

GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORMU ÜZERİNDE ÇOK ZAMANLI SENTINEL-2 GÖRÜNTÜLERİ KULLANARAK GÖLLERDEKİ ZARARLI ALG PATLAMALARININ İZLENMESİ

Selinay CİVELEK¹, Batuhan Görsel YALÇIN², Osman Yavuz ALTUNTAŞ³, İsmail ÇÖLKESEN⁴

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli, s.civelek2020@gtu.edu.tr

²Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli, b.yalcin2019@gtu.edu.tr

³Arş. Gör., Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli, oyavuzaltuntas@gtu.edu.tr

⁴Doç. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli, icolkesen@gtu.edu.tr

ÖZET

Göller, dünyamızın temel tatlı su kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Ancak, kentleşme, sanayileşme ve bilinçsiz tarımsal faaliyetler, göllere karışan kimyasalların yanı sıra azot ve fosfor seviyelerinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum, göllerde alg artışına ve dolayısıyla ötrofikasyona yol açmaktadır. Ötrofikasyon, su kalitesinin düşmesine ve hem insan hem de hayvan sağlığı için tehlikeler yaratmasının yanı sıra çevresel ve ekonomik sorunlara da sebep olmaktadır. Alg yoğunluğunun yerinde izlenmesi ise maliyetli ve zaman alıcı bir süreçtir. Buna karşılık, uzaktan algılama teknikleri daha hızlı ve maliyet açısından uygun bir alternatif sunmaktadır. Bu çalışmada, Google Earth Engine (GEE) bulut platformu kullanılarak, Sentinel-2 görüntülerinden türetilen Yüzen Alg İndeksi (Floating Algae Index, FAI), Düzeltilmiş Yüzen Alg İndeksi (Adjusted Floating Algae Index, AFAI) ve Normalleştirilmiş Fark Klorofil İndeksi (Normalized Difference Chlorophyll Index, NDCI) veri setlerine ait zaman serileri alg yoğunluğunu tespit etmek amacıyla incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan Büyükçekmece Gölü (İstanbul), Marmara Gölü (Manisa), Ilgın Gölü (Konya), Eğirdir Gölü (Isparta), Burdur Gölü (Burdur) ve Nazik Gölü'nde (Van) 2019-2021 yılları arasında alg yoğunluğunun arttığı belirlenmiştir. FAI, AFAI ve NDCI indekslerine ait zaman serilerinin mevsimsel eğilimleri incelendiğinde, alg yoğunluğunun ilkbahar ve yaz mevsimlerinde arttığı, kış mevsiminde ise azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, bulut filtreleme işleminden sonra elde edilen zaman serisi grafiklerinde, kullanılan üç farklı indeksin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun yanı sıra, alg artışının yaşandığı dönemlerde göllerin mavi-yeşil renge büründüğü ve bazı göllerin yüzeyinde suçiçeği benzeri bir görünüm oluştuğu tespit edilmiştir. Alg patlamalarının ilkbahar ve yaz aylarında artış göstermesi, su sıcaklığı, tarımsal faaliyetler ve güneş ışığı gibi faktörlerle ilişkilendirilmektedir. Uzaktan algılama teknikleri kullanılarak, özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerinde artış gösteren alglerin düzenli analizi, göllerde yaşanabilecek alg patlamalarının tahmin edilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışma, su kaynaklarındaki alg patlamalarını önlemeyi ve su kalitesini korumayı amaçlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: Google Earth Engine, Alg Patlaması, Alg indeksleri, Zaman serisi, Sentinel-2

ABSTRACT

MONITORING HARMFUL ALGAL BLOOMS IN LAKES USING MULTITEMPORAL SENTINEL-2 IMAGERY ON GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORM

Lakes hold a significant position among the primary freshwater resources of our planet. However, urbanization, industrialization, and unregulated agricultural activities have led to an increase in chemical pollutants, nitrogen, and phosphorus levels in these lakes. This situation results in algal blooms and, consequently, eutrophication. Eutrophication not only degrades water quality but also poses risks to both human and animal health while also causing environmental and economic problems. Monitoring algal density in situ is both costly and time-consuming. In contrast, remote sensing techniques offer a faster and more cost-effective alternative. In this study, the time series of Floating Algae Index (FAI), Adjusted Floating Algae Index (AFAI), and Normalized Difference Chlorophyll Index (NDCI), derived from Sentinel-2 images using the Google Earth Engine (GEE) cloud platform, were analyzed to detect algal density. The study revealed that algal density increased between 2019 and 2021 in Büyükçekmece Lake (Istanbul), Marmara Lake (Manisa), Ilgın Lake (Konya), Eğirdir Lake (Isparta), Burdur Lake (Burdur), and Nazik Lake (Van), located in different regions of Turkey. Seasonal trends in the time series of FAI, AFAI, and NDCI indices indicated that algal density increased during spring and summer and decreased in winter. Furthermore, after the cloud filtering process, the time series graphs for the three indices showed consistent results. It was also observed that during periods of algal blooms, the lakes exhibited a blue-green color, and some lakes developed a surface appearance resembling water lilies. The increase in algal blooms during the spring and summer months is thought to be influenced by factors such as water temperature, agricultural activities, and sunlight. By utilizing remote sensing techniques, the regular analysis of algal blooms, especially during the spring and summer, enables the prediction of potential algal blooms in lakes. This study aims to prevent algal blooms in water resources and to preserve water quality.

