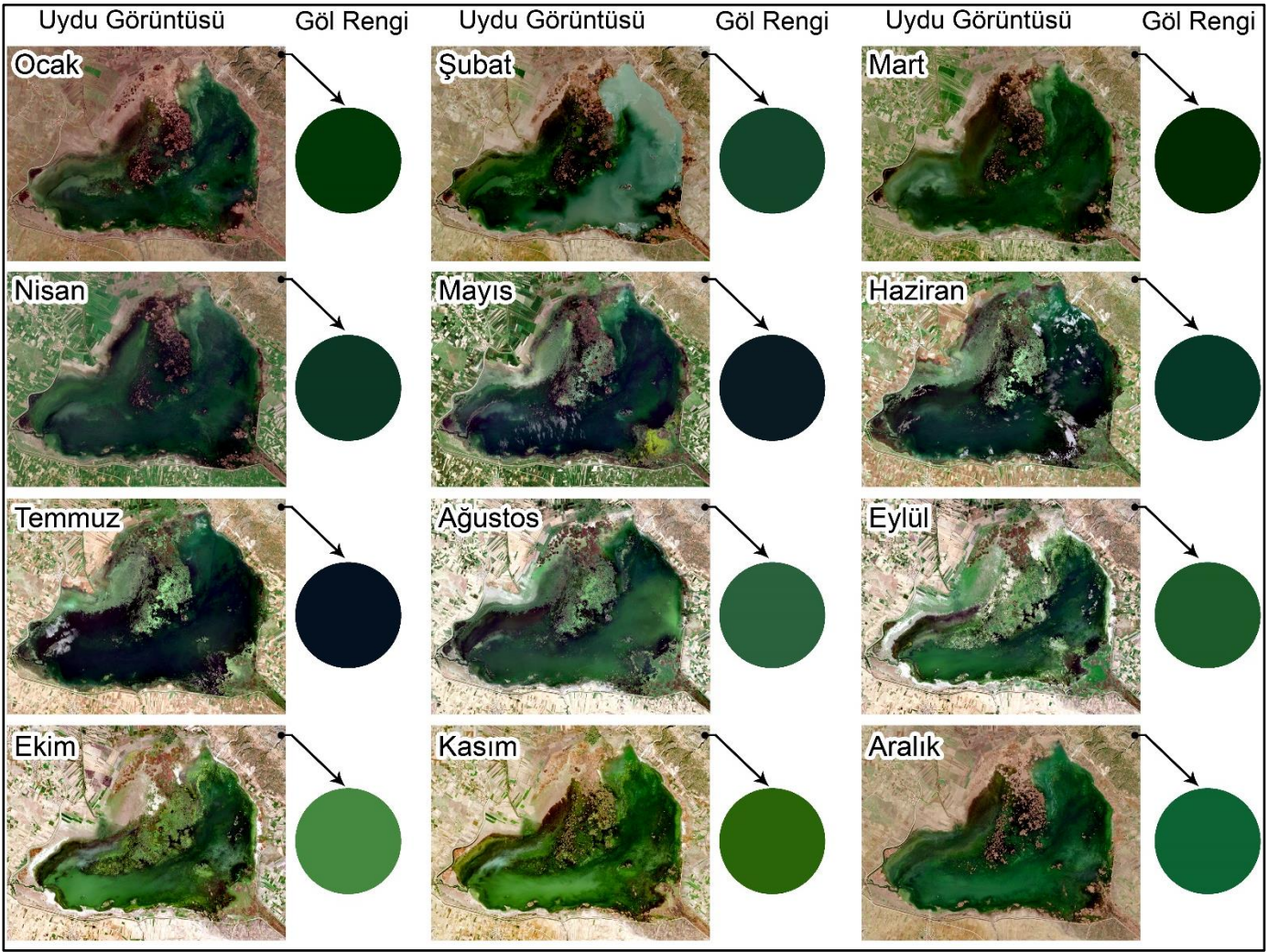


Fotoğraf 2.

