



Uluabat Gölü (Bursa) alansal değişim analizi (1987-2023)

İmren Kuşcu *1

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 02/10/2024

Kabul Tarihi : 14/11/2024

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1559998>

*Sorumlu Yazar:

imrenn.16@gmail.com

ÖZ

Araştırma Makalesi

Giriş ve Hedefler Uluabat Gölü, Türkiye'nin önemli tatlı su kaynaklarından biri olarak hem doğal güzellikleri hem de ekosistem hizmetleri açısından büyük bir değere sahiptir. Ancak, göl, küresel iklim değişikliği ve insan kaynaklı faaliyetler nedeniyle olumsuz etkilenmektedir. Bu çalışmanın amacı, Bursa ili sınırları içerisinde yer alan Uluabat Gölü'nde, 1987-2023 yılları arasındaki 36 yıllık dönem boyunca meydana gelen alansal değişimi NDWI, MNDWI, NDPI, WRI

ve AWEI_{ns} indekslerini kullanarak ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda 1987 ile 2023 yıllarındaki alansal değişim, Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak incelenmiş ve çalışma sonucunda gölün 1987 ve 2023 yılları arasında 12,60 km² (%6) alan kaybettiği tespit edilmiştir.

Yöntemler Çalışmada NDWI, MNDWI, NDPI, WRI ve AWEI_{ns} su çıkarım indeksleri kullanılarak Uluabat Gölü'nün alansal değişim ve doğrulama analizleri yapılmıştır.

Bulgular NDWI, MNDWI, NDPI ve WRI indekslerinde 1987 ve 2023 yılları arasındaki alansal değişim farkının orijinal Landsat uydu görüntüleriyle aynı yüzdelik (%6) dilime sahip olduğu tespit edilirken AWEI_{ns} indeksinde diğer indekslerden farklı olarak %4 olduğu tespit edilmiştir.

Sonuçlar Bu çalışma, farklı indeksler kullanılarak göl alanının belirlenmesi ve bu indekslerden hangilerinin çalışma alanı için daha uygun sonuçlar sağladığını belirlemek açısından büyük önem taşımaktadır. Böylelikle ekosistemlerin korunması ve yönetimi için yerel halkın da katılımıyla sürdürülebilir koruma stratejileri geliştirilmesinde iklim değişikliği ve insan kaynaklı tehditlere karşı temel bir dayanak oluşturacaktır. Bu bağlamda, su kaynaklarının bilinçli kullanımı ve etkili denetim sistemlerinin oluşturulması, gölün sağlığının korunması için kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: AWEI_{ns}, CBS, NDWI, MNDWI, NDPI, Uluabat Gölü, WRI

Uluabat Lake (Bursa) Spatial Change Analysis (1987-2023)

ABSTRACT

Background and aims Uluabat Lake, as one of Türkiye significant freshwater resources, great value both for its natural beauty and its ecosystem services. However, the lake is negatively impacted by global climate change and human activities. The aim of this study is to reveal the area changes that have occurred in Uluabat Lake, located within the borders of Bursa Province, over a 36-year period from 1987 to 2023, using the NDWI, MNDWI, NDPI, WRI, and AWEI_{ns} indices. For this purpose, the areal change between 1987 and 2023 was analyzed using Geographical Information Systems and as a result of the study, it was determined that the lake lost 12.60 km² (6%) between 1987 and 2023.

Methods In the study, areal change and validation analyses of Lake Uluabat were conducted using NDWI, MNDWI, NDPI, WRI and AWEI_{ns} water extraction indices.

Results The study found that the difference in areal change between 1987 and 2023 in NDWI, MNDWI, NDPI and WRI indices had the same percentile (6%) as the original Landsat satellite imagery, while the AWEI_{ns} index was found to be 4% different from the other indices.

Conclusions This study is of great significance in determining the lake area using different indices and identifying which of these indices provides more suitable results for the research area. Thus, it is evident that it will serve as a fundamental basis for developing sustainable conservation strategies against climate change and human-induced threats, with the participation of local communities in the protection and management of ecosystems. In this context, the conscious use of water resources and the establishment of effective monitoring systems are critical for maintaining the health of the lake.

Key Words: AWEI_{ns}, CBS, NDWI, MNDWI, NDPI, Uluabat Lake, WRI

Bu makaleye atf:

İmren, K., 2024. Uluabat Gölü (Bursa) alansal değişim analizi (1987-2023). Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 10(2), 87-93.



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

1. Giriş

Göller, tarih boyunca insanlığın hayatta kalması, yaşam alanı ve temel yaşam kaynaklarına erişimi için vazgeçilmez bir temel olmasının yanı sıra, önemli bir çevresel kaynak olmuştur. Doğal ekosistemlerin temel parçaları olan göller, sundukları farklı ekosistem hizmetleriyle hem çevreyi hem de insan yaşamını korur ve geliştirir (Kopar ve Sevindi, 2013).