Keywords: Google Earth Engine, Algal bloom, Algae index, Time series, Sentinel-2

1. GİRİŞ

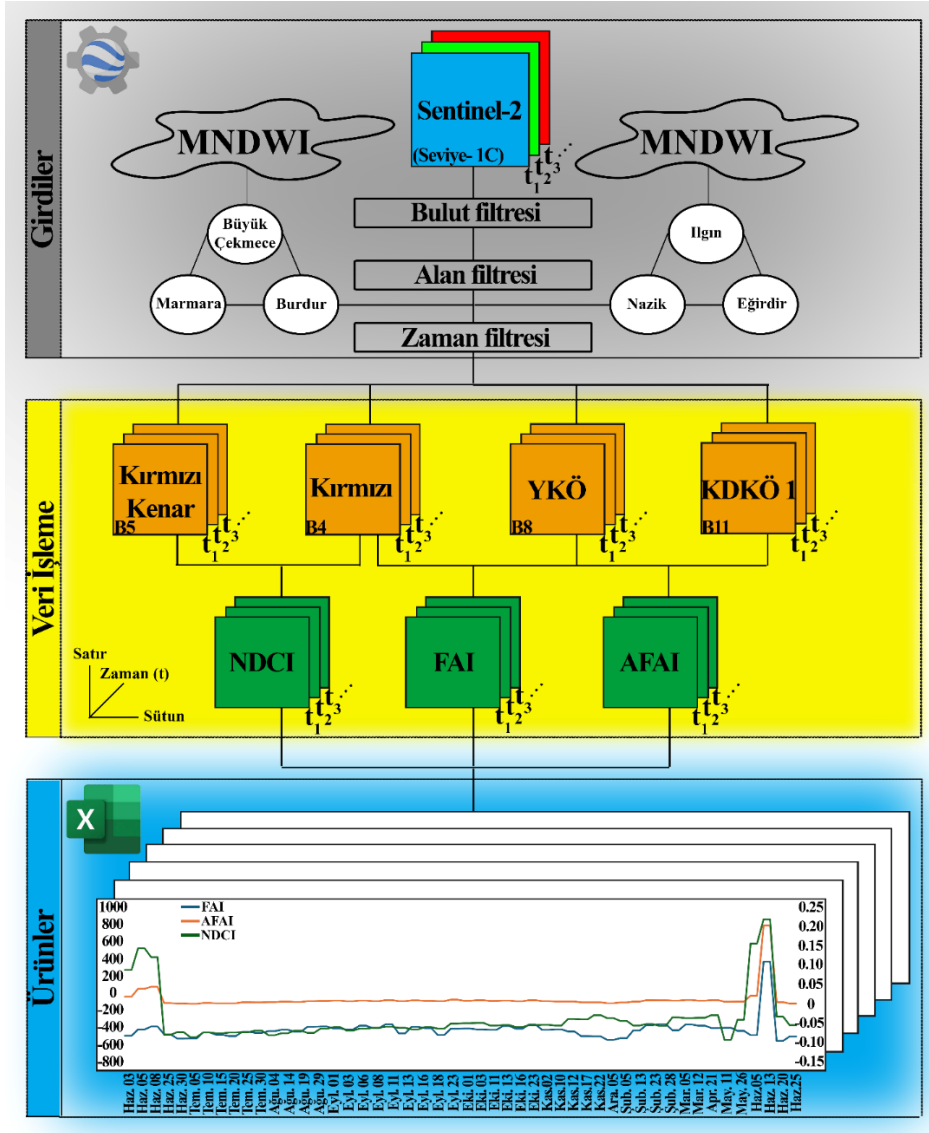
Göller, tatlı su ekosistemlerinin temel bileşenlerinden biri olup, dışarıdan gelen besin maddeleri ve kimyasallar nedeniyle çevresel değişimlere açık sistemlerdir. Bu kimyasalların suya karışması, göllerde besin maddelerinin aşırı çoğalmasıyla sonuçlanan ötrofikasyon sürecini hızlandırabilmektedir. Ötrofikasyon, sudaki azot ve fosfor gibi besin maddelerinin artışıyla ilgili olarak gelişen ve genellikle alg patlamalarına yol açan bir olgudur. İnsan faaliyetleri sonucu tetiklenebilen ötrofikasyon, tarımsal gübreler, evsel atıklar ve deterjanlar gibi etkenler nedeniyle hızlı bir şekilde yayılmaktadır (Yağcı, 2010). Ötrofikasyon, su kalitesinde ciddi düşüşlere neden olmakta, oksijen seviyesinin azalması, balık popülasyonlarının kaybı, suyun bulanıklığının artması ve içme suyu kaynaklarında tat, koku ve arıtma sorunlarına yol açmaktadır (Doğan-Sağlamtimur ve Sağlamtimur, 2018). İçme suyu kaynağı olarak kullanılan göllerde ötrofikasyon meydana gelmesi insan sağlığı için ciddi sorunlara yol açabilmektedir (Pulatsü, 2022). Bu nedenle, ötrofikasyon sonucu oluşan alg patlamalarının tespiti ve yerinde izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Ancak, bu tespit ve izleme süreci genellikle yüksek maliyetler ve uzun süreler gerektirmektedir. Bunun yanında, algılayıcı sensörler kullanılarak nesnel ve olaylar hakkında uzaktan bilgi toplama bilim veya sanatı olan uzaktan algılama teknolojilerinin kullanılması, alg patlamalarının tespiti ve izleme çalışmalarında maliyet ve zaman açısından önemli ölçüde verimlilik sağlayacaktır (Campbell ve Wynne, 2011; Sharma vd., 2015).