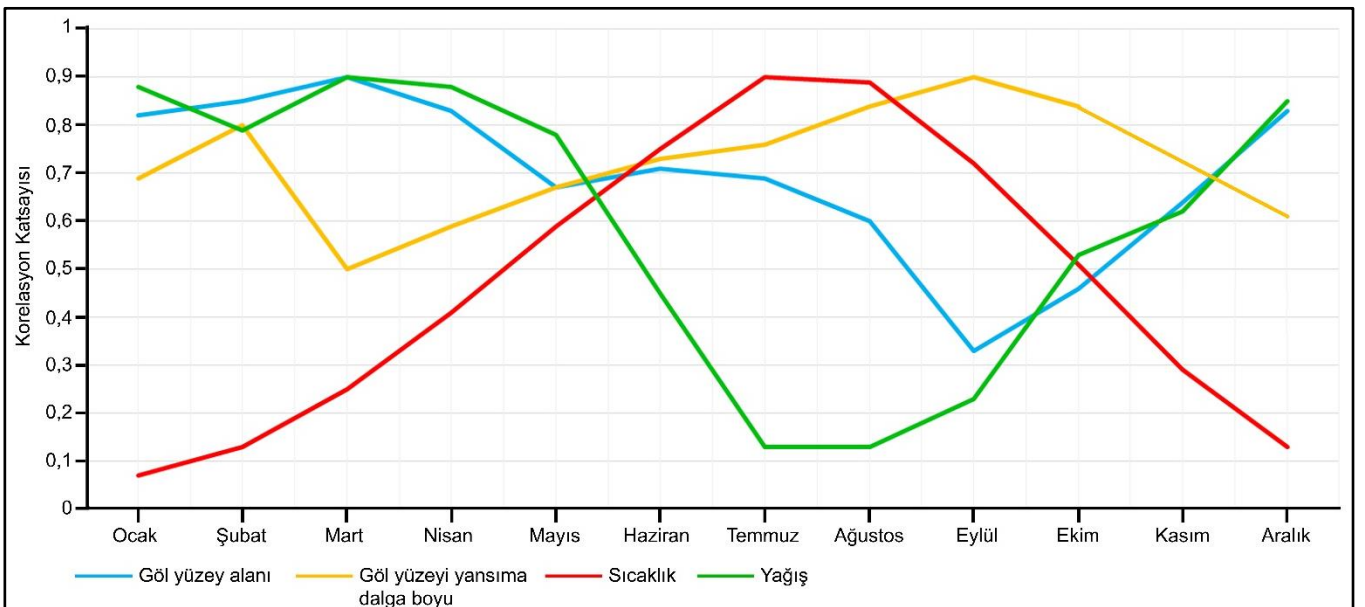
A) Işıklı Gölü'nü Denetleyen Faylar ve Göl Yüzey Alanı (Doğudan Batıya Bakış) B) Göl Rengini Etkileyen Etmelerin Drone Görüntüsü C) Işıklı Gölü'nün Yüzey Alanı Görüntüsü (Ekim, 2023).



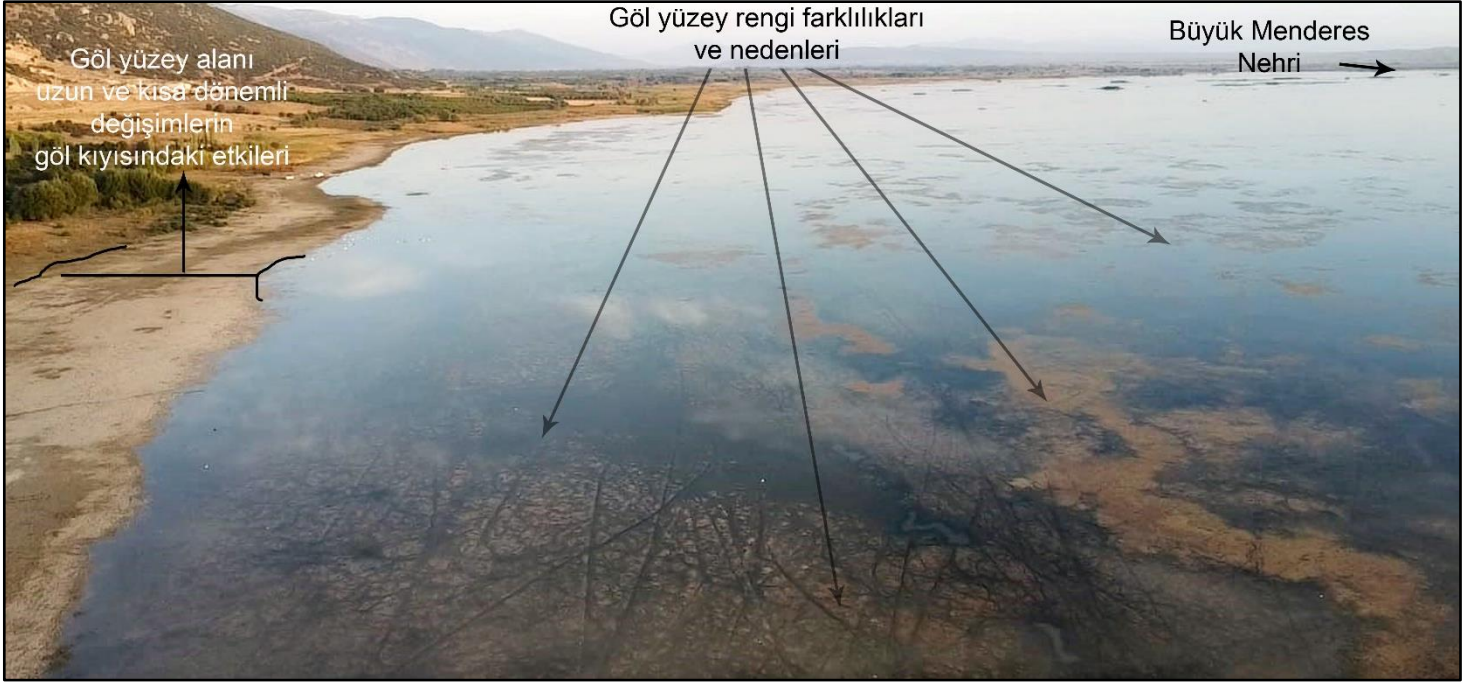
Şekil 12.
 Işıklı Gölü'nün 2023 Yılı İçerisindeki Aylık Göl Rengi Analiz Sonuçları ve Değişimi.



