

Uzaktan Algılama Teknikleri ile Su Yüzeylerinin Tespit Edilmesinde Kullanılan Su Çıkarma İndekslerinin Performans Analizi

Performance Analysis of Water Extraction Indices Used in Detection of Water Surfaces with Remote Sensing Techniques

Osman Salih Yılmaz^{1*} 

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Demirci M.Y.O., Coğrafi Bilgi Sistemi Programı, 45900, Manisa/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Osman Salih Yılmaz
osmansalih.yilmaz@cbu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1256092

Yayın süreci

Geliş tarihi: 24.02.2023
Kabul tarihi: 16.05.2023
Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

Bu çalışmada Türkiye’de bulunan farklı karakteristik özelliklere sahip Küçükçekmece, Köyceğiz, Burdur, Hazar ve Çıldır gölleri üzerinde sekiz farklı su çıkarma indeksi test edilmiş ve bu indekslerin performansları karşılaştırılmıştır. Su yüzeylerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda en çok kullanılan NDVI, NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh}, NDMI ve NWI indeksleri kullanılmıştır. Bu indeksler Google Earth Engine platformunda JavaScript kodları ile Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak hesaplanmışlardır. Elde edilen indeksler üzerinde su ve su olmayan alanları belirlemek için ise otomatik eşikleme yapabilen Otsu yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın doğruluk değerlendirmesi için Google Earth Pro tarafından sağlanan WorldView-1/2/3, GeoEye-1 ve Airbus’ın Pleiades yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılmıştır. Değerlendirme, genel doğruluk, Kappa istatistiği ve F1-skor hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan indekslerin su yüzeylerini tespit etmedeki başarılarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı McNemar testi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada en iyi performans gösteren NDWI indeksi genel doğruluk (GD) değeri minimum %98.00, maksimum %98.94, Kappa istatistiği minimum 0.958, maksimum 0.996 ve F1-skor minimum %97.46, maksimum %98.84 olarak hesaplanmıştır. En kötü performans gösteren indeks olan NDMI için, GD değeri minimum %48.57, maksimum %89.60, Kappa istatistiği minimum 0.047, maksimum 0.703 ve F1-skor minimum %30.77, maksimum %76.77 hesaplanmıştır. Yapılan genel değerlendirme sonucu incelenen sekiz indeks arasında NDWI1 en başarılı, NDMI ise en başarısız çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Google Earth Engine, Otsu eşik yöntemi, NDVI, NDWI, MNDWI

Abstract

In this study, eight different water extraction indices were tested in Küçükçekmece, Köyceğiz, Burdur, Hazar, and Çıldır lakes in Türkiye, and the performances of these indices were compared. To determine water surfaces, NDVI, NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh}, NDMI, and NWI indices were utilized. These indices were computed using Sentinel-2 images on the Google Earth Engine platform. The Otsu method, capable of performing automatic thresholding, was employed to delineate water and non-water areas on the indices. For accuracy assessment, images from WorldView-1/2/3, GeoEye-1, and Airbus’ Pleiades, provided by Google Earth Pro, were utilized. The evaluation was conducted by calculating overall accuracy (OA), Kappa statistic, and F1-score. The statistical significance of the performance of the utilized indices was assessed using McNemar’s test. The best-performing NDWI index had an OA value of 98% to 99%, a Kappa of 0.96 to 0.99, and an F1-score of 97% to 98%. The worst-performing NDMI had an OA value of 49% to 89%, a Kappa of 0.05 to 0.70, and an F1-score of 31% to 77%. As a result of the general evaluation, NDWI1 was the most successful and NDMI was the most unsuccessful among the eight indexes examined.

