

To Cite This Article: 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 (IGGE)*, 52, 122-140. <https://doi.org/10.32003/igge.1380588>

EĞİRDİR GÖLÜ ALANSAL DEĞİŞİMİNİN UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ YARDIMIYLA ANALİZİ

Analysis of the Spatial Changes in Lake Eğirdir Using Remote Sensing and Geographic Information Systems

M. Murat KALE^{ID}, Mustafa ERİŞMİŞ^{ID}

Öz

Türkiye'nin önemli tatlı su kaynaklarından biri olan Eğirdir Gölü Akdeniz Havzası'nda yaşanan küresel ısınma ve iklim değişikliğinin yanı sıra antropojenik faaliyetlerden olumsuz yönde etkilenmektedir. Eğirdir Gölü gün geçtikçe artan bir baskı ile karşı karşıyadır. Bu çalışmada, Eğirdir Gölü'ndeki alansal değişim Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak analiz edilmiştir. 1984-2022 yılları arasındaki otuz dokuz yıllık çalışma dönemi boyunca Eğirdir Gölü'ndeki alansal değişim çok zamanlı uydu görüntüleri aracılığıyla araştırılmıştır. Bu kapsamda çalışmada Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmanın temel veri seti farklı tarihlere ait kıyı çizgileridir. Veri seti uydu görüntülerinden itibaren üretilmiştir. Göl kıyı çizgisinin belirlenmesi için Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (NDWI) ve Modifiye Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (MNDWI) yöntemleri kullanılmıştır. Seçili yöntemlerle elde edilen kıyı çizgileri Pearson's R korelasyon katsayısı, Yapısal Benzerlik İndeksi (SSIM) ve Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) ile bir arada değerlendirilmiştir. Çalışma bulguları iki temel sonuca ulaşılmasını sağlamıştır. MNDWI yöntemi NDWI yöntemine göre sazlık alanların bulunduğu sahalarda daha üstün sonuç vermiş olup Eğirdir Gölü NDWI yöntemine göre %6,16 ve MNDWI yöntemine göre ise %6,71 oranlarında küçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Eğirdir Gölü, UA, CBS, NDWI, MNDWI

Abstract

Lake Eğirdir, one of the important freshwater resources of Turkey, is adversely affected by anthropogenic activities as well as global warming and climate change in the Mediterranean Basin. Lake Eğirdir is facing increasing pressure day by day. In this study, the areal change in Lake Eğirdir was analysed using Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS). During the thirty-nine years study period between 1984 and 2022, the areal change in Lake Eğirdir was investigated through multi-temporal satellite images. In this context, Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI/TIRS satellite images were used in the study. The basic data set of the study is the shorelines of different dates. The data set was generated from the satellite images. Normalised Difference Water Index (NDWI) and Modified Normalised Difference Water Index (MNDWI) methods were used to determine the lake shoreline. The shorelines obtained by the selected methods were compared with Pearson's R correlation coefficient, Structural Similarity Index (SSIM) and Root Mean Square Error (RMSE) and evaluated together. The results of the study led to two main conclusions. MNDWI method is superior to NDWI method in the areas where reeds are present and Lake Eğirdir has shrunk by 6.16% according to NDWI method and 6.71% according to MNDWI method.

Keywords: Eğirdir Lake, RS, GIS, NDWI, MNDWI

* **Sorumlu Yazar:** Doç. Dr., Çankırı Karatekin Üniversitesi, ✉ mmuratkale@gmail.com

GİRİŞ

Su kaynakları, ekosistemin tüm bileşenleri için hayati öneme sahiptir. Ancak yaşam için bu kadar kritik olan su ve suya erişim, antropojen faaliyetler, küresel ısınma ve kuraklık gibi çeşitli faktörlerin etkisiyle dünya genelinde büyük bir sorun haline gelmiştir (Akın vd., 2007; Kaplan vd., 2020). Özellikle 21. yüzyılın başından itibaren, küresel ısınma ve iklim değişikliği, dünya genelinde farklı ekosistemler üzerinde derinlemesine etkileri olan iki baskın faktör halini almıştır (Demir, 2009; McCarthy vd., 2010; Çelebi, 2021; Eroğlu, 2021). Küresel ısınma, görece yüzeyde atmosfer ve okyanuslardaki ortalama sıcaklıkların artmasına yol açarken, iklim değişikliği ise daha geniş bir spektrumda, yağış örüntülerinden deniz seviyesi değişimine kadar atmosfer ve hidrosfer özelliklerinde değişiklikler gerçekleşmesine neden olmaktadır (Karaman & Gökçalp, 2010). Şüphesiz bu durum su kaynakları üzerinde büyük bir etki yaratmakta olup su kaynaklarında doğal sürecin dışında mekânsal ve alansal değişiklikler ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Doğan & Tüzer, 2011).

Karasal ekosistemin önemli bileşenleri arasında yer alan tatlı su gölleri, hidrosferdeki tatlı su kaynaklarının %1'den daha küçük bir kısmını oluşturmaktadır (Kale, 2022). Dünya tatlı su kaynaklarının hacimsel dağılımı dikkate alındığında görece küçük bir orana sahip olmasına rağmen tatlı su gölleri, ekosistemin devamlılığı için hayati roller üstlenmişlerdir. Karasal ekosistemde canlılığın devam etmesi için anahtar bir role sahip olan tatlı su gölleri; küresel ısınma ve iklim değişikliğine bağlı olarak gün geçtikçe artan bir baskı ile karşı karşıyadır (Trenberth vd., 2009; Stocker vd., 2013; Verpoorter vd., 2014; Smith, 1991; McBean & Motiee, 2008; Yang vd., 2022; Doğrul & Alkan, 2022). Dünya genelinde küresel ısınma ve iklim değişikliğine bağlı olarak artan baskı, farklı kuşaklarda farklı şekilde etkilerini göstermektedir (Arnell, 1999; Türkeş, 2008; Karaman & Gökçalp, 2010). Türkiye'nin doğal üyesi olduğu Doğu Akdeniz Havzası ise baskının en şiddetli gerçekleştiği, orta ve uzun vadede farklı suya erişim sorunları ile karşılaşılması muhtemel yerler arasında ön planda bulunmaktadır (Bahadır, 2013; Kaya & Kaplan, 2021; Taş & Akpınar, 2021).

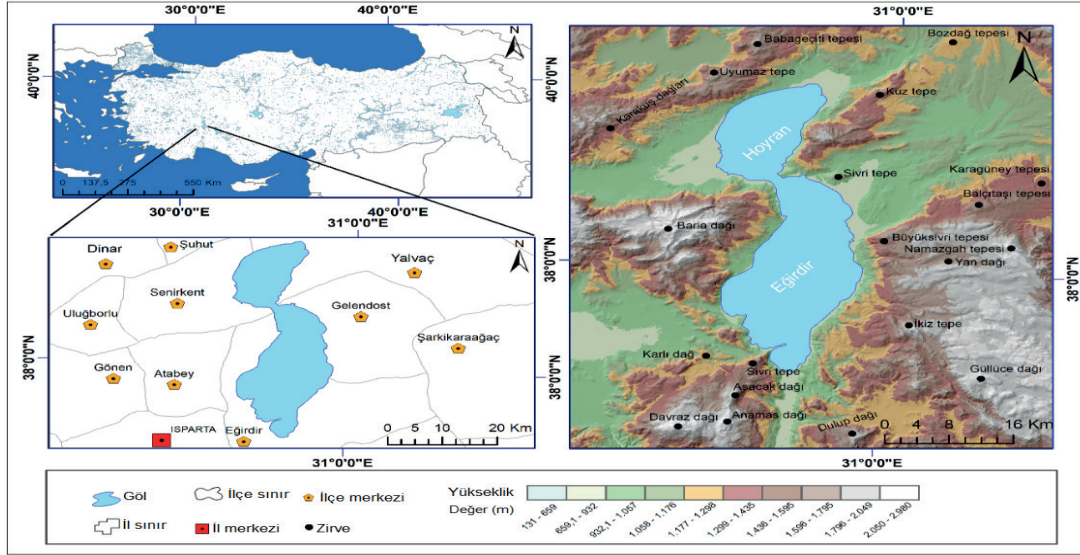
Su kaynakları ve kuraklık arasındaki ilişki, çevresel faktörler ve insan aktiviteleri gibi bir dizi değişkene bağlı, oldukça karmaşık ve dinamik bir yapıya sahiptir. Küresel iklim değişikliği, bu ilişkinin karmaşıklığını ve dinamikliğini daha da arttırmaktadır (Turan, 2018). Bu durum dünya genelinde su kütlelerindeki değişikliklerinin incelenmesine yönelik yapılan çalışmaların giderek artan bir şekilde ön plana çıkmasına neden olmaktadır. Bu çerçevede, uydu verilerini kullanarak mevcut su kaynaklarındaki alansal değişimleri tespit etmek, Uzaktan Algılama (UA)'nın kritik bir bileşeni haline gelmiştir (Karabulut, 2015; Das, 2017). Son zamanlarda çeşitli UA teknolojileri kökenli veri setleri, su kütlesinin tespitinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (McFeeters, 2013; Bahadır, 2013; Singh vd., 2015; Çiçekli, & Özkan, 2016; Kale, 2018; Sabuncu, 2020). Bu teknolojiler arasında MSS, TM ve ETM+ görüntülerini sağlayan Landsat serisi uydulardan itibaren üretilen veri setleri ise yaygın olarak kullanılmaktadır (Du vd., 2012; Feyisa vd., 2014; Masocha vd., 2018; Taş & Akpınar, 2021).

Bu çalışmaya konu olan Eğirdir Gölü, Doğu Akdeniz Havzası'ndaki önemli tatlı su kaynakları arasında yer almaktadır. Aynı zamanda Türkiye'nin en büyük tatlı su göllerinden biri olan Eğirdir Gölü içinde bulunduğumuz dönemde farklı çevre sorunları ile karşı karşıya olup (Kesici vd., 2006; Serin vd., 2008) bu sorunların başında gölde gerçekleşen seviye değişimi gelmektedir (Keskin vd., 2017; Aktaş vd., 2018; Aksoy, 2019). Bu çalışmada, Eğirdir Gölü'ndeki su kütlesine ait alansal değişim araştırılmış ve 1984-2022 yılları arasındaki otuz dokuz yıllık dönem boyunca gerçekleşen değişimin nümerik olarak ortaya çıkartılması amaçlanmıştır.