Uzaktan algılamada uydu görüntülerinin işleme ve analizlerini gerçekleştirebilmek amacıyla 2011 yılında Google tarafından yayınlanan Google Earth Engine (GEE) platformu yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Kumar ve Mutanga, 2018). Bunun yanında uydu görüntülerinden üretilen spektral indeksler yardımıyla zaman serileri kullanılarak zaman içerisinde meydana gelen değişimler izlenebilmektedir (Cao vd., 2020; Sidhu vd., 2018; Zhu vd., 2019). Kullanıcıların çok zamanlı olarak uygulama geliştirmesine olanak tanıyan bu platform sayesinde, alg tespiti ve izleme çalışmaları gerçekleştirilebilmektedir. Örneğin Wang vd., (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 2013-2017 yılları arasında Amerika'da bulunan göllerde GEE platformu ile Landsat 7-8 ve Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI), Normalleştirilmiş Fark Kar İndeksi (NDSI), Beyazlık ve B4/B5 bant oranı kullanılarak alg varlıklarının tespiti ele alınmıştır. Klorofil-a (Chl-a), uzun yıllardır göl ekosistemlerinde alg yoğunluğu ve biyokütlesinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (He vd., 2022). Bu çerçevede, Şili'de bulunan Lanalhue Gölü'nde gerçekleştirilen bir çalışmada, 2018-2022 yılları arasında Chl-a tespiti amacıyla GEE platformu üzerinde Sentinel-2 veri setleri kullanılmıştır. Çalışmada, RGB (B2, B3, B4), Kırmızı Kenar (B5, B6, B7), YKÖ (B8) ve KDKÖ (B11 ve B12) bantları kullanılarak, Chl-a yoğunluğunu tahmin etmek üzere bir model geliştirilmiştir. (Barraza-Moraga vd., 2022). Çin'de yapılan ulusal bir çalışmada ise, göllerde 2019-2020 yılları arasında GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen Yüzen Alg İndeksi (FAI), Normalize Fark Su İndeksi (NDWI) ve NDVI kullanılarak alg varlıkları tespit edilmiştir (Pu vd., 2022). İspanya'da bulunan Akdeniz Guadiero Körfezi'nde 2017-2020 yılları arasında yaşanan ötrofikasyon sonucu oluşan alg varlıkları GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen NDWI indeksi kullanılarak tespit edilmiştir (Roca vd., 2022). Çin'in Jiaozhou Körfezinde 2000-2022 yılları arasında yaşanan alg varlığı GEE platformunda Sentinel-2 ve MODIS uydu görüntülerinden türetilen FAI kullanılarak tespit edilmiştir (Guan vd., 2023). Tunus'ta bulunan Gabez Körfezi'nde 2005-2020 yılları arasında Chl-a tespiti amacıyla GEE platformunda MODIS Aqua verisetleri kullanılmıştır (Katlane vd., 2023). Amerika'da bulunan göl ve göletlerde 2019-2022 yılları arasında Chl-a konsantrasyonunu tespit etmek amacıyla GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen Normalize Fark Klorofil İndeksi (NDCI), İki Bantlı Fark Algoritması (2BDA) ve Klorofil İndeksi/ Maksimum Klorofil İndeksi (CI/MCI) kullanılmıştır (Johansen vd., 2024). Alg patlamalarının izlenmesi üzerine Brezilya'da bulunan Tieté Nehri Havzasında gerçekleştirilen bir çalışmada ise artış gösteren alg patlamaları GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen NDCI kullanılarak Alg Patlaması İzleme Uygulaması (AlgaeMap) yapılmıştır (Lobo vd., 2021).

Bu çalışmanın temel amacı, bulut tabanlı GEE platformu kullanarak Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde bulunan Büyükçekmece Gölü, Marmara Gölü, Burdur Gölü, Ilgın Gölü, Nazik Gölü ve Eğirdir Gölü özelinde çok zamanlı uydu görüntüleri yardımıyla alg patlamaları oluşumlarının izlenmesi ve tespitidir. Bu doğrultuda, Sentinel-2 görüntülerinden elde edilen FAI, AFAI ve NDCI indekslerine ait zaman serileri oluşturulmuş ve alg patlamalarıyla olan ilişkileri analiz edilmiştir. Ayrıca, bu indekslerin alg patlamalarına karşı mevsimsel eğilimleri de kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİSETİ

Çalışma kapsamında, Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde yer alan ve çeşitli yüzey alanlarına sahip Büyükçekmece, Marmara, Burdur, Ilgın, Nazik ve Eğirdir gölleri çalışma alanı olarak değerlendirmeye alınmıştır (Şekil 1a). Büyükçekmece Gölü, İstanbul'un Avrupa yakasında, Marmara Denizi kıyısında yer almakta olup şehre 50 km uzaklıktadır. Çevresinde Beylikdüzü, Esenyurt, Silivri ve Çatalca ilçeleri bulunmaktadır (Şekil 1b). Büyükçekmece Gölü, 620 km²lik yüzey alanı ve 100 milyon m³lük su kapasitesi ile şehrin su tüketimine önemli katkı sağlamaktadır (Erdoğan, 2022). Marmara Gölü, Manisa'nın Gölçü ilçesinin güneyinde yer alan alüvyal kökenli bir göl olup, sulama açısından önemli bir kaynak konumundadır (Şekil 1c). Bölgedeki ekosistem için de önemli bir yaşam alanı



Şekil 2. Çalışmada takip edilen iş-akış şeması.