Şekil 13.
Işıklı Gölü'nün 2023 Yılı İçerisindeki Aylık Göl Rengi Analizlerine Göre Baskın Göl Rengi.



Şekil 14.
Işıklı Gölü'nün Göl Rengi, Yüzey Alanı, Çivril Meteorolojik Verilerinin (Sıcaklık ve Yağış) Aylık Değerleri Açısından Korelasyon Karşılaştırması.



Fotoğraf 3.

Işıklı Gölü'nün Doğu ve Güneydoğu Kesimi.

Tartışma ve Sonuç

Dünyada ve Türkiye göllerin yüzeysel alan değişimleri farklı çözünürlükte uydu görüntüleri kullanılarak analiz edilmiştir (Ataol & Onmuş, 2021; Cooley ve ark., 2021; Dereli & Tercan, 2020; Uzun, 2024). Bu bakımdan yapılan çalışmalar kara içi göllerinde buharlaşma miktarının son 50 yıllık dönemde % 58 arttığını ve alansal küçülmelerin meydana geldiğini gösterir (Zhao ve ark., 2022). Buharlaşma miktarının artmasında göllere antropojenik müdahaleler ile yapay göllerin sayısının artması ve küresel iklim değişikliğinin temel etkenler olduğu bilinmektedir. Bu bakımdan mevsimsel değişkenlik ve su rezervuar depolanmasının % 61'nin yapay göllerde olduğu bazı çalışmalarla ortaya konmuştur (Cooley ve ark., 2021). Ülkemizde ise iklimsel değişim ve yanlış su kullanımı nedeniyle özellikle Burdur Gölü, Tuz Gölü, Eğirdir Gölü, Eber-Akşehir Gölleri, Seyfe Gölü, Uluabat Gölü'nde zamansal ve mekânsal değişimler meydana gelmiştir (Ataol & Onmuş, 2021; Aydın ve ark., 2020; Kale, 2018; Kaya ve ark., 2023). Bu çalışmada Işıklı Gölü'nün uzun dönemli olarak yüzeysel alanının 1984'den 2024'e % 48,7 oranında küçüldüğü tespit edilmiştir. Çelik ve Gülersoy (2013), Işıklı Gölü'nde meydana gelen değişimlerin Çivril Ovası başta olmak üzere, göl çevresindeki yoğun tarımsal sulama kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, göldeki uzun dönemli alansal değişimin, iklim değişikliği, aşırı su kullanımı sonucu gölün çekilmesi ve alansal küçülmesi ile sucul bitki ve sazlık-bataklık alanların artması sonucunda olduğu tespit edilmiştir. Araştırmadaki kantitatif veriler daha önceki çalışmaları desteklemektedir. Ancak bu çalışmada diğer araştırmalardan farklı olarak Işıklı Gölü'nün yıl içerisindeki aylık yüzeysel alan değişimi de tespit edilmiştir. Bu bakımdan göl su yüzeyinin mart ayında pik değere (42,54 km²) ulaştığı, daha sonra göl yüzeyinin alansal olarak küçülerek eylül ayında en dar alanlı su varlığının (16,06 km²) olduğu tespit edilmiştir. Gölün yıl içerisindeki alansal