Dünya üzerinde 1971 yılında İran'ın Ramsar şehrinde imzalanan ve Türkiye'nin 1994 yılında taraf olduğu Ramsar Sözleşmesi ile sulak alanlara verilen önem artmıştır (URL 1). Bu sözleşme, göllerin korunmasına yönelik çalışmaları da desteklemektedir, zira göller hem doğal ekosistemlerin hem de insan yerleşimlerinin evrimiyle yakından ilişkilidir. Gölün oluşumu ve evrimi, şehrin oluşumu ve evrimiyle yakın bir bağ içerisindedir. Şehirde bulunan göller diğer göllerden oldukça farklıdır. Çünkü göl kıyıları zengin doğal süreçlere sahiptir ve içme suyu kaynağı olarak kullanılabilir. Balıklar ve su kuşları gibi birçok canlıya yaşam alanı sağlar. Oksijen-karbon dioksit dengesi üzerinde rol oynar. Nemi ve sıcaklığı düzenlemesi nedeniyle şehrin iklimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Birch ve McCaskie, 1999; Martinez-Arroyo ve ark., 2000; Naselli-Flores, 2008; Snehal ve Unnati, 2012; Özdemir ve ark., 2020). Örneğin, Durusu Gölü, İstanbul'un su ihtiyacının bir kısmını karşılayan önemli bir kaynaktır. Bir diğeri ise Beyşehir Gölü'nün suları Çarşamba Suyu kanalı aracılığıyla Konya Ovası'nda geniş bir alanda tarım sulaması için kullanılmaktadır (Hoşgören, 2018).

İnsanlığın suya olan doğal gereksinimi nedeniyle şehirlerin ortak başlangıç noktası olan göl kıyıları, insan faaliyetleri ve kentsel antropojenik müdahalelerden etkilenmektedir (Wu ve Xie, 2011). Şehirsel göller diğer doğal göllere göre kentleşme ve insan faaliyetlerine karşı daha savunmasızdır. Yapılan müdahaleler, bazı çevresel sorunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu etkiler, göl alanının azalması gibi sorunlar şeklinde kendini göstermektedir. Son yıllarda göller üzerine yapılan çalışmaların odak noktalarından biri, göl alanlarındaki değişimlerin incelenmesi olmuştur (Bayrak, 2018; Coşkun ve Minaz, 2024; Çağlayan ve ark., 2020; Kaya ve Kaplan, 2021; Kale ve Erişmiş, 2024; Mert ve ark., 2024). Bu çalışmalarda, göl alanındaki değişikliklerin izlenmesi için Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yaygın olarak kullanılmakta, farklı dönemlere ait görüntüler analiz edilerek göllerin zaman içindeki alansal değişimleri ortaya konulmaktadır (Cao ve ark., 2015). Bu sayede gelecekteki koruma ve planlama çalışmalarında önemli bir girdi sağlanmaktadır. Örneğin, Isparta ile Burdur illeri arasında bulunan Burdur Gölü'nün 2009 ile 2019 yılları arasındaki alansal değişimi, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak incelenmiş ve çalışma sonucunda 2009-2019 yılları arasında 17 km² alan kaybettiği tespit edilmiştir (Kaya ve Kaplan, 2021). Bir diğeri ise, Konya ve Afyonkarahisar il sınırları içerisinde yer alan Akşehir Gölü'nün uzun yıllar boyunca seviyesinde ve alanında meydana gelen değişimlerin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama verileri ile incelenmesidir. Çalışmanın sonucunda, 1985 yılında gölün sınırınının 366.6 km² iken, 2020 yılında 36.9 km²'ye düştüğü tespit edilmiştir (Çağlayan ve ark., 2020). Yapılan çalışmalarda su yüzeylerinin belirlenmesinde birbirinden farklı su çıkarım indeksleri kullanarak alansal değişim analizleri yapılmıştır. Yang ve ark., (2018), MNDWI ve AWEI, Worden ve Beurs

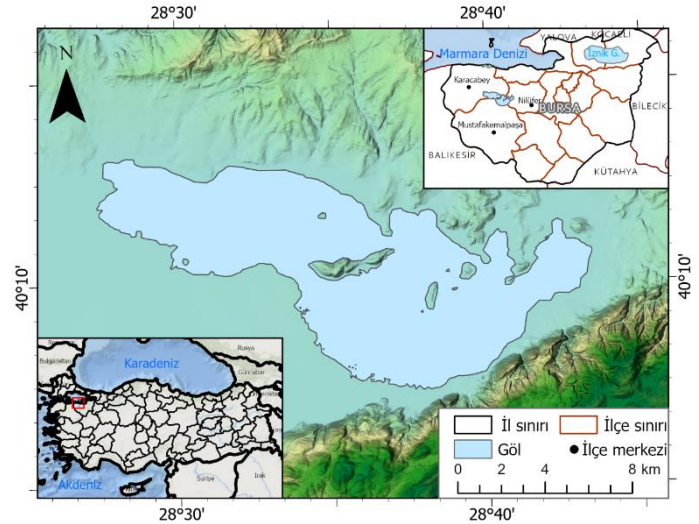
(2020), NDWI, MNDWI, AWEI_{sh} ve AWEI_{nsh}, Zhai ve ark., (2015), NDVI, NDWI, MNDWI ve AWEI indekslerini kullanarak su yüzeylerini analiz etmiştir.