ÇALIŞMA SAHASI

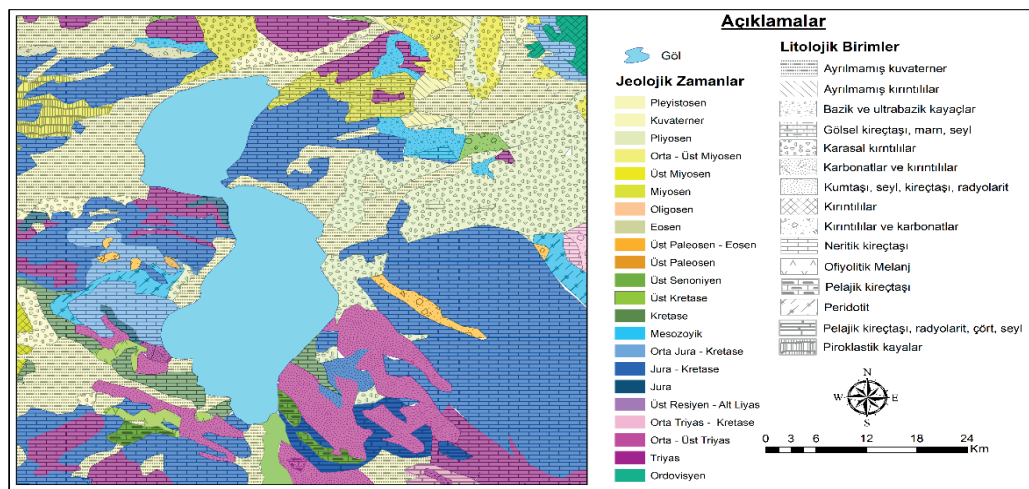
Eğirdir Gölü, Türkiye'nin Batı Akdeniz bölgesinde, Isparta iline bağlı Eğirdir, Senirkent, Yalvaç ve Gelendost ilçeleri arasında yer alır (Şekil 1). Göl 35° 37' 41" K – 38° 16' 55" K enlemleri ile 30° 44' 39" D – 30° 57' 43" D boylamları arasındadır. Eğirdir Gölü deniz seviyesinden 917,7 m yükseklikte olup K-G eksenini boyunca uzanan geniş bir çöküntü alanında toplanan sular tarafından oluşturulmuştur (Şekil 1). Faylarla örüntülü sahada, yer yer dik kayalıklarla çevrili göl çanağı düz ve görece sığ bir tabana sahiptir (Yağmurlu vd., 1997; Karaman, 2011). Göl kabaca Karakuş Dağları ve Davraz Dağı arasında yer alan geniş çöküntü alanında uzanır. Bu çöküntü alanı batıda Barla Dağı (2.798 m), kuzeyde Karakuş Dağları (1.593 m) ve güneyde Davraz Dağı (2.637 m) ile çevrelenmiş durumdadır (Şekil 1). Gölün K-G doğrultusundaki uzunluğu 48 km olup kıyı uzunluğu 150 km'dir. Eğirdir Gölü'nün D-B aksında en geniş yeri 16 km'ye kadar ulaşmaktadır (Kesici vd., 2006; Özçelik, 2017).

Eğirdir Gölü, değişkenlik göstermekle birlikte 482 km² yüzey alanına ve 3.309 km² beslenme alanına sahiptir. Göl su bütçesindeki en önemli gelir kalemleri yer üstü ve yer altı suyu kökenlidir. Eğirdir Gölü doğrudan yağışın yanı sıra yer altı suyu ile birlikte Pupa, Hoyran ve Gelendost akarsularından itibaren beslenmektedir (Tağlı & Alevkayalı, 2014; Davraz vd; 2016). Gideğeni olan Eğirdir Gölü, Boğazova'yı takip ederek Kovada Gölü'ne fazla suyunu boşaltmaktadır. Bu boğazın uzunluğu 16 km, genişliği ise 2,5 km'dir (Kantarıcı, 2008). Doğal gideğenin yanı sıra göl su bütçesindeki en önemli gider kalemleri Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından sulama amaçlı işletilen pompa istasyonları ve yaz aylarındaki yoğun buharlaşmaya bağlı gelişen kayıplardır (Keskin vd., 2017). Coğrafi olarak Eğirdir Gölü Kemer Boğaz'ın kuzeyinde yer alan Hoyran ve güneyinde bulunan Eğirdir bölümleri olmak üzere iki ana kısma ayrılmaktadır (Şener, vd., 2010).



Şekil 1: Çalışma Sahası Lokasyon Haritası

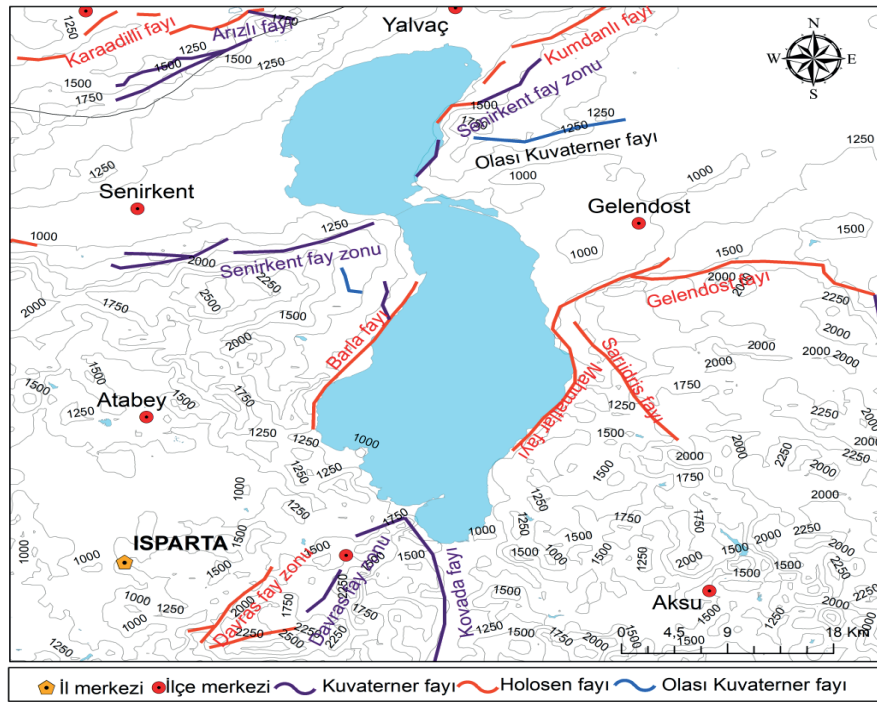
Eğirdir Gölü'nün oluşumunda, tektonik aktivite ile birlikte plüvyal (yağışlı) dönemlerde gerçekleşmiş olan karstik süreçler önemli bir yere sahiptir (Karabacak & Pınar, 2018). Karaman (2010), Erken Miyosen dönemde sahada meydana gelen tektonik aktivite sonucunda Eğirdir Gölü'nün bulunduğu sahanın çöktüğünü ifade ederek Mio-Pliyosen dönemde söz konusu çöküntü alanının tektonik kökenli bir göl haline geldiğini ifade etmektedir.



Şekil 2: Çalışma Sahasındaki Litolojik Birimler ve Yaşları (MTA Jeoloji Haritası İlgili Paftalarından İtibaren Çizilmiştir)

Alagöz, (1944) ve İnandık, (1965) göl çanağının bulunduğu sahadaki yağışların kireçtaşı gibi çözünebilir kayaları aşındırması ve bu aşındırmalar sonucu oluşan yatağın su ile dolmasıyla Eğirdir gölünün şekillendiğini açıklamaktadır. Eğirdir Gölü çevresindeki litolojik birimler ve yaşları Şekil 2'de verilmiştir. Eğirdir Gölü çevresi litolojik açıdan çeşitlilik sergilemektedir. Sahadaki en yaşlı birimler Ordovisyen yaşlı olup Mesozoyik döneme ait ofiyolitler ve kireçtaşları sahada geniş alan kaplamaktadır (Şekil 2). Tersiyer döneme ait Aksu formasyonu ve Jura-Kretase dönemine ait Beydağları formasyonu, otokton birimler olarak sahada yer alırken, Dulup kireçtaşı, Kovada dolomiti, Keçili formasyonu ve Kırdirek formasyonu sahadaki allohton birimler olarak sınıflandırılmaktadır (Özçelik, 2017). Tüm bu birimler, Kuvaterner döneme ait alüvyonlar tarafından uyumsuz bir şekilde örtülmektedir (Özçelik, 2017).

Eğirdir Gölü'nün tektonik oluşumu incelendiğinde; bölgedeki sıkışmalı tektonizmanın etkisinin, bir başka ifade ile bindirmeli yapıların oldukça belirgin olduğu anlaşılır (Kahraman vd., 1998; Karaman, 2011). Bu nedenle, bölgedeki tüm birimler tektonik dilimlerde görünür. Neotektonik dönemde, bölgede açılma tektonizmasının etkileri daha belirgin hale gelmiştir (Karaman, 2012; Şener, 2014). Bu dönemde sahada normal faylar gelişim sürecine girmiştir. Bu faylarla ilişkili olarak gelişen çöküntü (graben) alanlarının belirli bölgelerinde Eğirdir Gölü çanağı yayılım göstermektedir (Tekkanat, 2011). Gölün Eğirdir bölümü, doğuda Mahmatlar Fayı ve batıda Barla Fayı ile çevrili konumdadır (Şekil 3). Barla fayı; Eğirdir Gölü'nün batı sınırında yaklaşık 20 km uzunluğunda, doğuya doğru eğimli ve az miktarda sağ bileşene sahip normal faydır (Gürboğa vd., 2019). Mahmatlar Fayı, Mahmatlar köyünün kuzeyinde ve göl kıyı çizgisinin yakınında bulunur (Koçyiğit vd., 1997). Fay, yaklaşık 14 km uzunlukta ve 70°-75° eğimlidir (Gürboğa vd., 2019). Sahada yer alan bir diğer önemli fay olan Kovada Fayı, Eğirdir Gölü'nün en güney kesiminde yer almakta olup yaklaşık 30 km uzunluğundadır (Gürboğa vd., 2017). Bu fay, kuzey-güney ve kuzeybatı-güneydoğu yönlerinde uzanan aktif normal faylardan oluşmuştur. Bu faylar, batı-doğu eksenli boyunca yer alan yan faylar tarafından kesilmiştir (Bahadır, 2013). Eğirdir Gölü'nün batısında yer alıp gölün doğusuna kadar devam eden Senirkent Fay Zonu ise Kumdanlı-Uluborlu arasında uzanan yaklaşık 43 km uzunluğa sahip ve sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak sahada yer almaktadır (Esen, 2019). Söz konusu fay gölün en dar kısmının gelişimini kontrol etmekte olup Hoyran ve Eğirdir bölümleri arasındaki sınırı oluşturmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3: Çalışma Sahasındaki Faylar (MTA Diri Fay haritası ilgili paftalarından itibaren çizilmiştir)