değişkenliği 26,48 km², oransal değişkenliği % 62,2'dir. Göldeki aylık değişimin seyri incelendiğinde, kış mevsiminin sonunda pik değerler gözlemlenmekte, yaz ve sonbaharda en dar alanlı göl yüzeyi (eylül) oluşmakta, aralık ayına doğru ise hızlı bir su yüzeyi genişlemesi gözlemlenmektedir. Bu durumun oluşmasında, daha önce yapılmış bazı çalışmalarda bulgular (Bahadır, 2014; Çelik & Gülersoy, 2013; Karabulut & Yıldırım, 2022; Özen & Ürker, 2020) ile bu çalışmadaki sonuçlar değerlendirildiğinde, gölün regülatör ve baraj özelliği ile su tutma ve deşarj dönemlerinin olması, atmosferik beslenme kaynakları ile buharlaşma miktarının ön planda olduğu düşünülmektedir.

Işıklı Gölü'nün uzaktan algılama analizleriyle tespit edilen uzun ve kısa dönem olarak (yıllık ve aylık) göl yüzey alanı değişimleri aynı zamanda göl renginin de değiştiğini ortaya koymuştur. Göl rengi değişimleri, su kalitesi, iklimsel değişkenlikler, antropojenik kullanım, göl dinamik yapısı ve ömrü ile göl morfometrisi hakkında bilgiler sunmaktadır (Burket ve ark., 2023; Gardner ve ark., 2021; Giardino ve ark., 2019; Schirpke ve ark., 2021; Yang ve ark., 2022;). Dünyadaki mavi göller genel olarak 50 m'den derin ve 300 m yükseltiden fazla, orta kuşak üst sınırında daha çok gözlemlenmektedir (Lehman ve ark., 2018, Yang ve ark., 2022). Bu çalışmada Işıklı Gölü'nün elektromanyetik spektrumdaki görünür ışık dalga boyunun aylık veriler ortalaması 503 nm olarak saptanmıştır. Bu değer Yang ve ark., (2022)'nin çalışmasına göre Işıklı Gölü'nün açık mavi-yeşil renk skalasında olduğunu göstermektedir. Dünya göl renkleri çalışmasına göre sığ göller (<5 m) baskın olarak daha uzun dalga boyuna sahiptir, yeşil ve az sayıda olmakla birlikte kahverengi tonlardadır (Lehman ve ark., 2018; Oleksy ve ark., 2022; Yang ve ark., 2022). Ancak değerlerin aylık veriler özelinde değiştiği yine bu çalışmadaki analizlerle tespit edilmiştir. Mart ayında dalga boyunun kısaldığı, eylül ayında ise dalga boyunun uzadığı saptanmıştır. Çalışmada, göldeki sucul bitki, fitoplankton ve sazlık, bataklık alan gelişiminin haziran

ayından sonra olduğu ve göl rengine bu durumun yansdığı saptanmıştır. Bu bakımdan çalışmada yapılan korelasyonla göl rengindeki değişimin göl yüzey alanı değişimi ile ters orantılı yüksek ilişkisi tespit edilmiştir. Ayrıca göl rengi (dalga boyu uzunluğu) ile iklim ve yağış verileri arasında 1-1,5 ay ötelemeli olarak paralellikler gözlemlenmiştir.

Işıkli Gölü için yapılan uzun dönemli renk değişimi sonuçları gölün renginin dikkat çekici şekilde yeşilden maviye döndüğünü ortaya koymaktadır. Oleksy ve ark., (2022) yaptıkları çalışmada Kayalık Dağları bölgesindeki (ABD) göllerde benzer durumla karşılaşmış ve değişimin bu şekilde olmasında antropojenik baskının daha yoğun olduğu, alçak seviyedeki yükselti etkisi ile iklim değişimin belli oranda etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Oleksy ve ark., 2022). Işıkli Gölü uzun dönem değişiminde göl çevresi ve gölü etkileyen hidrografik unsurlardaki doğrudan ve dolaylı antropojenik etkilerin rol oynadığı söylenebilir. Ancak yıl içerisinde kısa dönemli (aylık) değişimlerde ise farklı parametrelerin rol oynadığı tespit edilmiştir. Işıkli Gölü için bu durumun oluşmasında özellikle baraj su tutma dönemi ile yağışların geçiş iklimi sahasında olmasından dolayı kış ve baharda yoğunlaşması etkili olmuştur.