Bu çalışmada Bursa ili sınırları içinde bulunan Uluabat Gölü'ndeki 1987-2023 yılları arasındaki 36 yıllık dönem boyunca gerçekleşen alansal değişimin ortaya çıkartılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda geçmişe yönelik kıyaslamaya imkân veren 1987 ve 2023 yıllarına ait Landsat uydusundan elde edilen görüntüler; Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (NDWI), Modifiye Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (MNDWI), Normalize Fark Gölet İndisi (NDPI), Su Oran İndisi (WRI) ve Otomatik Su Yüzeyi Çıkarım İndisi (AWEI_{nsh}) indeksleriyle değerlendirilerek göldeki değişim ortaya konulmuştur. Çalışmanın son aşamasında doğruluk kontrolünden, Kappa doğruluk analizinden yararlanarak indekslerin doğrulukları hesaplanmıştır. Bu çalışma, farklı indeksler kullanılarak göl alanının belirlenmesi ve bu indekslerden hangilerinin araştırma sahası için daha uygun sonuçlar sağlayacağını belirlemek açısından önem taşımaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı, sanayi, tarım ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu Bursa ili sınırları içinde bulunan Uluabat Gölü (Apoliyont Gölü)'nü kapsamaktadır. Uluabat Gölü, Mustafakemalpaşa, Karacabey ve Nilüfer ilçelerinin kesişim noktasındadır. Göl 28° 27' ile 28° 40' doğu boylamları ve 40° 07' ile 40° 12' kuzey enlemleri arasındadır (Şekil 1). Bursa kent merkezine yaklaşık 25 km batıda, Marmara Denizi'ne 20 km güneyde, Manyas Gölü'ne ise 35 km doğuda konumlanan bir göldür. Güney Marmara'da yer alan depresyonun doğu tarafındaki çukurlukta bulunmaktadır.



Şekil 1. Uluabat Gölü lokasyon haritası

Göl, doğu-batı yönünde uzanmaktadır ve deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 9 metredir (Karacaoğlu, 2000). Doğu-batı doğrultusundaki uzunluğu 24 km, kuzey-güney doğrultusundaki genişliği ise 12 km'dir. Uluabat Gölü, doğal ötrofik ve dışa akışı sayesinde tatlı suya sahip sığ bir göldür (Dalkıran ve ark., 2006; Hacısalihoğlu ve Karaer, 2020). Gölün ortalama derinliği 2,5

metre olup, bu derinlik yıllara ve mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Yaz aylarında kuraklık nedeniyle yer yer 1 metreye kadar düşen derinlik, kış mevsiminde yağışların etkisiyle 4,5 metreye kadar çıkabilmektedir (Çevre Etik Değerlendirme Raporu, 2015).

Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Uzaktan Algılama Merkezi tarafından, Landsat-5 TM uydusundan alınan 1984 ve 1993 yıllarının haziran ayına ait görüntüler üzerinde yapılan çalışmada, gölün yüzey alanının 1984'te 133,1 km², 1993'te 120 km², 1998'de 116,8 km² olarak değiştiği tespit edilmiştir (Katip, 2010).

Gölü besleyen en önemli su kaynağı Orhaneli ve Emet çaylarının birleşmesiyle oluşan Mustafakemalpaşa Çayı'dır (İnan ve ark., 1999). Göl, ayrıca çevresindeki dirençsiz kayalardan ve yağışlı mevsimlerde göle akan küçük derelerden de beslenmektedir. Gölü Marmara Denizi'ne drene eden başlıca akarsu Susurluk Çayı ile birleşen Kocasu Çayı'dır.

Uluabat Gölü'nün jeolojik evrimi, Saroz Körfezi, Orta Marmara, Karacabey ve Bursa Ovası'ndan Adapazarı'na kadar uzanan bölgede meydana gelen kuvvetli çökme tektoniği olayları sonucunda gerçekleşmiştir (Artüz ve Korkmaz, 1981). Göl, tektonizma etkisiyle oluşan bir ova içerisinde alüvyal set gölü olarak şekillenmiştir. Tektonik hareketler sonucu oluşan göl havzası III. zaman (Tersiyer) sonlarında IV. zaman (Kuvaterner) başlarında meydana gelmiştir (Akbulut, 2004). Kuvaterner'e ait alüvyonlar Uluabat gölü boyunca geniş alana yayılmıştır.

Uluabat Gölü, tek bir iklim tipine bağlı kalmayan, Akdeniz, Karadeniz ve Karasal iklimlerin etkilerinin birleştiği Marmara ikliminin geçiş özelliklerini taşımaktadır. Bu iklim çeşitliliği, göl çevresinde bazı kuş ve yaban hayvan türlerine hem beslenme hem de kışlama imkânı sunan ideal koşullar sağlamaktadır (Mert ve Acarer, 2018; Mert ve Acarer, 2021; Acarer, 2024; Acarer ve Mert, 2024). Besin maddeleri açısından zengin, biyolojik çeşitliliği barındıran ve önemli bir kuş göç yolunda yer alan Uluabat Gölü, ülkemizin hem ekolojik hem de kültürel açıdan değerli sulak alanlarından biridir (Arı, 2003). En yaygın bitki örtüsü kamış ve sazlık olup, Türkiye'nin en geniş nilüfer yataklarına da ev sahipliği yapmaktadır. Hem Türkiye hem de Avrupa için büyük önem taşıyan bu göl, 1998 yılında ekolojik özellikleri nedeniyle Ramsar Sözleşmesi kapsamında koruma altına alınmış, 2000 yılında ise Yaşayan Göller Ağı'na dahil edilmiştir. Bursa'nın turizm potansiyeli yüksek ve benzersiz doğal güzelliklerine sahip olan Uluabat Gölü hem doğal cazibesi hem de çevresindeki yerleşim yerlerinin zengin tarihi ve kültürel değerleriyle keşfedilmeye değer bir turistik destinasyon olarak öne çıkmaktadır (Şekil 2).