Doğal ve yapay kaynaklı çevresel olayların izlenmesi gibi çok zamanlı analizlerin gerçekleştirilebildiği GEE platformu kullanılarak, öncelikle %30 oranında bir bulut filtresi uygulanmış ve sonrasında elde edilen Sentinel-2 uydu görüntüleri bulutluluk açısından manuel olarak kontrol edilmiştir. Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde bulunan, çalışma alanlarını kapsayan ve bulutsuz olan uydu görüntüleri kullanılarak, su ile kara ayrımı uygulamalarında sıklıkla kullanılan Modifiye Normalize Fark Su İndeksi (MNDWI) uygulanmış ve bu yöntemle göllere ait su yüzey alanları çıkartılmıştır. Ardından, bu yüzey alanlarını içeren geometri dosyaları kullanılarak her bir göle ilişkin alan filtresi uygulanmıştır. Bu ön işlemler sonucu elde edilen görüntülerin hepsine, çalışma alanları üzerinde zaman serisi analizlerine esas olacak şekilde Büyükçekmece, Marmara, Burdur, Ilgın ve Nazik gölleri için sırasıyla "30 Mayıs 2020- 30 Haziran 2022", "30 Mayıs 2020- 30 Mayıs 2021", "30 Mayıs 2020- 30 Haziran 2021", "30 Mayıs 2020- 30 Haziran 2021" ve "30 Mayıs 2020- 30 Mayıs 2022" zaman filtresi uygulanmıştır. Ardından görüntülerin Kırmızı (B4), Kırmızı kenar (B5), YKÖ (B8) ve KDKÖ1 (B11) spektral bantları yardımıyla alg patlamalarının tespit ve izlenmesi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan FAI ve AFAI spektral indeksleri ile sulak alanlardaki klorofil içeriğinin tespitine yönelik geliştirilen NDCI indeksi hesaplanmıştır. Çalışma alanına ait hesaplanan spektral indeksler yardımıyla değerlendirmeye alınan göl alanları için üç farklı zaman serisi grafiği üretilmiştir.

3.1 Bulut Tabanlı Google Earth Engine Platformu

Google, büyük verilerin incelenmesinde yaşanan engelleri verimli bir şekilde çözmek amacıyla 2011 yılında bulut tabanlı GEE platformunu geliştirmiştir. GEE, petabaytlarca veriyi depolayarak kullanıcıların çok zamanlı analiz yapabilmesine olanak tanıyan geniş bir fonksiyon seti sunmaktadır (Amani vd., 2020). Ayrıca, kullanıcılar, GEE'de uzaktan algılama verilerini işleyebilmek amacıyla JavaScript veya Python programlama dili tabanlı, açık kaynaklı ve

geliştirilebilir komut dosyalarından faydalanabilmektedir (Johansen vd., 2024). GEE platformu aracılığıyla, uzaktan algılama temelli optik (Landsat, Sentinel, MODIS ve NOAA AVHRR) ve radar uydu görüntüleri, ALOS dijital yükseklik modeli, yüzey sıcaklığı ve meteoroloji gibi çeşitli veri setlerine ücretsiz erişim sağlanabilmektedir. GEE’de ham veya işlenmiş görüntüler, haritalar ve tablolar, Google Drive, Google Cloud Storage ya da kullanıcı tarafından düzenlenmiş kod dizinleri aracılığıyla bağlantı kopyalama seçeneği kullanılarak diğer Earth Engine hesaplarıyla ücretsiz olarak paylaşılabilir. Analiz edilen görüntüler .tiff (GeoTIFF) veya .tfrecord (TFRecord) formatlarında dışarı aktarılabilir (Kumar ve Mutanga, 2018). Platformunun en önemli avantajlarından biri, büyük veri ile bulut bilişimi birleştirerek yüksek boyutlu verilerin hızlı bir şekilde işlenmesi ve analiz edilmesinde sunduğu büyük potansiyeldir (Xiaona vd., 2022). Platform, Arazi kullanımı/ arazi örtüsü, taşkın ve orman haritalama gibi geniş bir yelpazede çalışma alanına sahiptir (Chen vd., 2017; Saah vd., 2019; Uddin vd., 2019). Zararlı alg patlamalarının tespit edilmesi amacıyla Colkesen vd. (2024) Burdur Gölü’nde gerçekleştirdikleri çalışmada, GEE platformunda FAI ve AFAI spektral indekslerine dayalı gerçekleştirilen zaman serisi analiz sonuçlarını kullanarak yedi farklı tarihte elde edilen Sentinel-2 uydu görüntüsünü temel veri seti olarak değerlendirmeye almıştır.

3.2 Spektral Alg İndeksleri

Çalışma kapsamında alg patlamalarının tespiti ve izlenmesi amacıyla kullanılan FAI, AFAI ve NDCI indekslerinin hesaplanması ile ilgili temel matematiksel eşitlikler ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve referans kaynaklara atıfta bulunulmuştur (Çizelge 1). Yüzen Alg İndeksi (FAI), Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) görüntülerinin spektral bantlarını kullanarak açık okyanus ortamlarında yüzen alglerin tespiti için özel olarak tasarlanmıştır. Düzeltilmiş Yüzen Alg İndeksi (AFAI), Landsat ve MODIS uydu görüntülerinden otomatik olarak tanımlanan eşik değerlerine dayanarak göl ekosistemindeki zararlı alg patlamalarını daha hassas ve verimli bir şekilde tespit etmek amacıyla geliştirilmiştir. Son olarak Normalize Edilmiş Fark Klorofil İndeksi (NDCI), başlangıçta haliçler ve kıyı bölgelerindeki bulanık ve verimli sularda uzaktan algılama verileriyle Chl-a konsantrasyonunu tahmin etmek amacıyla geliştirilmiş ve zamanla göl sularının değerlendirilmesinde de yaygın olarak kullanılmıştır.