Göl renginde meydana gelen değişimler klorofil-a ile suyun berraklığının temel göstergesidir. Ancak göl rengini etkileyen temel etmenlerin gölün morfometrisi, bulunduğu konum, sıcaklık ve yağış şartlarının olduğu bazı çalışmalarda belirtilmektedir (Oleksy ve ark., 2022; Yang ve ark., 2022). Bu çalışmadaki bulgular gölün ortalama renginin dünya göl renkleri skalasına uyum sağladığını göstermektedir. Ancak bu araştırmada diğer çalışmalardan farklı olarak, göllerin dinamik ve üretken yapıları ile antropojenik kullanım durumlarının göl renklerinin yıl içerisinde de değişim gösterdiğini ortaya koymuştur. Dünyada son yıllarda sürekli alana sahip göllerin 162.000 km²'sinin mevsimlik değişen su yüzeyine (sazlık-bataklık alanlar vb.) dönüştüğü, 90.000 km²'sinin ise yok olduğu bazı çalışmalardan tespit edilmiştir (Pekel ve ark., 2016). Dünyadaki değişim verisi, Işıkli Gölü özelinde yapılan çalışmalarda uzun ve kısa dönemli olarak benzer özellikler göstermektedir. Bu nedenle göl yüzey alanı ve göl rengindeki birçok değişim farklı etkileri ve sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Değişen göl rengi, suda inorganik madde miktarının artmasına, yaz sıcaklıkları ve buharlaşma ile göllerin ilk olarak bataklık daha sonra çorak arazilere dönüşmesine ve bütün sonuçların göl ekosisteminin değişmesine neden olabilecektir. Işıkli Gölü'nde sulama amacıyla antropojenik kullanımının artması, aynı zamanda göl çevresinde endüstriyel atıkların yüzey ve yer altı suları ile göle karışması, yakın ve kısa dönemde göl yüzey alanı ile renginin daha fazla değişkenliğe uğrayacağını ortaya koymaktadır. Bu bakımdan Işıkli Gölü için sürdürülebilir havza ve su yönetim politikalarının geliştirilmesi öncelikle atılacak adımlar arasında yer almalıdır. Bu çalışmada ortaya konan yıllık ve aylık göl rengi ile su yüzey alanı değişimlerinin, Işıkli Gölü için yapılmış ve yapılacak olan yönetim ve planlama çalışmalarında kullanılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

Teşekkür:

Drone görüntüleri için Doç. Dr. A. Emrah SİYAVUŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Emre DUMAN'a, arazi çalışması için Dr. Öğr. Üyesi H. Melih ÖZDEMİR'e ve arazi

fotoğraf çekimlerinde yardımcı olan Osman YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The author have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The author declared that this study has received no financial support.

Kaynaklar

- Akbaş, A., Freer, J., Ozdemir, H., Bates, P.D., & Turp, M.T. (2020). What about reservoirs? Questioning anthropogenic and climatic interferences on water availability. *Hydrological Processes*, 34(26), 5441–5455. <https://doi.org/10.1002/hyp.13960>
- Akbaş, A. (2024). Human or climate? Differentiating the anthropogenic and climatic drivers of lake storage changes on spatial perspective via remote sensing data, *Science of the Total Environment*. 912. Makale 168982. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168982>
- 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., Erat, E., & Türkeş, M. (2020). Impact of climate variability on the surface of Lake Tuz (Turkey), 1985–2016. *Regional Environmental Change*, 20, Makale 68. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01656-z>
- Bahadır, M. (2014). Işıkli Gölü Havzası'nda doğal ortam koşulları ve arazi kullanımına yansması. *Coğrafya Dergisi* 26, 1-20.
- Busker, T., de Roo, A., Gelati, E., Schwatke, C., Adamovic, M., Bisselink, B., Pekel, J. F., & Cottam, A. (2019). A global lake and reservoir volume analysis using a surface water dataset and satellite altimetry. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(2), 669–690. <https://doi.org/10.5194/hess-23-669-2019>
- Burket, M. O., Olmanson, L. G., & Brezonik, P. L. (2023). Comparison of two water color algorithms: Implications for the remote sensing of water bodies with moderate to high CDOM or chlorophyll levels. *Sensors*, 23, Makale 1071. <https://doi.org/10.3390/s23031071>
- Ceylan, M., A. (1998). Baklan-Çivril Havzası ve yakın çevresinin hidrojeomorfolojik etüdü. [Yayımlanmamış doktora tezi]. Marmara Üniversitesi.
- Ceylan, M. A., & Eskikurt, A. (2001). Küfi Çayı Boğazı'nın doğal ve tarihî coğrafyası (Çivril/Denizli). *Marmara Coğrafya Dergisi*(3), 123-152.
- Collins, S. M., Yuan, S., Tan, P. N., Oliver, S. K., Lapierre, J. F., Cheruvellil, K. S., Fergus, C. E., Skaff, K., Stachelek, J., Wagner, T., & Soranno, P. A. (2019). Winter precipitation and summer temperature predict lake water quality at macroscales. *Water Resources Research*, 55(4), 2708–2721. <https://doi.org/10.1029/2018wr023088>
- Conte, J. L. (1881). Cause of the blue color of certain waters. *Science*, 2(35), 78–81. <https://doi.org/10.1126/science.os-2.35.78>
- Cooley, S.W., Ryan, J.C. & Smith, L. C. (2021). Human alteration of global surface water storage variability. *Nature*, 591, 78–81. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03262-3>
- Crosby, W., O. (1884). The colors of natural waters. *Science*, 3(62), 445–446. <https://doi.org/10.1126/science.ns-3.62.445>