Eğirdir Gölü'nün bulunduğu alan, Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre yarı kurak-nemli arası bir iklim olarak tanımlanmaktadır (Dursun & Yazıcı, 2022; Keskin & Baydar, 2016). Çalışma sahasında yer alan Eğirdir Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGİ) 1970-2021 dönemine ait sıcaklık değerleri (°C) Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Eğirdir MGİ Sıcaklık Değerleri

	Ortalama sıcaklık (°C)	En düşük sıcaklık (°C)	En yüksek Sıcaklık (°C)
Ocak	2,1	-14,7	15,8
Şubat	3,2	-14,9	20,4
Mart	6,6	-14,2	26,3
Nisan	11	-5	28,2
Mayıs	15,8	1,7	34,2
Haziran	20,3	5,5	36
Temmuz	23,7	8,9	38,6
Ağustos	23,4	8,2	37,5
Eylül	19,3	2,5	36
Ekim	13,8	-2,3	29,9
Kasım	8	-9	23,9
Aralık	4,1	-12	20,2

Eğirdir MGİ veri setine incelendiğinde ortalama sıcaklığın temmuz ayında 23,7 °C ile en yüksek ve ocak ayında 2,1°C ile en düşük seviyede gerçekleştiği anlaşılmaktadır (Tablo 1). Çalışma sahasındaki en düşük sıcaklık şubat ayında - 14,9 °C olarak ölçülmüştür. En yüksek sıcaklık değerlerinin temmuz ve haziran aylarında sırasıyla 38,6 °C ve 36,0 °C olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Çalışma sahasına ait yağış miktarı (mm) Tablo 2'de verilmiştir. Eğirdir MGİ uzun dönem rasat verilerine göre istasyondaki yağış miktarı 793,8 mm' dir. Ortalama yağış miktarı aralık, ocak, şubat ve mart aylarında görece daha yüksekken; haziran, temmuz ve ağustos aylarında oldukça düşük seviyede ölçülmüştür. Bu durum bölgenin kış ve ilkbahar aylarında daha yağışlı, yaz aylarında ise genellikle düşük oranda yağış aldığı göstermektedir. Özellikle temmuz ayında yağış miktarının sıfıra ulaştığı tespit edilmiştir. Kış ve ilkbahar ayları en yüksek yağış miktarlarının kaydedildiği aylar olma özelliği taşır. Uzun dönem rasat verilerine göre ocak, en yüksek yağış miktarının (560,7 mm) kaydedildiği aydır (Tablo 2).

Tablo 2: Eğirdir MGİ Aylık Yağış Miktarı Değerleri

	Ortalama yağış (mm)	En düşük yağış (mm)	En yüksek yağış (mm)
Ocak	138,1	0,8	560,7
Şubat	110,3	9,6	250,5
Mart	85,1	10,8	238,4
Nisan	76,6	9,8	188,9
Mayıs	53,4	1,4	163,2
Haziran	28	0,7	94,2
Temmuz	9,6	0	38,2
Ağustos	10,1	0,5	31,5
Eylül	19,1	0,3	91
Ekim	53,9	0,4	167,1
Kasım	78,1	0,8	210
Aralık	132,1	2,8	354,8

MATERYAL VE YÖNTEM

Eğirdir Gölü'ndeki alansal değişimin Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak analiz edilmesinin amaçlandığı bu çalışmada, farklı tarihlere ait uydu görüntüleri çalışmanın temel veri setini oluşturmaktadır. 1984 tarihli uydu görüntüsü çalışma kapsamında ulaşılan en eski tarihli uydu görüntüsü olarak çalışmanın alt sınırını; 2022 tarihli uydu görüntüsü ise ulaşılabilen en güncel tarihli uydu görüntüsü olarak çalışmanın üst sınırını oluşturmaktadır.

Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait temel bilgiler Tablo 3'te verilmiştir. Alansal değişimin analizi için Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. Görüntüler, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırma Kurumu (USGS) veri tabanından ücretsiz olarak temin edilmiştir. Bu çalışmada uydu görüntülerinin seçiminde iki temel kistas dikkate alınmıştır. Bunlar bulutluluk oranı ve görüntü tarihlerinin birbirine yakınlığıdır. Yüksek bulutluluk oranı, elde edilen görüntünün kullanılabilirliğini olumsuz etkilemektedir (Gündoğdu & Bantchina; 2018). Bu bağlamda, kullanılan veri setinde bulutluluk oranının %5'den küçük olmasına ve bulutluluk olması halinde ise bulut kütlelerinin kıyı çizgisi yakınlarında olmamasına dikkat edilmiştir. Ayrıca sahanın genel klimatolojik özellikleri dikkate alınarak kurak dönemi yansıması açısından temmuz ayı görüntü seçiminde referans alınmıştır.

Tablo 3: Çalışmada Kullanılan Uydu Görüntülerine Ait Temel Veriler

Görüntü kaynağı	Görüntü tarihi	Görüntü çözünürlüğü (m)	Görüntü bulutluluk oranı (%)	Kullanılan bantlar
LANDSAT 5 TM	16.07.1984	30	0,00	2-4-5
LANDSAT 5 TM	28.07.1994	30	0,00	2-4-5
LANDSAT 5 TM	28.07.1994	30	0,00	2-4-5
LANDSAT 5 TM	23.07.2004	30	1,00	2-4-5
LANDSAT 5 TM	23.07.2004	30	0,00	2-4-5
LANDSAT 8 OLI/TIRS	3.07.2014	30	0,01	3-5-6
LANDSAT 8 OLI/TIRS	3.07.2014	30	0,84	3-5-6
LANDSAT 8 OLI/TIRS	25.07.2022	30	0,02	3-5-6
LANDSAT 8 OLI/TIRS	25.07.2022	30	0,56	3-5-6

Çalışmada kullanılmasına karar verilen ham uydu görüntüleri öncelikli olarak atmosfer etkileri ve yansıma kökenli hatalarının önüne geçilmesi temel amaçları ile radyometrik düzeltme işlemine tabi tutulmuştur. Eş zamanlı olarak sistematik ve sistematik olmayan geometrik hataların önüne geçilmesi için geometrik düzeltmeler tamamlanmıştır. Bu çalışmada uydu görüntülerindeki radyometrik düzeltmeler Erdas Imagine yazılımı ilgili modülleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma genelinde veri setinin analiz ve işlenmesi için ArcGIS programı 10.8 sürümü ve ilgili modülleri kullanılmıştır. Alansal değişimin belirlenmesinde Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index – NDWI) ve Modifiye edilmiş Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (Modified Normalized Difference Water Index – MNDWI) kullanılmıştır. Elde edilen NDWI ve MNDWI görüntülerinin kontrast ve spektral özelliklerinin yanı sıra, yapısal bozulmalarını belirlemek amacıyla, Pearson Korelasyon Katsayısı (PCC) ve Yapısal Benzerlik İndeksi'nden (SSIM) faydalanılarak her iki yöntemle ait bulgular birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ek olarak çalışmada, RMSE kullanılarak NDWI ve MNDWI yöntemleri ile oluşturulan görüntülerin Landsat görüntülerine olan uyumluluğu test edilmiştir.

Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (NDWI)

Su, gelen enerjiyi yoğun olarak absorbe ederek, özellikle kırmızı ve yakın kızılötesi dalga boylarında düşük yansıma eğilimi sergilemektedir (Cho vd., 2008). Bu özellik, enerji azaldıkça (yani dalga boyu arttıkça) suyun yansımasının daha da zayıflamasına neden olmaktadır (Zhou vd., 2015). Bu durum, su ve bitki örtüsü arasındaki farkı belirlemek için kullanılan NDWI metodu için temel bir öneme sahiptir. NDWI yöntemi, su molekülleri ve bitki örtüsünün yakın kızılötesi ışıkta gösterdiği emilim ve yansıma özelliklerine dayanır (Gautam vd., 2015). Yöntem, 1996 yılında McFeeters tarafından geliştirilmiştir (Wicaksono,

2019). NDWI metodunda su kütlesi ile kaplı alanlar sıfırdan büyük değerlere sahipken, bitki örtüsü ve yapılaşmış alanlar negatif değerlere sahiptir (Ali vd., 2019).

NDWI değeri [1] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)} \quad [1]$$

Burada NDWI; Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi olmak üzere, Green: Yeşil bant ve NIR, yakın kızılötesi bandı temsil etmektedir (Zhou vd., 2015). Bu çalışmada NDWI kullanılarak farklı tarihlerdeki uydu görüntülerinden itibaren Eğirdir Gölü su kütlesi'nin alansal büyüklüğü ortaya çıkartılmıştır.