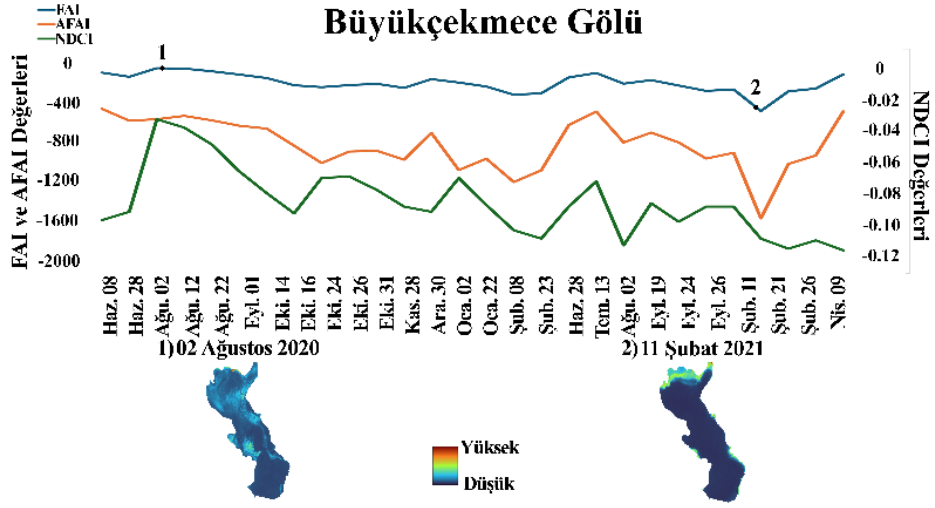
Çizelge 1. Çalışmada kullanılan spektral alg indekslerine ilişkin temel formüller ve referans kaynakları.

Alg indeksi	Formül	Referans
Yüzen Alg İndeksi (FAI)	$FAI = R_{rc,B8} - R'_{rc,B8}$ $R'_{rc,B8} = R_{rc,B4} + (R_{rc,B11} - R_{rc,B4}) \times \frac{\lambda_{B8} - \lambda_{B4}}{\lambda_{B11} - \lambda_{B4}}$	Hu, (2009)
Düzeltilmiş Yüzen Alg İndeksi (AFAI)	$AFAI = B8 - B4 - 0.5 \times (B11 - B4)$	Fang vd., (2018)
Normalize Fark Klorofil İndeksi (NDCI)	$NDCI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$	Mishra ve Mishra, (2012)

Çizelgede belirtilen $R_{rc,B4}$, $R_{rc,B8}$ ve $R_{rc,B11}$ Rayleigh atmosferik düzeltmeli yansımaları; λ_{B4} , λ_{B8} ve λ_{B11} merkezi dalga boylarını; $B4$, $B5$, $B8$ ve $B11$ sırasıyla Sentinel-2 görüntülerinin Bant 4 (Kırmızı), Bant 5 (Kırmızı kenar 1), Bant 8 (YKÖ) ve Bant 11'i (KDKÖ 1) temsil etmektedir.

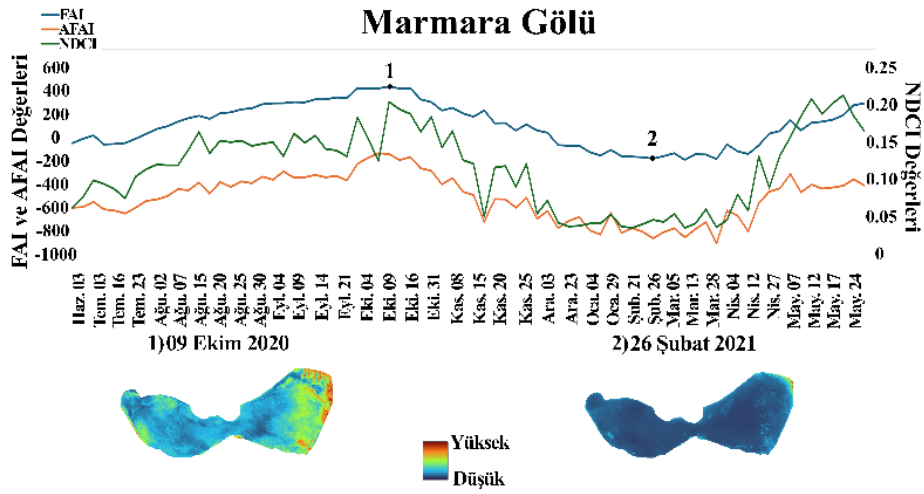
3.3 Spektral Alg İndekslerine Dayalı Zaman Serisi Analizleri

Çalışma amacına uygun olarak ele alınan altı göl için spektral indekslere dayalı olarak zaman serisi grafikleri oluşturulmuş ve göllerdeki alg oluşumları incelenmiştir. Bu kapsamda Büyükçekmece Gölü için FAI, AFAI ve NDCI indekslerine dayalı üretilen zaman serisi grafikleri Şekil 3’te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde FAI indeksi ile elde edilen zaman serisi grafiğinde indeks değerlerinin diğer grafiklere göre daha düzenli değerler aldığı, dolayısıyla dalgalanmaların az olduğu görülmektedir. Diğer iki indeksle elde edilen grafiklerde belirli tarihlerde indeks değerlerinin önemli derecede arttığı, belirli tarihlerde ise düşüşler olduğu gözlenmektedir. Örneğin tüm indeksler için artışların gözlemlendiği 02 Ağustos 2020 tarihli görüntüde (1 nolu nokta) göl yüzeyinde yoğun alg oluşumları olduğu görülürken, 11 Şubat 2021 tarihli görüntüde (2 nolu nokta) gölün kuzey kesimlerinde kısmen alg oluşumları tespit edilmiştir. Ayrıca, üç indeksin yaz aylarında artış gösterdiği, kış aylarında ise düşüş eğiliminde olduğu belirlenmiştir.