- Çelik, M. A., & Gülersoy, A. E. (2013). Işıklı Gölü (Çivril-Denizli) çevresindeki arazi kullanım faaliyetlerinin göl üzerine etkilerinin incelenmesi. *SDÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 29, 191-200.
- Dereli, M. A., & Tercan, E. (2020). Assessment of shoreline changes using historical satellite images and geospatial analysis along the Lake Salda in Turkey. *Earth Science Information*, 13, 709-718. <https://doi.org/10.1007/s12145-020-00460-x>
- Gardner, J. R., Yang, X., Topp, S. N., Ross, M. R. V., Altenau, E. H., & Pavelsky, T. M. (2021). The color of rivers. *Geophysical Research Letters*, 48(1), Makale e2020GL088946. <https://doi.org/10.1029/2020GL088946>
- Garaba, S. P., Friedrichs, A., Voß, D., & Zielinski, O. (2015). Classifying natural waters with the Forel-Ule colour index system: Results, applications, correlations and crowdsourcing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(12), 16096–16109. <https://doi.org/10.3390/ijerph121215044>
- Giardino, C., Köks, K., Bolpagni, R., Luciani, G., Candiani, G., Lehmann, M. K., Van der Woerd, H., & Bresciani, M., (2019). *The color of water from space: A case study for Italian lakes from Sentinel-2*. In A. Pepe, & Q. Zhao (Eds.), *Geospatial Analyses of Earth Observation (EO) data*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86596>
- Hayden, B., Harrod, C., Thomas, S. M., Eloranta, A. P., Myllykangas, P. J., Siwertsson, A., Præbel, K., Knudsen, R., Amundsen, P., A., & Kahilainen, K., K. (2019). From clear lakes to murky waters—tracing the functional response of high-latitude lake communities to concurrent “greening” and “browning”. *Ecology Letters*, 22(5), 807–816. <https://doi.org/10.1111/ele.13238>
- Hoşgören, M. Y. (2020). Hidrografyanın ana çizgileri II (6. Baskı). Çantay Kitabevi.
- Hoşgören, M. Y. (1994). Türkiye'nin gölleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 29, 19-51 <https://doi.org/10.17211/tcd.70549>
- Janki, S., Klop, K. W., Dooper, I. M., Weimar, W., Ijzermans, J. N., & Kok, N. F. (2015). More than a decade after live donor nephrectomy: a prospective cohort study. *Transplant International*, 28(11), 1268-1275. <https://doi.org/10.1111/tri.12589>
- 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.
- Kale, M. M., & Erişmiş, M. (2024). Eğirdir Gölü alansal değişiminin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla analizi. *International Journal of Geography and Geography Education* (52), 122-140. <https://doi.org/10.32003/igge.1380588>
- Karabulut, U., & Yıldırım, Y., (2022). Çevre tarihi perspektifinden suyun kontrolü: Işıklı Gölü Barajı. *Pamukkale Üniversitesi Belgi Dergisi*, 24(2), 267-283. <https://doi.org/10.33431/belgi.1111227>
- 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. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 117729–117747. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30369-z>
- Köhler, S. J., Kothawala, D., Futter, M. N., Liungman, O., & Tranvik, L. (2013). In-lake processes offset increased terrestrial inputs of dissolved organic carbon and color to lakes. *PLoS One*, 8(8), Makale e70598. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070598>
- Lausch, A., Bannehr, L., Berger, S.A., Borg, E., Bumberger, J., Hacker, J., M., Heege, T., Hupfer, M., Jung, A., Kuhwald, K., Oppelt, N., Pause, M., Schrod, F., Selsam, P., Trentini V.F., Vohland, M., & Glässer, C. (2024). Monitoring water diversity and water quality with remote sensing and traits. *Remote Sensing*, 16, Makale 2425. <https://doi.org/10.3390/rs16132425>