Modifiye Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (MNDWI)

NDWI su kütlelerinin haritalanmasında kullanılan bir indekstir. Yapılaşmaya açılmış, yapılaşmanın gerçekleştiği saha ve su kütlelerinin spektral karışıklığı, su özelliklerinin NDWI ile tamamen doğru bir şekilde çıkarılmasını zorlaştırabilmektedir (Guo vd., 2017). Bu yapılaşmanın gerçekleştiği arazilerin NDWI kullanılarak türetilmiş görüntülerinde pozitif değerlere sahip olabileceği anlamına gelmektedir (Ali vd., 2019). Bu sorunu çözmek için Xu (2006), NDWI indeksini geliştirerek Modifiye Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (MNDWI)'ni ortaya çıkartmıştır. Bu indeks - 1 ile +1 arasında değişkenlik göstermekle birlikte yapılaşmış arazilerin yansması ile suyun yansması arasındaki farkı vurgular (Xu, 2006; Singh vd., 2015). MNDWI indeksinde su özellikleri pozitif değerlere sahiptir ve bitki örtüsü ve toprak özellikleri genellikle sıfıra ya da negatif değerlere yakınsamaktadır. MNDWI değeri [2] numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$MNDWI = \frac{(GREEN - SWIR)}{(GREEN + SWIR)} \quad [2]$$

Burada MNDWI; Modifiye Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi olmak üzere, GREEN: Yeşil bant ve SWIR: Kısa dalga boylu kızılötesi bandı temsil etmektedir (Xu, 2006).

Bu çalışmada MNDWI kullanılarak farklı tarihlerdeki uydu görüntülerinden itibaren Eğirdir Gölü su kütlesi alansal büyüklüğü ortaya çıkartılmıştır.

Yapı Benzerlik İndeksi (SSIM)

Yapı Benzerlik İndeksi (SSIM), iki görüntü arasındaki farkları (aydınlatma, kontrast ve yapı) ölçerek iki görüntü arasındaki benzerlik durumunu belirlemek için kullanılmaktadır (Yang & Jiang, 2011). SSIM, temel olarak görüntülerin niteliklerine odaklanmaktadır (Kahveci, 2020). Parlaklık, görüntülerin genel aydınlatma düzeyini karşılaştırırken, kontrast görüntülerin parlaklık değerlerinin yayılımını karşılaştırmaktadır (Brooks, 2008). Yapı ise, piksellerin birbirleri ile olan konumları ve ilişkileri üzerinden görüntülerin yapısal benzerliğini değerlendirmektedir (Kumar vd., 2013). Bu üç ölçüm, genel SSIM skorunu oluşturmak için birleştirilir. SSIM indeksinin bire eşit olması, iki görüntü arasında ideal bir uyum olduğunu gösterirken, birden düşük bir SSIM indeksi iki görüntü arasında farklılık olduğunu göstermektedir (Wang vd., 2004; Peng vd., 2020).

SSIM indeksinin üç bileşeni; parlaklık (l), kontrast (c) ve yapı (s) sırasıyla [3], [4] ve [5] numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanır.

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1} \quad [3]$$

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1} \quad [4]$$

$$s(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_3}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_3} \quad [5]$$

Bu denklemlerde σ ve μ ilgili görüntünün standart sapması ve ortalamasını, σ_{xy} ise iki görüntünün kovaryansını göstermektedir (Gölebatmaz, 2021).

SSIM benzerlik indeksi eşitlik [6] kullanılarak hesaplanır.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad [6]$$

Burada x , y karşılaştırılan görüntüler, denklemde bulunan μ_x ve μ_y sırasıyla x ve y 'nin ortalamasını, σ_x ve σ_y , x ve y 'nin standart sapmasını ve σ_{xy} x ve y arasındaki kovaryansı temsil etmektedir (Ciflikli & Aba, 2019; Kahveci, 2020).

Bu çalışmada SSMI indisi kullanılarak NDWI ve MNDWI sonuçları arasındaki benzerlik araştırılmıştır.

Pearson's Korelasyon Katsayısı (PCC)

1895'te Karl Pearson, Pearson Korelasyon Katsayısı'nı (PCC) tanımlamıştır. Pearson'ın bu yöntemi, genellikle istatistiksel analizler, desen tanıma ve görüntü işleme gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Neto vd., 2013; Erener & Sarp, 2017; Çakaroz vd., 2020). PCC, iki görüntü arasındaki doğrusal bağlantının yoğunluğunu ve yönünü belirleyen bir istatistiksel gösterge olarak kabul edilmektedir (Sarp & Ozcelik, 2017). İki görüntü arasındaki PCC değerinin hesaplanması [7] numaralı eşitlik kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$r_1 = \frac{\sum_i (x_i - x_m)(y_i - y_m)}{\sqrt{\sum_i (x_i - x_m)^2} \sqrt{\sum_i (y_i - y_m)^2}} \quad [7]$$

Burada x birinci görüntüyü ve y ikinci görüntüyü temsil ederken i piksel değerini ve m görüntülerin ortalama yoğunluğunu ifade etmektedir (Neto vd., 2013).

Bu çalışmada Pearson korelasyon katsayısı NDWI ve MNDWI arasındaki benzerlik oranını test etmek için kullanılmıştır.

Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE)

Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE), meteoroloji, hava kalitesi, iklim araştırma, görüntü analiz vb. farklı çalışmalarda model performansını ölçmek için standart bir istatistiksel yöntem olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Chai, & Draxler, 2014). RMSE, gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasının karekökünü olarak tanımlanır ve RMSE değeri ne kadar düşük olursa, modelin o kadar doğru olduğu kabul edilir (Willmott & Matsuura, 2005; Chai & Draxler, 2014). RMSE [8] numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad [8]$$

Burada, $X_{obs,i}$, i 'nci gözlem noktasında elde edilen gerçek değerleri temsil ederken, $X_{model,i}$ ise bu i 'nci konumdaki tahmin edilen değerleri ifade eder (Sarp & Ozcelik 2017).

Bu çalışmada, RMSE kullanılarak NDWI ve MNDWI görüntülerinin Landsat görüntülerine olan uyumu araştırılmıştır.

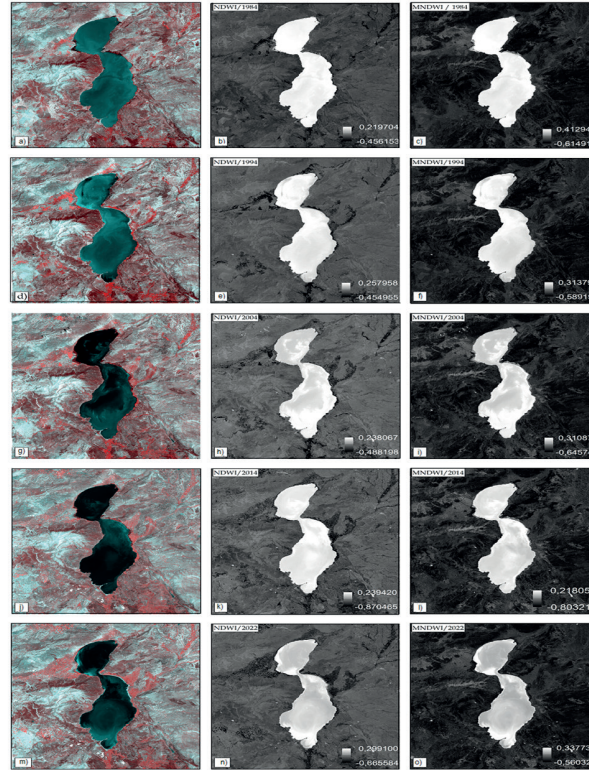
BULGULAR

Bu çalışmada, Eğirdir Gölü'ndeki su kütlesine ait alansal büyüklük, NDWI ve MNDWI yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. NDWI ve MNDWI yöntemleri kullanılarak elde edilen su kütlelerine ait haritalar Şekil 4'te verilmiştir. Otuz dokuz yıllık çalışma dönemi boyunca Eğirdir Gölü için hesaplanan alansal büyüklükler ve meydana gelen değişimler ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Eğirdir Gölü Alansal Büyüklüğü ve Değişimler

	1984	1994	2004	2014	2022
NDWI (km ²)	470,14	453,09	455,80	453,36	441,15
MNDWI (km ²)	475,25	454,33	458,94	452,20	443,38
NDWI Değişim (km ²)	-	-17,05	2,71	-2,44	-12,21
MNDWI Değişim (km ²)	-	-20,92	4,61	-6,74	-8,82
NDWI Değişim (%)	-	-3,63	0,6	-0,53	-2,69
MNDWI Değişim (%)	-	-4,40	1,01	-1,46	-1,95

NDWI yöntemi kullanılarak elde edilen çalışma bulgularına göre 1984, 1994, 2004, 2014 ve 2022 yıllarında göldeki su kütlesinin alansal olarak sırasıyla 470,14 km², 453,09 km², 455,80 km², 453,36 km² ve 441,15 km² büyüklüğünde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4). Göl yüzey alanı en geniş sınırına 1984 yılında, en küçük sınırına ise 2022 yılında ulaşmıştır. Tespit edilen en büyük ve en küçük göl sınırları arasında 28,99 km² fark bulunmaktadır. Bir başka ifade ile 1984-2022 yılları arasındaki otuz dokuz yıllık çalışma dönemi sonunda göl yüzey alanında 28,99 km² alansal kayıp gerçekleştiği tespit edilmiştir. Söz konusu kayıp, dönem sonunda gölün alansal olarak %6,17 oranında küçüldüğünü göstermektedir. Dönem boyunca sürekli olarak alansal küçülmenin gerçekleşmediği, 2004 yılında göldeki su kütlesinin 1994 yılına göre %0,6 oranında artış sergilediği tespit edilmiştir. Çalışma bulguları göl yüzey alanında 1984-1994 döneminde 17,05 km² azalma, 1994-2004 döneminde 2,71 km² artış, 2004-2014 döneminde 2,44 km² azalma ve 2014-2022 döneminde 12,21 km² azalma gerçekleştiğini göstermektedir. En yüksek alansal değişimlerin 1984-1994 ve 2014-2022 dönemlerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4: (a, d, g, j, m) Orijinal Landsat Uydu Görüntüsü, (b, e, h, k, n) NDWI ile Üretilen Göl Alanı ve (c, f, i, l, o) MNDWI ile Üretilen Göl Alanı