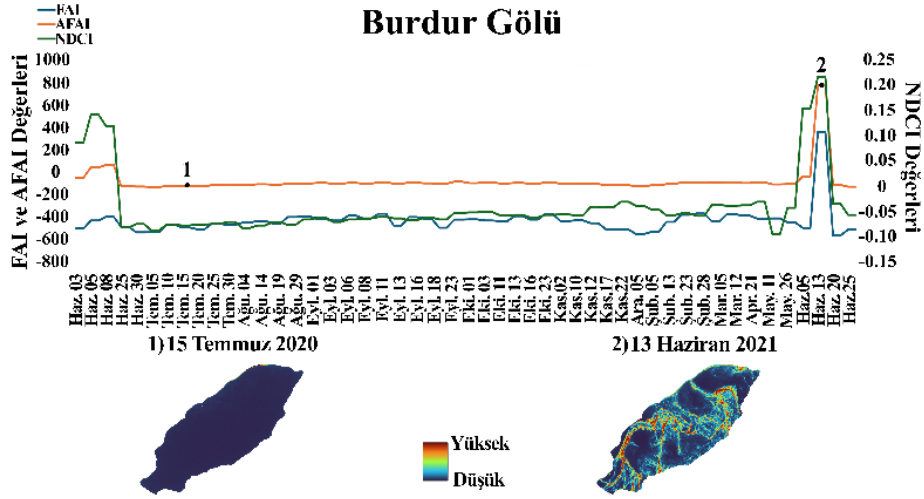
Şekil 3. Büyükçekmece Gölü'ne ilişkin zaman serisi grafikleri.

Marmara Gölü'ne ait indekslere dayalı oluşturulan zaman serisi grafikleri Şekil 4'te sunulmuştur. Grafiklerin analizi sonucunda, FAI ve AFAI indeksleri ile elde edilen zaman serisi grafikleri daha düzenli bir seyir izlediği ve bu nedenle dalgalanmaların daha az olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, NDCI indeksine ait zaman serisi grafiğinde belirli dönemlerde indeks değerlerinin önemli ölçüde artış veya azalış gösterdiği gözlenmiştir. Özellikle, 09 Ekim 2021 tarihli görüntüde (1 numaralı nokta) tüm indekslerde bir artış olduğu ve göl yüzeyinde yoğun alg oluşumları meydana geldiği belirlenmiştir. Buna karşılık, 26 Şubat 2021 tarihli görüntüde (2 numaralı nokta) ise gölün doğu kıyılarında sınırlı alg oluşumlarının tespit edildiği görülmüştür. Bunun yanında, üç indeksin yaz aylarından sonbahar aylarına ve kış aylarından ilkbahar aylarına doğru artış eğilimi gösterdiği kaydedilmiştir.



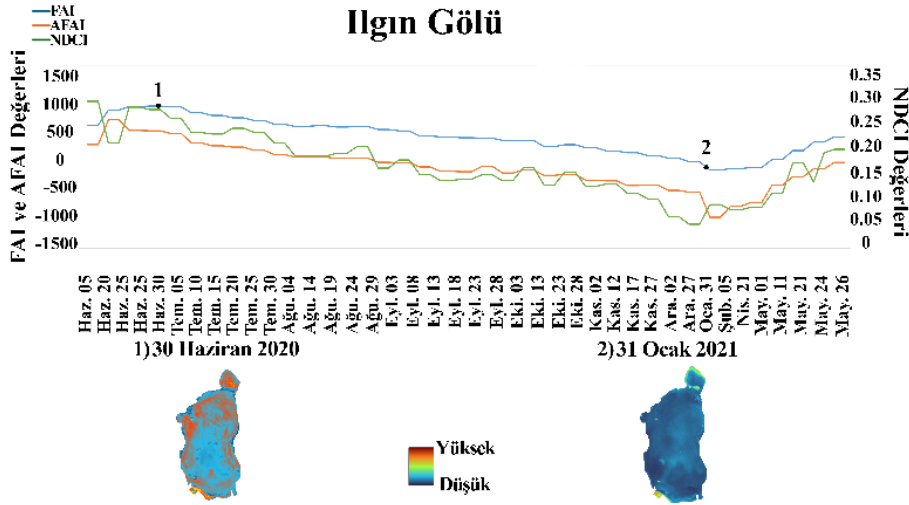
Şekil 4. Marmara Gölü'ne ilişkin zaman serisi grafikleri.