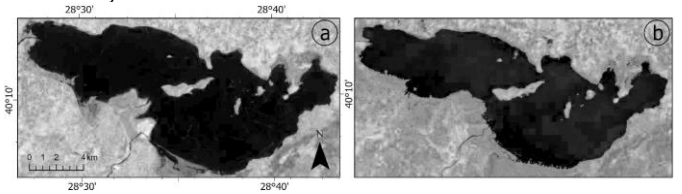
2.2 Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, Uluabat Gölü'nün 1987 ve 2023 yılları arasındaki alansal değişimi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve ArcGIS Pro programı kullanılarak analiz edilmiştir. Uluabat Gölü'nün lokasyon haritası hazırlanırken HGM tarafından 1:25000 ölçekli topografya haritalarından üretilen 10 m çözünürlüklü SYM verisi kullanılmıştır. Uluabat Gölü'ne ait uydu görüntüleri USGS Earth Explorer veri kaynağından alınarak 1987 yılı için Landsat 4-5 TM uydusundan, 2023 yılına ait görüntüler için ise Landsat 8-9 OLI uydusundan yararlanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 2. Uluabat Gölü'nün genel görünümü

Uydu görüntülerinin seçiminde, atmosferdeki bulutluluk oranı, göldeki ötrofikasyonun artışı ve bahar aylarında eriyen kar sularının göl seviyesini yükseltmesi gibi faktörler dikkate alınmıştır. Bu nedenle, her iki yıl için de yakın aylara sahip görüntüler tercih edilmiştir. Bu doğrultuda, 1987 yılına ait 15 Haziran ve 2023 yılına ait 7 Temmuz uydu görüntüleri kullanılmıştır.



Şekil 3. 1987(a) ve 2023(b) yıllarına ait orijinal Landsat uydu görüntüsü

Çalışmada NDWI, MNDWI, NDPI, WRI ve AWEI_{nsh} su çıkarım indeksleri kullanılarak Uluabat Gölü'nün alansal değişim ve doğrulama analizleri yapılmıştır. Kara ve su alanlarının ayrımını yapmak için geliştirilen bu indekslere ait formül, açıklama ve referanslar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Uluabat Gölü'ndeki alansal değişimin belirlenmesinde kullanılan indeksler

İndeks	Formül	Açıklama	Referans
NDWI	$\frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$	Green: Yeşil bant NIR: Yakın kızılötesi bant	McFeeters, 1996
MNDWI	$\frac{(Green - SWIR1)}{(Green + SWIR1)}$	Green: Yeşil bant SWIR1: Kısa dalga kızılötesi bant	Xu, 2006
NDPI	$\frac{(SWIR2 - Green)}{(SWIR2 + Green)}$	SWIR2: Kısa dalga kızılötesi bant Green: Yeşil bant	Lacaux ve ark., 2007
WRI	$\frac{Green + Red}{(NIR + SWIR2)}$	Green: Yeşil bant Red: Kırmızı bant NIR: Yakın kızılötesi bant SWIR2: Kısa dalga kızılötesi bant	Shen ve Li 2010
AWEInsh	$4x(Green-SWIR1)-(0,25xNIR+2,75xSWIR2)$	Green: Yeşil bant SWIR1: Kısa dalga kızılötesi bant NIR: Yakın kızılötesi bant SWIR2: Kısa dalga kızılötesi bant	Feyisa ve ark., 2014

Su yüzeylerinin tespitinde birçok yöntem kullanılsa da indeksler kullanılarak su yüzeylerinin belirlenmesi diğer yöntemlere kıyasla daha pratik bir yaklaşımdır (Ji ve ark., 2009). İndeksler kullanılarak yapılan analizlerin doğruluk analizi, sınıflandırma işlemi sonrasında elde edilen tematik harita üzerindeki kesin bir piksel veya piksel grubu ile bu piksellere atanan sınıfların karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmektedir (Aydın ve Durduran, 2021). Bu süreç, sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunu değerlendirmek için kritik bir adımdır. Belirlenen pikseller gerçek sınıflarıyla analiz edilerek, haritanın güvenilirliği ve geçerliliği hakkında önemli bilgiler sağlar. Böylece, haritanın kalitesi ve sınıflandırma yönteminin etkinliği daha iyi anlaşılabilir.

Çalışmada Uluabat Gölü'ne uygulanan indekslerin geçerliliği, Kappa doğruluk analizi ile değerlendirilmiştir. Cohen (1960) tarafından geliştirilen Kappa katsayısı, yüzey örtüsü ve yüzey kullanımı verilerinin doğruluğunu ölçmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu analizde, genel doğruluk (GD) yüzdesi ve 0 ile 1 arasında bir değere sahip olan Kappa katsayısı olmak üzere iki temel sonuç elde edilmektedir. Kappa katsayısının 1'e yaklaşması, sınıflandırmanın doğruluğunun arttığını ve sonuçların daha güvenilir olduğunu göstermektedir (Elbir ve ark., 2019). Bu süreçte, kullanılan uydu görüntüsünün çözünürlüğü, oluşturulan kontrol noktalarının sayısı ve arazi yüzeyinin özellikleri gibi çeşitli faktörler, bu doğruluk analizleri üzerinde doğrudan etki yapmaktadır (Sakaoğlu, 2021). Doğrulama sırasında saha, su yüzeyi ve su olmayan yüzey olmak üzere iki örnek alanına ayrılmış, her iki gruba da toplamda 300 nokta atanarak su yüzeyi değişiminin doğruluğu değerlendirilmiştir (Çizelge 2). Bu aşamada atılan noktaların, her birinin doğruluğu Google Earth Pro ve Landsat uydu görüntüleri karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. Böylece

belirlenen su yüzey alan sınırları, Google Earth Pro'daki su yüzey alanlarıyla uyumlu hale getirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar Kappa doğruluk analizi kullanılarak test edilmiş ve araştırmada kullanılan indeksler karşılaştırılarak çalışmanın son aşamasında çizelge halinde sunulmuştur