- Lehmann, M. K., Nguyen, U., Allan, M., & Van der Woerd, H. J. (2018). Colour classification of 1486 lakes across a wide range of optical water types. *Remote Sensing*, 10(8), Makale 1273. <https://doi.org/10.3390/rs10081273>
- 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, Makale e2021GL096676. <https://doi.org/10.1029/2021GL096676>
- Matta, E., Bresciani, M., Giardino, C., Chiarle, M., & Nigrelli, G. (2024). Water colour changes in high-elevation alpine lakes during 2017–2022: A case study of the Upper Orco Valley Catchment. *Water*, 16, Makale 1057. <https://doi.org/10.3390/w16071057>
- 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>
- Meyer, M.F., Topp, S.N., King, T.V., Ladwig, R., Pilla, R. M., Dugan, H., A., Eggleston, J., Hampton, S., E., Leech, D. M., Oleksy, I. A., Ross, J. C., Ross, M. R., Woolway, R. I., Yang, X., Brousil, M., R., Fickas, K. C., Padowski, J., C., Pollard, A., I., Ren J., & Zwart, J. A. (2024). National-scale remotely sensed lake trophic state from 1984 through 2020. *Scientific Data*, 11, 77. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-02921-0>
- Oleksy, I. A., Collins, S. M., Sillen, S. J., Topp, S. N., Austin, M., Hall, E. K., O'Reilly, C. M., Yang, X., & Ross, M. (2022). Heterogenous controls on lake color and trends across the high-elevation U.S. Rocky Mountain region, *Environmental Research Letters*, 17, Makale 104041. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac939c>
- O'Reilly, C. M., Sharma, S., Gray, D. K., Hampton, S. E., Read, J. S., Rowley, R. J., Schneider, P., Lenters, J., D., McIntyre, P., B., Kraemer, B., M., Weyhenmeyer, G. A., Straile, D., Dong, B., Adrian, R., Allan, M., G., Anneville, O., Arvola, R., Austin, J., Bailey, J., B., Baron J., S., ... & Zhang, G. (2015). Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophysical Research Letters*, 42(24), 10773–10781. <https://doi.org/10.1002/2015gl066235>
- Özen, A., Ürker, O., (2020). Avrupa Doğa Bilgi Sistemi (EUNIS) habitat sınıflandırmasını kullanarak Işıklı Gölü ve Gököl sulak alanlarında habitat değişimlerinin belirlenmesi. *Erzincan Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 518-531. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.646077>
- 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>
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N. & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418–422 <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Persson, I. & Jones, I. D. (2008), The effect of water colour on lake hydrodynamics: a modelling study. *Freshwater Biology*, 53, 2345-2355. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02049.x>
- Schirpke, U., Scolozzi, R., & Tappeiner, U. (2021). “A Gem among the Rocks”—Identifying and measuring visual preferences for mountain lakes. *Water*, 13(9), Makale 1151. <https://doi.org/10.3390/w13091151>
- Sharma, S., Blagrove, K., Magnuson, J. J., O'Reilly, C. M., Oliver, S., Batt, R. D., Madeline, M. R., Straile, D., Weyhenmeyer, G. A., Winslow, L., & Woolway, R. L. (2019). Widespread loss of lake ice around the Northern Hemisphere in a warming world. *Nature Climate Change*, 9(3), 227–231. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0393-5>
- Shen, Z., Yu, X., Sheng, Y., Li, J., & Luo, J. (2015). A fast algorithm to estimate the deepest points of lakes for regional lake registration. *PLoS One*, 10(12), Makale e0144700. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144700>