MNDWI yöntemi kullanılarak elde edilen çalışma bulgularına göre 1984, 1994, 2004, 2014 ve 2022 yıllarında göldeki su kütlesinin alansal olarak sırasıyla 475,25 km², 454,33 km², 458,94 km², 452,20 km² ve 443,38 km² yüzey alanına sahip olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4). Göl yüzey alanı en geniş sınırına 1984 yılında, en küçük sınırına ise 2022 yılında ulaşmıştır. Tespit edilen en büyük ve en küçük göl sınırları arasında 31,87 km² fark bulunmaktadır. Bir başka ifade ile otuz dokuz yıllık çalışma dönemi sonunda göl yüzey alanında 31,87 km² alansal kayıp gerçekleştiği tespit edilmiştir. Söz konusu kayıp dönem sonunda gölün alansal olarak %6,71 oranında küçüldüğünü göstermektedir. Dönem boyunca sürekli olarak alansal küçülmenin gerçekleşmediği, 2004 yılında göldeki su kütlesinin 1994 yılına göre %1,1 oranında artış sergilediği tespit edilmiştir. Çalışma bulguları göl yüzey alanında 1984-1994 döneminde 20,92 km² azalma, 1994-2004 döneminde 4,61 km² artış, 2004-2014 döneminde 6,74 km² azalma ve 2014-2022 döneminde 8,82 km² azalma gerçekleştiğini göstermektedir. En yüksek alansal değişimlerin 1984-1994 ve 2014-2022 dönemlerinde gerçekleştiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada NDWI ve MNDWI spektral su indeksleri arasındaki yapısal benzerlik SSIM ve PCC kullanılarak araştırılmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: PCC ve SSIM Değerlerinin Yıllara Göre Değişimi

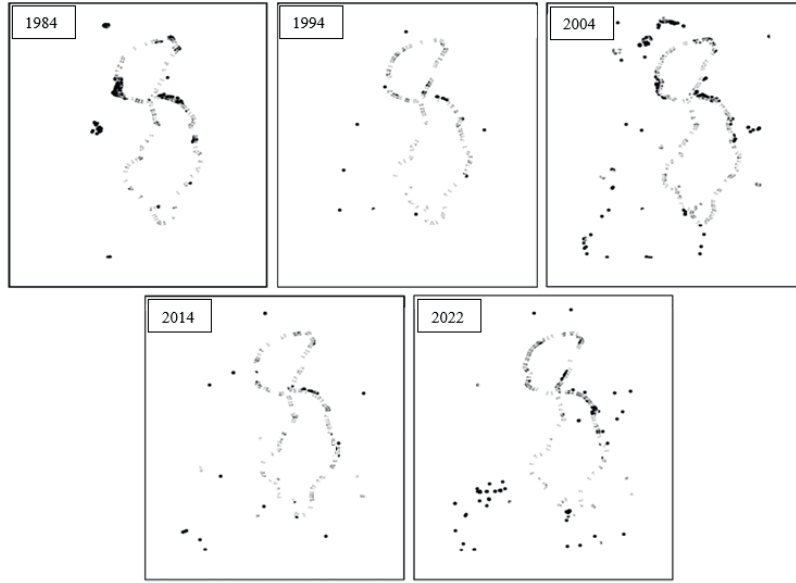
	PCC	SSIM
1984	0,9924	0,9905
1994	0,9974	0,9948
2004	0,9950	0,9915
2014	0,9972	0,9940
2022	0,9958	0,9930

İndekslerin spektral kaliteleri, Tablo 5'te gösterildiği gibi PCC ölçülmüştür. İndeksler arasındaki en iyi korelasyon, en yüksek PCC değerini göstermektedir. En yüksek PCC değerlerinin sırasıyla 0,9974, 0,9972 ve 0,9958 olarak 1994, 2014 ve 2022 yıllarına ait olduğu tespit edilmiştir. Çalışma bulgularına göre NDWI ve MNDWI arasındaki korelasyon değerleri sürekli olarak 0,99'un üzerindedir. Bire oldukça yakın olan değerler NDWI ve MNDWI yöntemleri ile elde edilen su kütleleri arasında büyük bir benzerlik olduğunu fakat nümerik olarak farklı alansal değerlere ulaşılması gerektiğini ifade etmektedir. Bu durum hesaplamalar sonucu elde edilen su kütlesi büyüklükleri ile uyumludur. Aynı zamanda bu durum her iki yöntemle elde edilen su kütleleri arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğunu ifade etmektedir. Çalışma bulguları arasında yer alan pozitif korelasyon, alansal değişimlerle uyum göstermektedir.

Elde edilen SSIM değerleri, PCC korelasyon değerlerine benzer şekilde bire yakınsamaktadır. SSIM değerinin bire yakınsaması yüksek benzerliğin bir göstergesidir (Dosselmann & Yang, 2011). NDWI ve MNDWI indekslerin SSIM değerlerinin 0,99'dan yüksek olması uygulanan su indeksleri arasında yüksek benzerlik olduğunu göstermesi açısından önemlidir. En yüksek SSIM oranı 1994 yılında 0,9948 olarak tespit edilmiştir (Tablo 5). En düşük SSIM oranı ise 1984 yılında 0,9905 olarak belirlenmiştir (Tablo 5).

Sonuç olarak hem PCC korelasyon katsayıları hem de SSIM değerleri, NDWI ve MNDWI spektral su indeksleri arasında beklendiği şekilde güçlü bir ilişki ve yapısal benzerlik olduğunu işaret etmektedir.

NDWI ve MNDWI spektral su indeksleri arasındaki farkı gösteren SSIM haritaları Şekil 5'te verilmiştir. Yapısal benzerlik haritalarında siyah renkli olan pikseller NDWI ve MNDWI arasındaki farklılığın en üst düzeyde olduğu alanları ifade etmektedir. Farklılıklarda 1984, 2004 ve 2022 yılları belirgin şekilde öne çıkmaktadır. 1984 yılında, NDWI ve MNDWI arasında maksimum farkın belirlendiği alanlarda, kıyıda yoğun sazlık alan varlığı tespit edilmiştir. Benzer durum 2004 ve 2022 yıllarında da tespit edilmiş olup maksimum farkın ortaya çıktığı yerlerde yoğun sazlık alan varlığı saptanmıştır.



Şekil 5: Yıllara Göre SSIM Haritaları

RMSE değerlerini hesaplamak için orijinal Landsat uydu görüntüleri ile birlikte NDWI ve MNDWI yöntemleri ile elde edilen görüntüler kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen RMSE değerleri Tablo 6'da verilmiştir. MNDWI için elde edilen RMSE değerlerinin, NDWI metoduna kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. NDWI için RMSE 16,08 ile 21,90 değerleri arasında değişmektedir. MNDWI için RMSE 15,06 ile 20,33 değerleri arasında değişmektedir. NDWI ve MNDWI değerlerinin referans görüntüye en yakın değer aldığı yıllar ise 1994 ve 2014 yılı olarak saptanmıştır. Söz konusu yıllar aynı zamanda her iki yöntemle elde edilen su kütlelerinin alansal büyüklükleri arasındaki farkın en düşük olduğu ve yapısal benzerliğin en yüksek olduğu yıllara denk gelmektedir. Bu durum MNDWI yöntemi ile elde edilen su kütlelerinin sazlık alanlarda NDWI'ye göre daha üstün olduğu bulgusunu desteklemektedir.

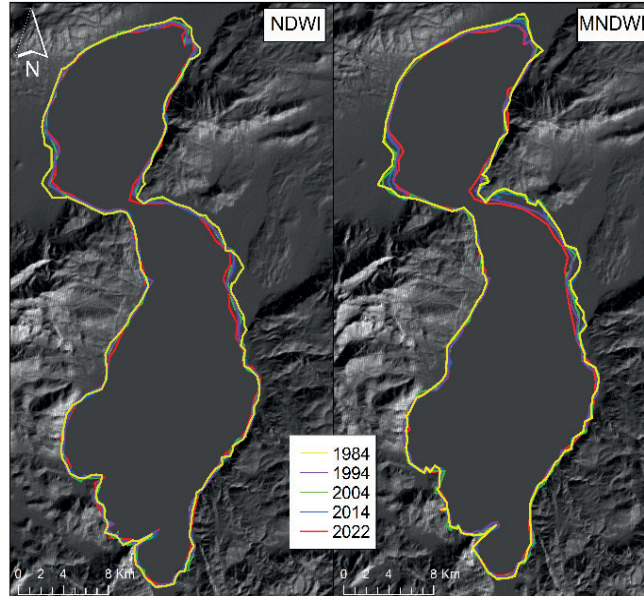
Tablo 6: NDWI ve MNDWI için RMSE Değerleri

	NDWI	MNDWI
1984	19,66	18,17
1994	16,08	15,06
2004	21,90	20,33
2014	19,95	18,33
2022	20,39	19,28

TARTIŞMA VE SONUÇ

Eğirdir Gölü'ndeki alansal değişimin Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak analiz edildiği bu çalışmada elde edilen bulgular değerlendirildiğinde iki temel sonuca ulaşılmaktadır.

Bunlardan ilki seçili yöntemler ile ilgili olup, MNDWI yöntemi NDWI yöntemine göre çalışma sahasında daha iyi sonuç vermiştir. MNDWI yöntemi litoral zonun doğal üyesi olan sazlık alanları su kütlelerine dâhil ederek göl alanının daha gerçekçi belirlenmesi yönünde üstünlük sağlamıştır. Bu çalışmada NDWI ve MNDWI yöntemleri kullanılarak elde edilen su kütlelerine ait sınırlar Şekil 6'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 6: NDWI ve MNDWI Yöntemlerine Göre Eğirdir Gölü'ndeki Alansal Değişim

Çalışma bulguları ile ulaşılan bir diğer sonuç ise otuz dokuz yıllık çalışma dönemi sonunda Eğirdir Gölü yüzey alanında küçülme gerçekleşmiş olmasıdır. 1994-2004 dönemi dışında, araştırılan tüm dönemler boyunca göl çanağındaki su kütlesi alansal olarak kayba uğramıştır. Çalışma dönemi sonunda NDWI yöntemine göre 28,99 km², MNDWI yöntemine göre ise 31,87 km² alansal kayıp gerçekleştiği tespit edilmiştir.

PCC ve SSIM ile yapılan değerlendirmeler, bu çalışmada su kütlesinin sınırlarının tayini için kullanılan yöntemlerin yüksek derecede benzerlik sergilediğini ve bununla birlikte sınırların nümerik olarak fark taşıması gerektiğini işaret etmiştir. Ayrıca elde edilen bulguların Kanbur vd. (2010), Şener vd. (2016) ve Peker (2019) tarafından daha önce yapılan çalışmalarla da uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışma bulguları MNDWI'nin özellikle sazlık alanların bulunduğu sahalarda su kütlesini tespit etme konusunda NDWI yöntemine göre daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmasını sağlamıştır. Bu durum, MNDWI yönteminin NDWI'ya göre, su kütlesinin sınırlarını tespit etme gücünün daha yüksek olduğunu göstermekte ve Worden & Beurs (2020) ve Shahfahad vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen farklı çalışma bulguları ile uyum göstermektedir.