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Uluabat Gölü'nün 1987-2023 yılları arasındaki 36 yıllık dönemdeki değişimleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu kapsamda 1987 ve 2023 yıllarına ait NDWI, MNDWI, NDPI, WRI ve AWEInsh'den oluşan 5 indeks, değer aralıkları ve alansal değişim değerlendirme sonuçlarına göre sırasıyla açıklanmış ve performansları karşılaştırılmıştır.

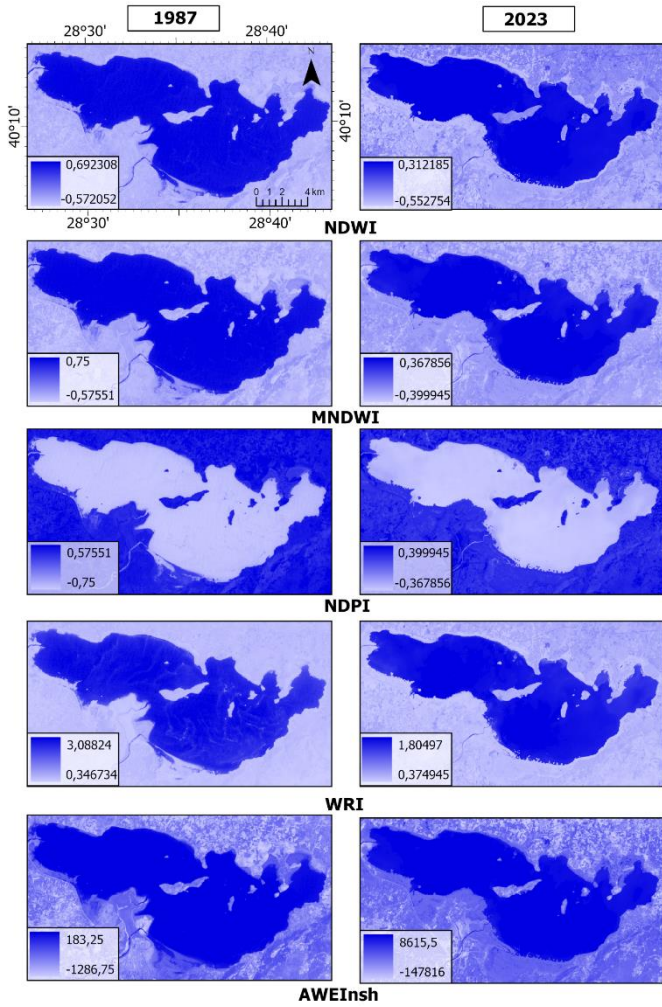
Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (NDWI): McFeeters, tarafından ilk olarak 1996'da sulak ortamlardaki yüzey sularını tespit etmek ve alanının ölçülmesine olanak sağlamak için kullanılmıştır. Uydu görüntülerinde, açık su yüzeylerinin bitki örtüsünden etkili bir şekilde ayrıştırılmasında kullanılan NDWI indeksi (Laonamsai ve ark., 2023), su yüzeyindeki yansımaya artırırken, karasal bitki örtüsü ve toprak özelliklerini minimize eder. NDWI, -1 ile 1 arasında değer alır; 1 su kütlelerini veya yüksek nemi, -1 ise kurak alanları veya nem eksikliğini simgeler (McFeeters, 1996). Bu çalışmada, NDWI hesaplamaları ArcGIS programının raster calculator aracı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, NDWI değerleri 1987 yılında -0,57 ile 0,69 arasında, 2023 yılında ise -0,55 ile 0,31 arasında değişim göstermiştir (Şekil 4).

Modifiye Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (MNDWI): Uydu görüntülerinde su kütlelerini kentsel alanlardan daha etkin bir şekilde ayırt etmek için kullanılan MNDWI indeksi, sulak alanlardaki değişimlerin tespitinde de etkili bir araçtır. Piksel değerleri -1 ile +1 arasında değişen MNDWI, -1 ile 0 arasındaki değerleri su, 0 ile +1 arasındaki değerleri ise su içermeyen alanlar (toprak, bitki örtüsü, yerleşim) olarak sınıflandırır (Xu, 2006). Bu çalışmada, 1987 yılına ait MNDWI değerlerinin -0,57 ile 0,75 arasında, 2023 yılına ait değerlerin ise -0,39 ile 0,36 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 4).