Burdur Gölü için indeksler temel alınarak üretilen zaman serisi grafikleri Şekil 5'te sunulmuştur. Tüm indekslere ilişkin grafiklerin analizi, 25 Haziran 2020 ile 26 Ocak 2021 tarihleri arasında sabit ve düzenli azalma eğilimi gösterdiğini, bu sebeple dalgalanmaların az olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, bu tarih aralığı dışında bazı dönemlerde indeks değerlerinde belirgin artışlar ve düşüşler gözlemlenmiştir. Özellikle, indeks değerlerinin arttığı dönemde (2 numaralı nokta) göl yüzeyinde yoğun alg oluşumları tespit edilirken, indekslerin düştüğü tarihte (1 numaralı nokta) göl üzerinde alg oluşumunun bulunmadığı saptanmıştır. Üç indeksin de mevsimsel olarak belirgin bir artış ya da azalma eğilimi göstermediği tespit edilmiştir.



Şekil 5. Burdur Gölü'ne ilişkin zaman serisi grafikleri.

İlgın Gölü için indeksler temelinde üretilen zaman serisi grafiklerine Şekil 6'da yer verilmiştir. Grafiklerin incelenmesi sonucu, FAI ve AFAI indeksleri kullanılarak elde edilen grafiklerin 30 Haziran 2020 ile 31 Ocak 2021 tarihleri arasında düzenli bir azalma eğilimi sergilediğini ve dolayısıyla dalgalanmaların düşük seviyede olduğunu göstermektedir. NDCI indeksine ait grafikte ise belirli tarihlerde indeks değerlerinde önemli artışlar ve düşüşler yaşandığı gözlemlenmiştir. Özellikle, indeks değerlerinin yükseldiği tarihte (1 numaralı nokta) göl yüzeyinde yoğun alg oluşumlarının olduğu belirlenirken, azalma gösterdiği tarihte ise (2 numaralı nokta) gölün kuzey ve güneybatı kıyılarında kısmi alg oluşumları tespit edilmiştir. Ek olarak, üç indeksin yazdan kış aylarına doğru bir azalma eğilimi sergilediği belirlenmiştir.



Şekil 6. İlgın Gölü'ne ilişkin zaman serisi grafikleri.

Nazik Gölü'ne ait zaman serisi grafikleri, indeksler temel alınarak üretilmiş ve Şekil 7'de sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde, indeks değerlerinin belirli dönemlerde önemli artışlar ve diğer dönemlerde düşüşler gösterdiği, dolayısıyla dalgalanmaların yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle, indeks değerlerinin arttığı tarihte (2 numaralı nokta) göl yüzeyinde yoğun alg oluşumları tespit edilirken, indeks değerlerinin düştüğü tarihte (1 numaralı nokta) ise göl yüzeyinde alg oluşumuna rastlanmamıştır. Göl genelinde alg yoğunluğunun arttığı bu dönemde, üç indeksin de yaz aylarından sonbahar aylarına doğru artış eğilimi sergilediği kaydedilmiştir.

KAYNAKLAR

- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q. ve Brisco, B.**, 2020. Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13: 5326-5350.
- Aşıkutlu, B., Akköz, C. ve Öztürk, B. Y.**, 2014. Çavuşçu Gölü'nün (Konya/Ilgın) bazı su kalite özellikleri. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, (39): 1-9.
- Barraza-Moraga, F., Alcaayaga, H., Pizarro, A., Félez-Bernal, J. ve Urrutia, R.**, 2022. Estimation of chlorophyll-a concentrations in Lanalhue Lake using Sentinel-2 MSI satellite images. *Remote Sensing*, 14(22): 5647.
- Campbell J. B. ve Wynne R. H.**, 2011. *Introduction to remote sensing*, 5. basım, Guilford Press, New York. 667 sayfa.
- Cao, W., Zhou, Y., Li, R. ve Li, X.**, 2020. Mapping changes in coastlines and tidal flats in developing islands using the full time series of Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 239: 111665.
- Cezayirlioğlu, C., Çelik, R. ve Matcı, D. K.**, 2022. Landsat Verileri ve Makine Öğrenme Algoritmaları ile Su Yüzeyi Değişiminin Belirlenmesi Ve Tahmini; Marmara Gölü Örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(2): 43-52.
- Chen, B., Xiao, X., Li, X., Pan, L., Doughty, R., Ma, J., Dong, J., Qin, Y., Zhao, B., Wu, Z., Sun, R., Lan, G., Xie, G., Xie, G., Clinton, N. ve Giri, C.**, 2017. A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 131: 104-120.
- Colkesen, I., Ozturk, M. Y. ve Altuntas, O. Y.**, 2024. Comparative evaluation of performances of algae indices, pixel-and object-based machine learning algorithms in mapping floating algal blooms using Sentinel-2 imagery. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 38(4): 1613-1634.
- Doğan-Sağlamtimur, N. ve Sağlamtimur, B.**, 2018. Sucul Ortamlarda Ötrofikasyon Durumu ve Senaryoları. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1): 75-82.
- Erdoğan, B. U.** 2022. İçme Suyu Havzalarında Kentleşme Baskısı: Büyükçekmece Gölü Havzası'nda Arazi Kullanım Değişiminin Zamansal Analizi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2): 365-375.
- Fang, C., Song, K. S., Shang, Y. X., Ma, J. H., Wen, Z. D. ve Du, J.**, 2018. Remote sensing of harmful algal blooms variability for Lake Hulun using adjusted FAI (AFAI) algorithm. *Journal of Environmental Informatics*, 34(2): 108-122.
- Guan, B., Ning, S., Ding, X., Kang, D., Song, J. ve Yuan, H.**, 2023. Comprehensive Study of Algal Blooms Variation in Jiaozhou Bay Based on Google Earth Engine and Deep Learning. *Scientific Reports*, 13: 13930.
- Güner, S. ve Özgür, A. E.**, 2023. Eğirdir Gölü Üzerinde Yüzer Güneş Enerji Santrali Uygulanabilirliğinin Araştırılması. *Yekarum*, 8(2): 80-93.
- Hagolle, O., Sylvander, S., Huc, M., Claverie, M., Clesse, D., Dechoz, C., Lonjou, V. ve Poulain, V.**, 2015. SPOT-4 (Take 5): Simulation of Sentinel-2 time series on 45 large sites, *Remote Sensing*, 7: 12242-12264.
- He, Y., Wang, X. ve Xu, F.**, 2022. How reliable is chlorophyll-a as algae proxy in lake environments? New insights from the perspective of n-alkanes. *Science of the Total Environment*, 836: 155700.
- Hu, C.**, 2009. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. *Remote Sensing of Environment*, 113(10): 2118-2129.
- Johansen, R. A., Reif, M. K., Saltus, C. L. ve Pokrzywinski, K. L.**, 2024. A Broadscale Assessment of Sentinel-2 Imagery and the Google Earth Engine for the Nationwide Mapping of Chlorophyll a. *Sustainability*, 16(5): 2090.
- Kale, M. M. ve 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.