Dünya çapında göllerin su seviyelerindeki düşüşler, çoğunlukla antropojenik faktörlere ve küresel iklim sistemindeki değişimlere bağlanmaktadır (Guo vd., 2015; Choiński vd., 2016; Altan & Doğu, 2018). Antropojen faktörlerin başında, su toplama alanındaki morfolojik değişimler ve arazi kullanımındaki değişiklikler, hızlanan şehirleşme, tarım ve hayvancılığın artan su ihtiyaçları, gölleri besleyen kaynakların aşırı kullanımı ve baraj inşaatları ile sulama suyu tüketiminin artması bulunmaktadır (Göncü vd., 2017). Eğirdir Gölü su kütlesindeki alansal değişimin kökeni bu çalışmanın temel araştırma konusu arasında yer almamaktadır. Bununla birlikte bulgular alansal küçülmeyi işaret etmekte ve alansal değişme bağlı olarak ortaya çıkabilecek farklı çevre sorunları hakkında duyarlı olunması gerektiğini bir kez daha tüm karar alıcılara hatırlatmaktadır. Türkiye'nin önemli tatlı su göllerinden biri olan Eğirdir Gölü çevresindeki ormanlık alanların tahribi, erozyon riskini artırarak sağanak yağışların akabinde gelişecek olan yüzey akışının artmasına ve suyun topraktan hızla kaybolmasına neden olmaktadır (Kantarci, 2008). Tağıl ve Alevkayalı (2014) tarafından açıklanan gölü besleyen Pupa, Hoyran ve Gelendost akarsularında gözlemlenen akım seviyelerindeki azalmanın, gölün su seviyesinde düşüşlere yol açan temel faktörler arasında olduğu düşünülmektedir. Eğirdir Gölü, farklı beşeri faaliyetler için hayati öneme sahip tatlı su kaynaklarından biri olup sulama, içme suyu temini, su ürünleri üretimi ve turizm bunlardan sadece birkaçıdır (Soyaslan, 2019). Alansal küçülme gerçeği dikkate alınarak, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en şiddetli biçimde gözlemlendiği Doğu Akdeniz Havzasında yer alan Eğirdir Gölü için olumsuz yöndeki antropojen etkinin en az düzeye indirildiği sürdürülebilir su kaynakları yönetim politikalarının hayata geçirilmesi ivedilikle tüm paydaşlara önerilir.

EXTENDED ABSTRACT**Analysis of the Spatial Changes in Lake Eğirdir Using Remote Sensing and Geographic Information Systems**M. Murat KALE¹  Mustafa ERİŞMİŞ² **INTRODUCTION**

This study addresses the impacts of global warming and climate change on water resources. Anthropogenic activities, climate variations, and global warming have rendered water resources and access to water a significant problem worldwide. Lakes, which hold a critical position in terrestrial ecosystems, constitute only a small percentage of the freshwater resources in the hydrosphere, and these resources are under increasing pressure. Notably, the Eastern Mediterranean Basin stands out as one of the regions where the pressure on water accessibility is most intense.

The relationship between water resources and drought has a complex and dynamic structure, dependent on various factors, and global climate change is intensifying this complexity. Consequently, studies examining changes in water bodies have gained importance, and Remote Sensing (RS) technologies have become a crucial tool in detecting spatial changes in water resources. Data obtained from various platforms, especially the Landsat series of satellites, are commonly used in monitoring water bodies.

Lake Eğirdir, one of Turkey's significant freshwater resources, faces various environmental issues. This study aims to investigate the spatial changes in the water body of the lake. Fluctuations in the lake's level are of vital importance for the management and preservation of water resources in the region. This study focuses on numerically identifying the change in Lake Eğirdir's water body, aiming to understand the broader environmental and climatic implications of this change.

STUDY AREA

Lake Eğirdir is situated in the Western Mediterranean region of Turkey, encompassing territories within Eğirdir, Senirkent, Yalvaç, and Gelendost districts under the jurisdiction of Isparta province (Figure 1). The lake lies between latitudes 35° 37' 41" N and 38° 16' 55" N, and longitudes 30° 44' 39" E and 30° 57' 43" E. Standing at an elevation of 917.7 meters above sea level, Lake Eğirdir has formed within an extensive depression area, elongated along a SW-NE axis, collecting waters therein.

The lake basin, patterned with fault lines and occasionally surrounded by steep cliffs, possesses a flat and relatively shallow bed (Yağmurlu et al., 1997; Karaman, 2011). It stretches across a broad depression area, roughly situated between Karakuş Mountains and Davraz Mountain. This depression is flanked by Barla Mountain (2,798 m) to the west, Karakuş Mountains (1,593

m) to the north, and Davraz Mountain (2,637 m) to the south (Figure 1). The lake extends 48 km in a SW-NE direction, boasting a shoreline that spans 150 km. At its widest point on the NW-SE axis, Lake Eğirdir reaches up to 16 km (Kesici et al., 2006; Özçelik, 2017).

Lake Eğirdir covers a variable surface area of 482 km² and has a catchment area of 3,309 km². It is replenished not only by direct precipitation but also by groundwater and inflows from the Pupa, Hoyran, and Gelendost streams (Tağıl & Alevkayalı, 2014; Davraz et al., 2016). Lake Eğirdir, which has an outlet, discharges its excess water into Lake Kovada, following through Boğazova. This strait has a length of 16 km and a width of 2.5 km (Kantarıcı, 2008).

MATERIALS AND METHODS

In this study, which aims to analyze the spatial changes in Lake Eğirdir using Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS), satellite images from different dates constitute the primary dataset. The oldest satellite image accessible within the scope of the study, dated 1984, sets the study's lower limit; while the most recent image, from 2022, establishes the upper limit. Basic information about the satellite images used in the study is provided in Table 3. The Landsat 4 TM and Landsat 8 OLI/TIRS satellite images have been utilized for the analysis of spatial changes. Images were procured free of charge from the United States Geological Survey (USGS) database. The selection of satellite images in this study took into account two main criteria: cloud cover ratio and the proximity of the image dates to each other. A high cloud cover ratio adversely affects the usability of the acquired image [Gündoğdu & Bantchina; 2018]. In this context, it was ensured that the cloud cover ratio in the dataset used was less than 5%, and in cases of cloud cover, cloud masses were not near the coastline. Furthermore, considering the general climatological characteristics of the field, images from July were chosen as references to reflect the dry season.

Throughout the study, ArcGIS software version 10.8 and its relevant modules were employed for the analysis and processing of the dataset. The Normalized Difference Water Index (NDWI) and the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) were utilized in determining spatial changes. The findings from both methods were compared using the Pearson Correlation Coefficient (PCC) and the Structural Similarity Index (SSIM) to identify not only the contrast and spectral characteristics of the obtained NDWI and MNDWI images but also their structural distortions. Additionally, the study tested the compatibility of the NDWI and MNDWI images with the Landsat images using RMSE (Root Mean Square Error).

FINDINGS

In this study, the spatial size of the water body in Lake Eğirdir was calculated using the NDWI and MNDWI methods. According to the findings obtained using the NDWI method, the water body in the lake was spatially 470.14 km², 453.09 km², 455.80 km², 453.36 km², and 441.15 km² in 1984, 1994, 2004, 2014, and 2022, respectively (Table 4). The lake's surface area reached its maximum boundary in 1984 and its minimum in 2022. There is a difference of 28.99 km² between the largest and smallest identified lake boundaries. In other words, it was determined that there was a spatial loss of 28.99 km² in the lake surface area at the end of the 39-year study period. This loss indicates that the lake shrunk spatially by 6.17% at the end of the period. It was determined that spatial shrinkage did not occur continuously during the period, and the water body in the lake exhibited an increase of 0.6% in 2004 compared to 1994. The study findings indicate a decrease of 17.05 km² in the 1984-1994 period, an increase of 2.71 km² in the 1994-2004 period, a decrease of 2.44 km² in the 2004-2014 period, and a decrease of 12.21 km² in the 2014-2022 period in the lake surface area. The highest spatial changes were identified in the 1984-1994 and 2014-2022 periods.

According to the findings obtained using the MNDWI method, the water body in the lake was spatially 475.25 km², 454.33 km², 458.94 km², 452.20 km², and 443.38 km² in 1984, 1994, 2004, 2014, and 2022, respectively (Table 4). The lake's surface area reached its maximum boundary in 1984 and its minimum in 2022. There is a difference of 31.87 km² between the largest and smallest identified lake boundaries. In other words, it was determined that there was a spatial loss of 31.87 km² in the

lake surface area at the end of the 39-year study period. This loss indicates that the lake shrunk spatially by 6.71% at the end of the period. It was determined that spatial shrinkage did not occur continuously during the period, and the water body in the lake exhibited an increase of 1.1% in 2004 compared to 1994. The study findings indicate a decrease of 20.92 km² in the 1984-1994 period, an increase of 4.61 km² in the 1994-2004 period, a decrease of 6.74 km² in the 2004-2014 period, and a decrease of 8.82 km² in the 2014-2022 period in the lake surface area. The highest spatial changes were identified in the 1984-1994 and 2014-2022 periods.

The spectral qualities of the indices were measured with Pearson's R correlation. The best correlation between the indices is indicated by the highest Pearson's R value. The highest Pearson's R values were found to be 0.9974, 0.9972, and 0.9958 for the years 1994, 2014, and 2022, respectively. According to the study findings, the correlation values between NDWI and MNDWI are consistently above 0.99. The values, which are very close to one, indicate a significant similarity between the water bodies obtained with the NDWI and MNDWI methods, but that different spatial values need to be reached numerically. This situation is consistent with the water body sizes obtained as a result of the calculations. This also indicates a strong positive correlation between the water bodies obtained with both methods.