Normalize Fark Gölet İndisi (NDPI): Havuz ve gölet gibi küçük ölçekli su kütlelerinin tespitinde kullanılmaktadır (Lacaux ve ark., 2007). Bu indeks, su kaynaklarının durumunu değerlendirmek için özellikle tarım arazileri ve doğal ekosistemlerin yönetiminde yararlıdır. Pozitif değerler, su varlığını gösterir. Bu durum, su havzalarının veya göletlerin varlığına işaret eder. Negatif değerler su varlığının az olduğunu veya yok olduğunu gösterir. Çalışmada NDPI değerleri 1987 yılında -0,75 ile 0,57, 2023 yılında ise -0,36 ile 0,39 arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).

Su Oran İndisi (WRI): Suyun baskın spektral yansıtma özelliklerini dikkate alan bir yöntemdir. Su yüzeyleri için WRI değeri genellikle 1'den büyük olduğunda, bu alanın su olduğunu gösterir. Çalışmada WRI değerleri 1987 yılında 0,34 ile 3,08, 2023 yılında ise 0,37 ile 1,80 arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).

Otomatik Su Yüzeyi Çıkarım İndisi (AWEInsh): Su dışı maddeleri etkili bir şekilde ortadan kaldırmak için formüle edilmiş bir indekstir (Feyisa ve ark., 2014).

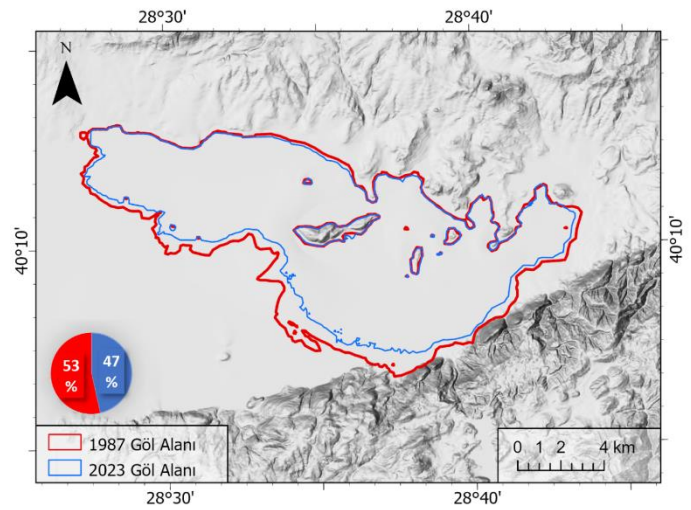


Şekil 4. Uluabat Gölü'nün 1987 – 2023 yıllarına ait su indeksleri sonuç haritaları

İndeşte “nsh” alt simgesi, gölgelerin önemli bir sorun olmadığı durumlarda uygun olduğunu belirtmek için dahil edilmiştir. Çalışmada AWEInsh 1987 yılında -1286 ile 183, 2023 yılında ise değerlerin -147816 ile 8615 arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).

Bu çalışmada, 1987 ve 2023 yıllarına ait orijinal Landsat uydu görüntüleri kullanılarak 36 yıllık bir dönem için alansal değişim analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda, 1987 yılında 122,47 km² olan göl alanının, 2023 yılında 109,87 km²'ye gerilediği tespit edilmiştir. Bu veriler, göl alanında 12,60 km²'lik (%6) önemli bir küçülmeyi işaret etmektedir (Şekil 5). Göl yüzeyinde gözlemlenen bu alansal kayıp hem doğal süreçlerin hem de antropojenik etkilerin uzun vadede su kaynakları üzerindeki olumsuz etkisini vurgulamakta, sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin önemini ortaya koymaktadır.

Çalışmada ayrıca NDWI, MNDWI, NDPI, WRI ve AWEInsh indekslerinin de alansal değişim analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, NDWI, MNDWI, NDPI ve WRI indekslerinde, 1987 ve 2023 yılları arasındaki alansal değişim farkı, orijinal Landsat uydu görüntülerinde tespit edilen %6'lık küçülme ile aynı orandadır. Ancak AWEInsh indeksinde bu farkın %4'e düştüğü gözlemlenmiştir (Çizelge 3).



Şekil 5. Uluabat Gölü'nde 36 yılda meydana gelen alansal değişim

Çizelge 3. Uluabat Gölü'ne uygulanan indeks sonuçlarına göre alansal değişim

İndeks	Yıl	Su yüzeyleri (km ²)	Yıllar arası değişim (%)
NDWI	1987	125,58	%6
	2023	110,23	
MNDWI	1987	124,26	%6
	2023	111,26	
NDPI	1987	124,67	%6
	2023	111,68	
WRI	1987	126,64	%6
	2023	111,46	
AWEInsh	1987	119,98	%4
	2023	109,34	

Çalışma kapsamında su yüzeyi çıkarmada 0,916 ve üzeri Kappa değeriyle NDWI, MNDWI, NDPI ve WRI indekslerinin başarılı olduğuna AWEInsh indeksinin ise 0,686 Kappa değeriyle bu çalışma için başarısız olduğuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak doğruluk değerlendirmesinde en düşük performansı, 2023 yılına ait 0,686 değeriyle AWEInsh indeksi göstermiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Farklı indekslere göre Uluabat Göl su çıkarım indekslerinin doğruluk analizi sonuçları

İndeks	Yıl	GD (%)	Kappa
NDWI	1987	0,963	0,916
	2023	0,983	0,962
MNDWI	1987	0,99	0,979
	2023	0,996	0,992
NDPI	1987	0,966	0,929
	2023	0,99	0,978
WRI	1987	0,976	0,951
	2023	0,993	0,984
AWEInsh	1987	0,98	0,957
	2023	0,694	0,686