- Katlane, R., El Kilani, B., Dhaoui, O., Kateb, F. ve Chehata, N.,** 2023. Monitoring of sea surface temperature, chlorophyll, and turbidity in Tunisian waters from 2005 to 2020 using MODIS imagery and the Google Earth Engine. *Regional Studies in Marine Science*, 66: 103143.
- Kumar, L. ve Mutanga, O.,** 2018. Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10): 1509.
- Lahn, E.,** 2023. Bazı Türkiye Göllerinin Jeoloji ve Jeomorfolojisi Hakkında. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 1951(41): 10.
- Lobo, F. D. L., Nagel, G. W., Maciel, D. A., Carvalho, L. A. S. D., Martins, V. S., Barbosa, C. C. F. ve Novo, E. M. L. D. M.,** 2021. AlgaeMAP: Algae bloom monitoring application for inland waters in Latin America. *Remote Sensing*, 13(15): 2874.
- Mishra, S. ve Mishra, D. R.,** 2012. Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*, 117: 394-406.
- Pu, J., Song, K., Lv, Y., Liu, G., Fang, C., Hou, J. ve Wen, Z.,** 2022. Distinguishing algal blooms from aquatic vegetation in Chinese lakes using Sentinel 2 image. *Remote Sensing*, 14(9): 1988.
- Pulatsü, S.,** 2022. Göllerde Ötrofikasyona İlişkin Model Uygulamaları. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries*, 5(2): 188-198.
- Roca, M., Navarro, G., García-Sanabria, J. ve Caballero, I.,** 2022. Monitoring sand spit variability using Sentinel-2 and Google Earth Engine in a Mediterranean estuary. *Remote Sensing*, 14(10): 2345.
- Saah, D., Johnson, G., Ashmall, B., Tondapu, G., Tenneson, K., Patterson, M., Poortinga, A., Markert, K., Quyen, N. H., Aung, K. S., Schlichting, L., Matin, M., Uddin, K., Aryal, R. R., Dilger, J., Ellenburg, W. L., Flores-Anderson, A. I., Wiell, D., Lindquist, E., Goldstein, J., Clinton, N. ve Chishtie, F.,** 2019. Collect Earth: An online tool for systematic reference data collection in land cover and use applications. *Environmental Modelling & Software*, 118: 166-171.
- Sabuncu, A.,** 2020. Burdur Gölü kıyı şeridindeki değişiminin uzaktan algılama ile haritalanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4): 623-633.
- Sharma, L. K., Kumari, B. ve Gupta, S. K.,** 2015. Remote sensing strategy for the study of algal monitoring. *Algae and Environmental Sustainability*, 155-164.
- Sidhu, N., Pebesma, E. ve Câmara, G.,** 2018. Using Google Earth Engine to detect land cover change: Singapore as a use case. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1): 486-500.
- Şener, E. ve Şener, Ş.,** 2021. SPI ve CZI kuraklık indislerinin CBS tabanlı zamansal ve konumsal karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1): 41-58.
- Uddin, K., Matin, M. A. ve Meyer, F. J.,** 2019. Operational flood mapping using multi-temporal Sentinel-1 SAR images: A case study from Bangladesh. *Remote Sensing*, 11(13): 1581.
- Yağcı, M.,** 2010. Göllerde Ötrofikasyon, Kontrolü ve Planktonik Gösterge Türler. *Aquaculture Studies*, 2010(1).
- Zhu, L., Liu, X., Wu, L., Tang, Y. ve Meng, Y.,** 2019. Long-term monitoring of cropland change near Dongting Lake, China, using the LandTrendr algorithm with Landsat imagery. *Remote Sensing*, 11(10): 1234.
- Wang, L., Xu, M., Liu, Y., Liu, H., Beck, R., Reif, M., Emery, E., Young, J. ve Wu, Q.,** 2020. Mapping freshwater chlorophyll-a concentrations at a regional scale integrating multi-sensor satellite observations with Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(20): 3278.
- Wang, Q., Shi, W., Li, Z. ve Atkinson, P. M.,** (2016). Fusion of Sentinel-2 Images. *Remote Sensing of Environment*, 187: 241-252.
- Xiaona, W., Jinyan, T., Xiaojuan, L., Le, W., Huili, G., Beibei, C., Xiangcai, L. ve Jinghan, G.,** 2022. Benefits of Google Earth Engine in remote sensing. *National Remote Sensing Bulletin*, 26(2): 299-309.