- Sikder, M. S., Wang, J., Allen, G. H., Sheng, Y., Yamazaki, D., Song, C., Ding, M., Créteaux, 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>
- Smith, D. G., & Davies-Colley, R. J. (1992). Perception of water clarity and colour in terms of suitability for recreational use. *Journal of Environmental Management*, 36(3), 225–235. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(05\)80136-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(05)80136-7)
- Soranno, P. A., Wagner, T., Collins, S. M., Lapierre, J.-F., Lottig, N. R., & Oliver, S. K. (2019). Spatial and temporal variation of ecosystem properties at macroscales. *Ecology Letters*, 22(10), 1587–1598. <https://doi.org/10.1111/ele.13346>
- Topp, S. N., Pavelsky, T. M., Dugan, H. A., Yang, X., Gardner, J., & Ross, M. R. V. (2020). Shifting patterns of summer lake color phenology in over 26,000 US lakes. *Water Resources Research*, 57(5), Makale e2020WR029123. <https://doi.org/10.1029/2020WR029123>
- Topp, S. N., Pavelsky, T. M., Stanley, E. H., Yang, X., Griffin, C. G., & Ross, M. R. V. (2021). Multi-decadal improvement in US Lake water clarity. *Environmental Research Letters*, 16(5), Makale 055025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf002>
- Turoğlu, (2017). *Deniz ve göllerde kıyı, yasal ve bilimsel boyutlarıyla kıyı*. (Editörler: H. Turoğlu, H. Yiğitbaşıoğlu) Jeomorfoloji Derneği Yayını No: 1.
- Tyler, J. E. (1965). Colour of “pure” water. *Nature*, 208(5010), 549–550. <https://doi.org/10.1038/208549a0>
- Tyndall, J. (1870). On the colour of the lake of Geneva and the Mediterranean Sea. *Nature*, 2(51), 489–490. <https://doi.org/10.1038/002489a0>
- Uzun, M. (2024). Analysis of Manyas Lake surface area and shoreline change over various periods with dsas tool. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 6(1), 35-56. <https://doi.org/10.51489/tuzal.1443490>
- Van der Woerd, H. J., & Wernand, M. R. (2018). Hue-angle product for low to medium spatial resolution optical satellite sensors. *Remote Sensing*, 10(2), 180. <https://doi.org/10.3390/rs10020180>
- Votruba, A. M., & Corman, J. R. (2020). Definitions of water quality: A survey of lake-users of water quality-compromised lakes. *Water*, 12(8), 2114. <https://doi.org/10.3390/w12082114>
- Wang, S., Li, J., Zhang, B., Spyrakos, E., Tyler, A. N., Shen, Q., Zhang, F., Kuster, T., Lehmann M. K., Wu, Y., & Peng, D. (2018). Trophic state assessment of global inland waters using a MODIS-derived Forel-Ule index. *Remote Sensing of Environment*, 217, 444–460. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.026>
- Wang, S., Ma, L., Yang, L., Long, X., Guan, C., Zhao, C., & Chen, N. (2024), Quantifying desertification in the Qinghai Lake Basin. *Frontiers in Environmental Science* 12, Makale 1309757 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1309757>
- Webster, K. E., Soranno, P. A., Cheruvilil, K. S., Bremigan, M. T., Downing, J. A., Vaux, P. D., Asplund, T., Bacon, L., C., & Connor, J. (2008). An empirical evaluation of the nutrient-color paradigm for lakes. *Limnology & Oceanography*, 53(3), 1137–1148. <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.3.1137>
- Wernand, M. R., & van der Woerd, H. J. (2010). Spectral analysis of the Forel-Ule Ocean colour comparator scale. *Journal of the European Optical Society: Rapid Publications*, 5, Makale 10014s. <https://doi.org/10.2971/jeos.2010.10014s>
- 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>
- Woolway, R. I., Sharma, S., Weyhenmeyer, G. A., Debolskiy, A., Golub, M., Mercado-Bettin, D., Perroud, M., Stepanenko, V., Tan, Z., Grant, L., Ladwig, R., Mesman, J., Tadhg Moore, N., Shatwell, T., Vanderkelen, I., Austin, J., A., DeGasperi, C., L., Dokulil, M., & La Fuente, S. (2021). Phenological shifts in lake stratification under climate change. *Nature Communications*, 12(1), Makale 2318. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22657-4>
- Yang, X., O'Reilly, C. M., Gardner, J. R., Ross, M. R. V., Topp, S. N., Wang, J., & Pavelsky, T. M. (2022). The color of Earth's lakes. *Geophysical Research Letters*, 49, Makale e2022GL098925. <https://doi.org/10.1029/2022GL098925>
- Zhao, G., Li, Y., Zhou, L., & Gao, H. (2022). Evaporative water loss of 1.42 million global lakes. *Nature Communications*, 13, Makale 3686. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31125-6>