4. Tartışma ve Sonuç

Herhangi bir bölgedeki yüzey sularının tespiti ve izlenmesi, su kaynaklarının etkin yönetimi için son derece kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışma, sulak alan ekosistemi olan Uluabat

Gölü'ndeki alansal değişimi ortaya koymak, bu değişime neden olan faktörleri belirlemek ve değişimin olası etkilerine yönelik öngörüler sunmak açısından önem taşımaktadır. Uluabat Gölü'ndeki alansal değişimin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak analiz edildiği bu çalışmada elde edilen bulgular değerlendirildiğinde; çalışmada, 1987 ve 2023 yıllarına ait 36 yıllık bir dönemin alansal değişim analizi yapılmış ve 1987 yılında 122,47 km² olan göl alanının 2023 yılında 109,87 km²'ye düştüğü tespit edilmiştir. Göl alanında 12,60 km² (%6)'lık bir alansal kayıp ortaya çıkmıştır. Çalışmada aynı zamanda NDWI, MNDWI, NDPI, WRI ve AWEInsh indekslerinin de alansal değişim analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda NDWI, MNDWI, NDPI ve WRI indekslerinde 1987 ve 2023 yılları arasındaki alansal değişim farkının orijinal Landsat uydu görüntüleriyle aynı yüzdellik (%6) dilime sahip olduğu tespit edilirken AWEInsh indeksinde diğer indekslerden farklı olarak %4 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç NDWI, MNDWI, NDPI ve WRI indekslerini güvenilirlik ve doğruluk açısından AWEInsh indeksinden daha ön plana çıkarmaktadır. Aynı zamanda su yüzeyini çıkarmada 0,916 ve üzeri Kappa değeriyle NDWI, MNDWI, NDPI ve WRI indekslerinin başarılı olduğuna AWEInsh indeksinin ise 0,686 Kappa değeriyle bu çalışma için başarısız olduğuna ulaşılmıştır. Çalışmada elde edilen veriler, göl çevresindeki tarımsal sulama ve tarım arazilerinin genişlemesi, kaçak çekim, yerleşim alanlarının artışı, kuraklık ve iklim krizi gibi sebeplerden dolayı su yüzeyinin ve ekosisteminin önemli değişimler geçirdiğini göstermektedir. Bu anlamda çalışma, göl çevresindeki doğal ve insan kaynaklı faktörlerin zaman içindeki etkilerini ortaya koymuştur. Bu faktörlerin detaylı incelenmesi, ekosistemin dinamiklerinin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlamış ve gelecekte benzer çalışmaların farklı sulak alanlarda da uygulanması gerektiğini göstermiştir. Uluabat Gölü gibi hassas ekosistemlerin korunması ve yönetimi için, yerel halkın da dahil olduğu sürdürülebilir koruma stratejilerinin geliştirilmesi ve bu stratejilerin uygulanabilirliğinin sürekli izlenmesi önemlidir. Ayrıca, iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin etkilerini azaltmak amacıyla, su kaynaklarının bilinçli kullanımı ve etkin denetim sistemlerinin oluşturulması tavsiye edilmektedir.

Kaynaklar

- Acarer, A., 2024. Will cinereous vulture (*Aegypius monachus* L.) become extinct in the forests of Türkiye in the future? *Şumarski List*, 148(7-8), 375-387.
- Acarer, A., Mert A., 2024. 21st century climate change threatens on the Brown bear. *Cerne*, 30: e-103305.
- Arı, Y., 2003. Manyas Gölü'nün kültürel ekolojisi: tarihi süreçte adaptasyon ve değişim. *Türk Coğrafya Dergisi*, 40(1), 75-97.
- Artüz, İ., Korkmaz, K., 1981. Su kirlenmesi açısından Apolyont Gölü'nde yapılan araştırmalara ilişkin ön rapor. Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsü Su Kirlenmesi Araştırmaları Kısım, 50.
- Aydın, T. K., Durduran, S. S., 2021. Ereğli-Bor alt havzasında arazi kullanımı/örtüsü'nün uzaktan algılama yöntemleriyle zamansal değişimi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(3), 629-641.
- Bayrak, M., 2018. Marmara gölü (Manisa) alansal değişiminin UA ve CBS ile analizi. VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018), 18-21 Eylül 2018, Eskişehir.
- Birch, S., McCaskie, J., 1999. Shallow urban lakes: a challenge for lake management. *Hydrobiologia*, 395(0), 365-378.
- Cao, B., Kang, L., Yang, S., Tan, D., Wen, X., 2015. Monitoring the dynamic changes in urban lakes based on multi-source remote sensing images. In *Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem: Second International Conference, GRMSE 2014*, Ypsilanti, MI, USA, October 3-5, 2014. *Proceedings 2* (pp. 68-78). Springer Berlin Heidelberg.
- Cohen J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *educational and psychological measurement*, 20(1), 37-46.
- Coşkun, M., Minaz, D., 2024. Suğla Gölü (Konya) alansal değişiminin (1984/2022) uzaktan algılama ve CBS teknikleriyle analizleri. *International Journal of Geography and Geography Education*, (52), 141-158.
- Çağlayan, E. B., Erel, F., Samur, E. B., Deniz, M., Mobariz, M. A., Kaplan, G., 2020. Uzaktan algılama teknikler ile Akşehir Gölü'ndeki alansal değişiminin izlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(2), 70-76.
- Çevre Etik Değerlendirme Raporu, 2015. Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Dalkıran, N., Karacaoğlu, D., Dere, Ş., Şentürk, E., Torunoğlu, T., 2006. Factors affecting the current status of a eutrophic shallow lake (Lake Uluabat, Turkey): Relationships between water physical and chemical variables. *Chemistry and Ecology*, 22(4), 279-298.
- Elbir, M., Alp Topbaş, Ö., Bayad, S., Kocabaş, T., Topak, O. Z., Çetin, Ş., Özdel, O., Ateşçi, F., Aydemir, Ö. 2019. DSM-5 bozuklukları için yapılandırılmış klinik görüşmenin klinisyen versiyonunun Türkçeye uyarlanması ve güvenilirlik çalışması. *Türk Psikiyatri Derg.* 30(1), 51-56.
- Feyisa, G., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S., 2014. Automated water extraction index: a new technique for surface water mapping using landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23-35.
- Hacisalihoğlu, S., Karaer, F., 2020. GIS-based assessment for trace metal pollution: case study on Lake Uluabat. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 4(2), 142-148.
- Hoşgören, M.Y., 2018. Hidrografya'nın Ana Çizgileri II. Göller. 5. Baskı. Çantay Kitabevi. İstanbul.
- İnan, M., Bektaş, R., Ergün, B., 1999. Environmental Status Report Uluabat Lake. Bursa Valiliği İl Çevre Müdürlüğü, Bursa.
- Ji, L., Zhang, L., Wylie, B., 2009. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11), 1307-1317.
- Kale, M. M., Erişmiş, M., 2024. Eğirdir Gölü alansal değişiminin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla analizi. *International Journal of Geography and Geography Education*, 52, 122-140.
- Karacaoğlu, D., 2000. Uluabat Gölü'nün (Bursa) fitoplanktonunun mevsimsel değişimi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Katip, A., 2010. Uluabat Gölü su kalitesinin izlenmesi (Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi (Türkiye)).