The obtained SSIM values converge to one in a manner similar to Pearson's R correlation values. The convergence of the SSIM value to one is an indicator of high similarity (Dosselmann & Yang, 2011). It is important that the SSIM values of NDWI and MNDWI indices are higher than 0.99, indicating a high similarity between the applied water indices. The highest SSIM ratio was determined as 0.9948 in 1994 (Table 5). The lowest SSIM ratio was determined as 0.9905 in 1984.

In conclusion, both Pearson's R correlation coefficients and SSIM values indicate a strong relationship and structural similarity between the NDWI and MNDWI spectral water indices, as expected.

DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, where the spatial change in Lake Eğirdir was analyzed using Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS), two main conclusions are reached when the findings obtained are evaluated.

The first of these is related to the selected methods, and the MNDWI method has given better results in the study area compared to the NDWI method. The MNDWI method has excelled in a more realistic determination of the lake area by including reed fields, the natural members of the littoral zone, in the water mass.

Another result reached with the study findings is that there has been a reduction in the surface area of Lake Eğirdir at the end of the 39-year study period. Except for the period 1994-2004, the water mass in the lake basin has suffered spatial losses throughout all the periods investigated. At the end of the study period, it was determined that a spatial loss of 28.99 km² according to the NDWI method, and 31.87 km² according to the MNDWI method occurred.

Evaluations made with the Pearson R correlation coefficient and SSIM have revealed that the methods used for determining the boundaries of the water mass in this study show a high degree of similarity and, at the same time, need to carry numerical difference. In addition, it has been seen that the findings obtained are consistent with previous studies (Kanbur et al., 2010; Şener et al., 2016; Peker, 2019). Especially, it has been concluded that MNDWI is more effective in detecting the water mass in areas where reed fields are located. This situation indicates that the MNDWI method has a higher power in determining the boundaries of the water mass compared to NDWI, and it is consistent with different study findings carried out by Worden & Beurs (2020) and Shahfahad et al., (2023).

Considering the fact of spatial reduction occurring in the lake, it is urgently recommended to all stakeholders to implement sustainable water resources management policies where the negative anthropogenic effect is minimized for Lake Eğirdir, located in the Eastern Mediterranean Basin, where global warming and climate change are most intensely observed.

KAYNAKÇA / REFERENCES

- Akın, M., & Akın, G. (2007). Suyun Önemi, Türkiye'de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği. *Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 47(2), 5-118.
- Aksoy, T., Sarı, S. Ç., & A. (2019). Sulak alanların yönetimi kapsamında su indeksinin uzaktan algılama ile tespiti, Göller Yöresi. *GSI Journals Serie B: Advancements in Business and Economics*, 2(1), 35-48.
- Aktaş, S., Kalyoncuoğlu, Ü. Y., & Kılıç, N. C. A. (2018). Eğirdir göl havzasının de Martonne yöntemi ile kuraklık analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6) 2, 229-238. <https://doi.org/10.21923/jesd.398521>
- Alagöz, C. (1944). Türkiye'de karst olayları hakkında bir araştırma. *Türkiye Coğrafya Kurumu Yayını*, 0(1), 86-92.
- Ali, M. I., Dirawan, G. D., Hasim, A. H., & Abidin, M. R. (2019). Detection of changes in surface water bodies urban area with NDWI and MNDWI methods. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 9(3), 946.
- Altan Aydın, F. D., & F. A. (2018). Göllerde seviye değişimleri ve nedenleri: Van gölü örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 41, 183-208.
- Arnell, N. W. (1999). Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9, S31-S49. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(99\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(99)00017-5)
- Bahadır, M. (2013a). Akşehir Gölü'nde alansal değişimlerin uzaktan algılama teknikleri ile belirlenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 28, 246-275.
- Bahadır, M. (2013b). Kovada Gölü Milli Parkı'nın sürdürülebilir yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18(30), 287-310.
- Brooks, A. C., Zhao, Z., & Pappas, T. N. (2008). Structural similarity quality metrics in a coding context: Exploring the space of realistic distortions. *IEEE Transactions on Image Processing*, 17(8), 1261-1273.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error RMSE or mean absolute error MAE, Arguments Against Avoiding RMSE in The Literature. *Geoscientific Model Development*, 7, 1247-1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Cho, H. J., Kirui, P., & N, H. (2008). Test of multi-spectral vegetation index for floating and canopy-forming submerged vegetation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5(5), 477-483. <https://doi.org/10.3390/ijerph5050477>
- Choiński, A., Ptak, M., & Ławniczak, A. E. (2016). Changes in water resources of polish lakes as influenced by natural and anthropogenic factors. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(5), 1883-1890. <https://doi.org/10.15244/pjoes/62906>
- Ciflikli, C., & Aba, K. (2019). Kablosuz sensör ağlarında görüntü iletiminde veri tasarruflu iletim katmanı oluşturulması. *SETSCI Conference Proceedings*, 4(1), 599-602.
- Çakaroz, D., Özelkan, E., & Karaman, M. (2020). Sulak alanlarda uzaktan algılama ile belirlenen zamansal değişime kuraklığın etkisinin incelenmesi: Umurbey deltası Çanakkale örneği. *İçinde Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (ss. 898-916). <https://doi.org/10.31590/ejosat.799717>
- Çelebi, B. (2021). Kentlerde İklim Değişikliği Yönetimi ve Yerel Yönetimlerin Rolü: Londra, Sao Paulo ve İstanbul Örnekleri. (Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul).
- Çiçekli, S. Y., & Özkan, C. (2016). Landsat 8'in Adana seyhan baraj gölü kıyı çizgisinin aylık değişiminin belirlenmesinde kullanılması, VI. İçinde *UZAL-CBS Sempozyumu*, 1078-1082.
- Das, K. (2017). NDVI and NDWI based change detection analysis of Bordoibam Beelmukh wetlandscape, Assam Using IRS LISS III Data. *ADBÜ-Journal of Engineering Technology*, 6(2), 17-21.
- Davraz, A., Şener, Ş., & Şener, E. (2016). Su kaynaklarının kullanma ve koruma metodolojisinin geliştirilmesi: Eğirdir Gölü Havzası örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(3), 227-238.
- Demir, A. (2009). Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 37-54. https://doi.org/10.1501/Csaum_000.000.0013
- Doğan, S., & Tüzer, M. (2011). Küresel iklim değişikliği ve potansiyel etkileri, Cumhuriyet Üniversitesi. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1), 21-34.
- Doğrul, G. A. & M. (2022). İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisinin çok zamanlı uydu görüntüleri ile incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 25(3), 1349-1358. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1169913>
- Dosselmann, R., & Yang, X. D. (2011). A comprehensive assessment of the structural similarity index. *Signal Image and Video Processing*, 5(1), 81-91.
- Du, Z., Linghu, B., Ling, F., Li, W., Tian, W., Wang, H., Gui, Y., Sun, B., & Zhang, X. (2012). Estimating surface water area changes using time-series landsat data in the Qingjiang river basin. *China, Journal of Applied Remote Sensing*, 6(1).
- Duman, N., & İrcan M. R. (2021). Şanlıurfa ilinin yağış ve sıcaklık eğilimleri, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi. *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 54, 515-536. <https://doi.org/10.53568/yyusbed.1052821>
- Dursun, İ., & Babalık A. A. (2023). Burdur Gölü havzasındaki morfometrik parametrelerin ve erozyon durumunun değerlendirilmesi. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 24(1), 25-38. <https://doi.org/10.18182/tjf.1205157>

- Dursun, İ. & Yazıcı, N. (2022). Köppen-Trewartha ve Thornthwaite yöntemlerine göre Isparta yöresi iklim tipinin belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(2), 264-279. <https://doi.org/10.21324/dacd.1025029>
- Erener, A., & Sarp, G. (2017). Barajların çevresel etkilerinin zamansal ve mekânsal olarak uzaktan algılama ile değerlendirilmesi: Atatürk Barajı Örneği. *Geomatik Dergisi*, 2(1), 1-10. <https://doi.org/10.29128/geomatik.300012>
- Eroğlu, İ. (2021). Meriç Nehri Havzasında Sıcaklık ve Yağış Değerlerinin Dönemsel Trend Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 750-760. <https://doi.org/10.31590/ejosat.882937>
- Esen, E. (2019). Senirkent yerleşim alanının vs30 hız haritasının kırılma – mikrokırınım remi tekniği ile çıkartılması, (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta).
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 140, 23-35.
- Gautam, V. K., Gaurav, P. K., Murugan, P., & Annadurai, M. (2015). Assessment of surface water dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, supervised classification and K-T transformation. *Aquatic Procedia*, 4, 739-746.
- Gölebatmaz, Ş. M. (2021). Jeofizik Model ve Haritaların Görüntü İşleme Yöntemleri ile İyileştirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara).
- Göncü, S. A., Albek, E. A., & M. (2017). Burdur, Eğirdir, Sapanca ve Tuz gölleri Su seviyelerinin nonparametrik istatistik yöntemler ile eğilim analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 555-570.
- Guo, M., Wu, W., Zhou, X., Chen, Y., & Li, J. (2015). Investigation of the dramatic changes in lake Level of the Boston lake in Northwestern China. *Theoretical and Applied Climatology*, 119, 341-351.
- Guo, Q., Pu, R., Li, J., & Cheng, J. (2017). A weighted normalized difference water index for water extraction using landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38(19), 5430-5445. <https://doi.org/10.1080/01431.161.2017.1341667>
- Gündoğdu, K. S. B., & B. B. (2018). Landsat uydu görüntülerinden NDVI değer dağılımının parsel bazlı değerlendirilmesi, Uludağ üniversitesi ziraat fakültesi çiftlik arazisi örneği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 45-53.
- Gürboğa, Ş., Kara, M., Yavuzoğlu, A., & Özalp, S. E. H. (2017). Eğirdir gölü güney kesimini kontrol eden diri fayların paleosismolojisi: Ön Bulgular. *İçinde Aktif Tektonik Araştırma Grubu 21. Çalıştayı* (ss. 32-33,).
- Gürboğa, Ş., Kara, M., Yavuzoğlu, A., Özalp, S., & Elmacı, H. (2019). Eğirdir Gölü ve güney kesiminin kontrol eden Kovada, *Barla ve Mahmatlar faylarının paleosismolojisi*. MTA.
- İnandık, H. (1965). Türkiye gölleri, morfolojik ve hidrolojik özellikler, İstanbul Üniversitesi. *Coğrafya Enstitüsü Yayınları*, 44, 214.
- Kahraman, N., Y. A., & Arıbaş, K. (1998). Barla ve Karakuş dağları batı uzantılarının jeomorfolojisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 2, 554-586.
- Kahveci, S. (2020). Derin Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Uydu Görüntülerini Zenginleştirme, *Konya Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*. Yüksek Lisans Tezi.
- Kale, M. M. (2018). Historical shoreline change assessment using DSAS: A case study of Lake Akşehir, SW Turkey. *Current Debates İn Sustainable Architecture, Urban Design Environmental Studies*. IJOPEC.
- Kale, M. M. (2022). Çankırı İli Sulak Alanlarında 1990-2018 Yılları Arasında Gerçekleşen Alansal Değişimler. *Nobel Akademik Yayıncılık*.
- Kanbur, Z., Gormus, M., Kanbur, S., & Durhan, Z. (2010). Significance of shallow seismic reflection SSR and ground penetrating radar GPR profiling on the modern coast line history of the Bedre area, Eğirdir lake, Isparta, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 38(6), 262-273. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.02.003>
- Kantarci, M. D. (2008). Isınma – kuraklaşma sürecinin göller bölgesindeki durumu ve etkileri üzerine ekolojik bir değerlendirme. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A (2), 1-34.
- Kaplan, G., Avdan, Z. Y., Avdan, U., & Jovanovska, T. (2020). Uzaktan algılama verileri ile uluslararası suların izlenmesi. *Dirençlilik Dergisi*, 4(1), 77-88. <https://doi.org/10.32569/resilience.618176>
- Karabacak, K., & Pınar, A. (2018). Eğirdir'in Fiziki Coğrafya Özellikleri. *Route Educational and Social Science Journal*, 5(5), 112-131.
- Karabulut, M. (2015). Farklı uzaktan algılama teknikleri kullanılarak Göksu deltası göllerinde zamansal değişimlerin incelenmesi. *Journal of International Social Research*, 8(37), 347-363.
- Karaman, E. (2012). Some neotectonic features of around the Lake Egirdir, Turkey. Pp. 301-307. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference*
- Karaman, M. (2010). The Tectonic Evolution of Lake Eğirdir, West Turkey. *Geologos*, 16(4), 223-234.
- Karaman, S., & Gökalp, Z. (2010). Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 31, 59-66.
- Kaya, Ö. A., & Kaplan, G. (2021). Uzaktan algılama yöntemleri ile Burdur Gölü'ndeki alansal değişiminin belirlenmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* (C. 7, Sayı 1, ss. 1-12). <https://doi.org/10.21324/dacd.760805>
- Kesici, E., & Kesici, C. (2006). Eğirdir Gölü Isparta'nın doğal yapısına yapılan müdahalelerin gölün ekolojik yapısına etkileri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 23(1), 99-103.