- Kaya, Ö. A., Kaplan, G., 2021. Uzaktan algılama yöntemleri ile Burdur Gölü'ndeki alansal değişiminin belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 1-12.
- Kopar, İ., Sevindi, C. (2013). Tortum Gölü'nün (Uzundere-Erzurum) güneybatısında aktüel sedimantasyon ve siltasyona bağlı alan-kıyı çizgisi değişimleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (60), 49-66.
- Lacaux, J. P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Ndione, J. A., Lafaye, M., 2007. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote sensing of environment*, 106(1), 66-74.
- Laonamsai, J., Julphunthong, P., Saprathet, T., Kimmany, B., Ganchanasuragit, T., Chomcheawchan, P., Tomun, N., 2023. Utilizing NDWI, MNDWI, SAVI, WRI, and AWEI for estimating erosion and deposition in Ping River in Thailand. *Hydrology*, 10(3), 70.
- Martínez-Arroyo, A., Jáuregui, E., 2000. On the environmental role of urban lakes in Mexico City. *Urban ecosystems*, 4, 145-166.
- McFeeters, S. K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Mert, A., Acarer, A. 2018. Wildlife diversity in reed beds around beyşehir lake. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(1), 110-119.
- Mert, A., Acarer, A. 2021. Usage Rates of Reed Beds in Beyşehir Lake of Some Wild Mammals. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(2), 845-852.
- Mert, A., Tavuç, İ., Özdemir, S., Uluşan, M. D., 2024. Future Responses of the Burdur Lake to Climate Change and Uncontrolled Exploitation. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1-12.
- Naselli-Flores, L., 2008. Urban lakes: ecosystems at risk, worthy of the best care. In *Proceedings of Taal 2007: the 12th world lake conference*, Ministry of Environment, Government of India, 1333-1337.
- Özdemir, S., Özkan, K., Mert, A., 2020. Ekolojik bakış açısı ile iklim değişimi senaryoları. *Biological Diversity and Conservation*, 13(3), 361-371.
- Sakaoğlu, E., 2021. Türkiye'nin Ramsar sahalarından olan tektonik göllerin yüzey alanlarındaki zamansal değişimin analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Shen, L., Li, C., 2010. Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm. *18th International Conference on Geoinformatics*, 1-4.
- Snehal, P., Unnati, P., 2012. Challenges faced and solutions towards conservation of ecology of urban lakes. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(10), 170-183.
- URL 1. Spring Water.
<https://www.springwater.com.tr/blog/icerik/ramsar-sozlesmesi-ve-turkiye-de-bulunan-ramsar-alanlari> (11.09.2024)
- Worden, J., de Beurs, K. M., 2020. Surface water detection in the Caucasus. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91, 102159.
- Wu, J., Xie, H., 2011. Research on characteristics of changes of lakes in Wuhan's main urban area. *Procedia Engineering*, 21, 395-404.
- 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.
- Yang, X., Qin, Q., Grussenmeyer, P., Koehl, M., 2018. Urban surface water body detection with suppressed built-up noise based on water indices from Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing of Environment*, 219, 259-270.
- Zhai, K., Wu, X., Qin, Y., Du, P., 2015. Comparison of surface water extraction performances of different classic water indices using OLI and TM imageries in different situations. *Geo-Spatial Information Science*, 18(1), 32-42.