- Keskin, S. & Baydar, H. (2016). Umbelliferae familyasından bazı önemli kültür türlerinin Isparta Ekolojik koşullarında tarımsal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 133-141.
- Keskin, M. E., Aksoy, Y. R., Aksoy, A. S., & Yılmazkoç, B. (2017). Göl seviye tahmini: Eğirdir Gölü. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(3), 601-608. <https://doi.org/10.21923/jesd.340383>
- Koçyiğit A., Akyol E., Bozkurt E., & Beyhan A. (1997). Antalya körfezi karasal çöküntüsünün neotektonik özellikleri, deprenselliği ve daha önceki denizaltı çalışmaları ile karşılaştırılması, *Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu*, Proje No:7DABÇAG.
- Kumar, B., Kumar, S. B. K., & C. (2013). Development of improved SSIM quality index for compressed medical images. *IEEE Second International Conference on Image Information Processing ICIIIP-2013*, 251-255. 10.1109/ICIIIP.2013.670.7593
- Masocha, M., Dube, T., Makore, M., Shekede, M. D., & Funani, J. (2018). Surface water bodies mapping in Zimbabwe using landsat 8 OLI multispectral imagery: A comparison of multiple water indices. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 106, 63-67. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.05.005>
- McBean, E. M. & H. (2008). Assessment of impact of climate change on water resources: A long term analysis of the great lakes of North America, *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 12(1), 239-255.
- McCarthy, M. P., Best, M. J., & Betts, R. A. (2010). Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical Research Letters*, 37(9), 1-5. <https://doi.org/10.1029/2010GL042845>
- McFeeters, S. K. (2013). Using the normalized difference water index NDWI within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: A practical approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544-3561. <https://doi.org/10.3390/rs5073544>
- Neto, A. M., Victorino, A. C., Fantoni, I., Zampieri, D. E., Ferreira, J. V., & Lima, D. A. (2013). Image processing using pearson's correlation coefficient: Applications on autonomous robotics. *13th International Conference on Autonomous Robot Systems*, 1-6.
- Özçelik, M. (2017). Kıyı alanlarının kullanılmasında kıyı kenar çizgisinin önemi: Eğirdir yerleşim alanı örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 595-600.
- Peker, E. A. (2019). Spatio-temporal changes of lake water extents in lakes region Turkey using remote sensing.(Thesis M.S. , Middle East Technical University, *Geodetic and Geographical Information Technologies*, Ankara).
- Peng, J., Shi, C., Laugeman, E., Hu, W., Zhang, Z., Mutic, S., & Cai, B. (2020). Implementation of the structural similarity SSIM Index as a quantitative evaluation tool for dose distribution error detection. *Medical Physics*, 47(4), 1907-1919. <https://doi.org/10.1002/mp.14010>
- Sabuncu, A. (2020). Burdur Gölü kıyı şeridindeki değişiminin uzaktan algılama ile haritalanması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* (C. 20, Sayı 4, ss. 623-633).
- Sarp, G., & Ozcelik, M. (2017). Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*, 381-391. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.04.005>
- Serin, N., Babalık, A. A., & Küçük, V. (2008). Eğirdir Gölü havzası, sorunları ve çözüm önerileri, Türkiye bölgesel su toplantıları, *Havza Kirliliği Konferansı*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü II. Bölge Müdürlüğü, 5, 113-118.
- Shahfahad, T., S., N., W., M., Rahman, A., Gagnon, A. S., Islam, A. R. M. T., & Mosavi, A. (2023). Comparative evaluation of operational land imager sensor on board landsat 8 and landsat 9 for land use land cover mapping over a heterogeneous landscape. *Geocarto International*, 38(1).
- Singh, K. V., Setia, R., Sahoo, S., Prasad, A., & Pateriya, B. (2015). Evaluation of NDWI and MNDWI for assessment of waterlogging by integrating digital elevation model and groundwater level. *Geocarto International*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/10106.049.2014.965757>
- Smith, J. B. (1991). The potential impacts of climate change on the Great Lakes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 72(1), 21-32.
- Soyaslan, İ. İ. (2019). Hoyran havzasının yeraltı suyu akım modellemesi ile su bütçesinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 1184-1197. <https://doi.org/10.31590/ejosat.656606>
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., & Midgley, P. M. (2014). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Şener, E., Şener, Ş., Uysal, R., & Bulut, C. (2016). Evaluation of the seasonal and spatial lake level change using by worldview-2 satellite images in the Eğirdir Lake Turkey. *Living Planet Symposium*, 1-4.
- Şener, Ş., Davraz, A. K., & R. (2013). Assessment of trace metal contents in water and bottom sediments from Eğirdir Lake, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 71, 2807-2819.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A., Karagüzel, R., & Bulut, C. (2010). Eğirdir gölü su kalitesine yönelik ön bulgular: Yerinde ölçümlerin değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt, 14(1), 72-83.
- Tağıl, Ş., & Alevkayalı, Ç. (2014). Eğirdir Gölüne kuzeyden dökülen akarsularda akım trendi ve yağış ilişkisi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(32), 211-229. <https://doi.org/10.31795/baunsobed.645483>
- Taş, M. A., & Akpınar, E. (2021). Burdur Havzası'ndaki göllerde yaşanan seviye değişikliklerinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama (UA) ile tespiti. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 26(46), 37-54.

- Tekkanat, F. (2011). Akdoğan Eğirdir-Isparta ve Sipahiler Sütçüler Arasının jeolojisi ve dolomitlerin petrografik incelemesi, (*Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta*).
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., & Kiehl, J. (2009). Earth's global energy budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(3), 311-324.
- Turan, E. S. (2018). Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 63-69. <https://doi.org/10.21324/dacd.357384>
- Türkeş, M. (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1), 26-37.
- Verpoorter, C., Kutser, T., Seekell, D. A., & Tranvik, L. J. (2014). A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery. *Geophysical Research Letters*, 41(18), 6396-6402. <https://doi.org/10.1002/2014GL060641>
- Wang, Z., Simoncelli, E. P., & Bovik, A. C. (2004). Multiscale structural similarity for image quality assessment. *Conference Record of the Thirty-Seventh Asilomar Conference on Signals*, 1398-1402.
- Wicaksono, A., & Wicaksono, P. (2019). Geometric accuracy assessment for shoreline derived from NDWI, MNDWI, and AWEI transformation on various coastal physical typology in jepara regency using Landsat 8 OLI imagery in 2018. *Journal of Geomatics and Planning*, 6(1), 55-72. <https://doi.org/10.14710/geoplanning.6.1.55-72>
- Willmott, J. C., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error MAE over the root mean square Error RMSE in assessing average model performance. *Climate Research*, 30, 79-82.
- Worden, J., K, B., & M. (2020). Surface water detection in the Caucasus. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91, 102159. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102159>
- 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.
- Yağmurlu, F., Savasclin, Y., & Ergün, M. (1997). Relation of alkaline volcanism and active tectonism within the evolution of the Isparta Angle, SW Turkey. *The Journal of Geology*, 105(6), 717-728.
- Yang, K., & Jiang, H. (2011). Optimized-SSIM based quantization in optical remote sensing image compression. *Sixth International Conference on Image and Graphics*, 117-122.
- 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(22), 3661. <https://doi.org/10.3390/w14223661>
- Zhou, W., Li, Z., Ji, S., Hua, C., & Fan, W. (2015). A new index model NDVI-MNDWI for water object extraction in hybrid area. *International Conference on Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem*, 513-519.