Keywords: Google Earth Engine, Otsu threshold, NDVI, NDWI, MNDWI

1. Giriş

Su dünya üzerindeki yaşamsal döngünün sağlanması için en önemli doğal kaynaktır. Göller, göletler, rezervuarlar, nehirler ve sulak alanlar gibi çeşitli iç suları dünya üzerine yayılmıştır (Li vd., 2022). Dünya üzerindeki bu su kaynakları biyoçeşitlilik, mikro iklimlendirme, sulama, peyzaj, içme suyu, enerji gibi ihtiyaçlardan dolayı sürdürülebilirlik açısından büyük öneme sahiptir (Kaya, 2022). Aynı zamanda dünya üzerindeki su kaynaklarının takip edilmesi izlenmesi ve kayıt altında tutulması çevre koruma, taşkın izleme, arazi sınıflandırması gibi birçok amaç için kullanılmaktadır. Günümüzde su kaynakları iklimsel değişim ve antropolojik aktivitelerden dolayı azalarak ekolojik ve çevresel sorunlara yol açmaktadır (Song vd., 2022). Göl yüzeylerindeki su değişimlerinin izlenmesi hem iklim koşullarındaki değişimlerin anlaşılması hem de dünyada artan insan nüfusunun su ihtiyacını karşılaması için oldukça önemli hale gelmiştir (Akar vd., 2012). Su kütlelerinin belirlenmesi ve takip edilmesinde özellikle son yıllarda Uzaktan Algılama (UA) teknikleri oldukça fazla tercih edilmektedir. UA görüntüleri ile yeryüzündeki değişimlerin izlenmesi ve takip edilmesi için geniş ölçekli alanlar sağlamaktadır (Acar vd., 2012; Yılmaz, 2022). UA temel prensibi olarak yer yüzündeki materyallerin elektromanyetik spektrumun bazı bölgelerini yansıtır ve soğurma prensibine dayanmaktadır. Yeryüzündeki her cisim elektromanyetik spektruma gösterdikleri tepkiler o cisimlerin karakteristik spektral imzalarını belirlemektedir (Güneş ve Uyuğuçil, 2022). Son yıllarda yapılan çoğu çalışma su yüzeylerinin takip edilmesi ve su yüzey sınırlarının diğer detaylardan ayrıştırılmasına odaklanmıştır (Lothspeich ve Knight, 2022; Zhao vd., 2022). Bunun yanında uydu teknolojilerindeki hızlı gelişmeler yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükler su yüzeylerinin belirlenmesinde avantajlar sağlamaktadır. Özellikle Landsat ve Sentinel uydu görüntüleri ücretsiz olarak tüm kullanıcılara sunulması araştırmacılar için eşsiz bir kaynak haline gelmiştir. Fakat son yıllarda özellikle verinin artması depolama ve analiz sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Bu sorunların çözülmesine yönelik bulut platformları gelişmiş ve hızla yaygınlaşmıştır. Özellikle UA veri kaynaklarının yönetilmesi ve analiz edilmesinde popüler hale gelen Google Earth Engine (GEE) birçok ücretsiz uydu platformuna eş zamanlı erişim sağlaması, büyük hacimli verileri analiz edebilmesi açısından oldukça kullanışlıdır (Owusu, 2022). GEE JavaScript ve Python kodlama dillerini destekleyerek hesaplama, analitik işlemler, veri analizi ve harita üretimi gibi birçok uygulamayı yapabilmektedir (Wang vd., 2021).

UA ile su yüzeylerinin tespit edilmesinde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Reis vd., 2021). Bu yöntemler arasında su spektral indeksleri (Gu vd., 2021), su ve su dışı ayrımı yapmak için eşik belirleme (Sekertekin, 2021), çeşitli makine öğrenme algoritmaları ve sınıflandırma teknikleri olarak sıralanabilir (Mansaray vd., 2019; Yılmaz vd., 2023). Su ve su olmayan diğer detayların elektromanyetik spektruma verdiği tepkilerden yararlanılarak, su yüzeyinin diğer detaylara göre daha belirgin hale getirilmesi için çeşitli cebirsel işlemlerle su çıkarma indeksleri geliştirilmiştir. Özellikle spektral indeksler iki veya daha fazla bandın cebirsel ifadesi ile tanımlanır. Örneğin yeşil ve yakın kızıl ötesi (Near infrared, NIR) bandı kullanan normalleştirilmiş fark su indeksi (normalized difference water index, NDWI) karasal bitki ve toprak özelliklerini bastırırken su yüzeydeki yansımayı maksimuma çıkarır (McFeeters, 1996). Benzer şekilde farklı bant cebirsel işlemlerine dayanan çeşitli NDWI indeksleri de geliştirilmiştir. Rogers ve Kearney (2004) Landsat (TM) görüntülerinde kırmızı ve kısa dalga kızıl ötesi (Short-wave infrared, SWIR) bantlarını kullanan bir NDWI önermiştir. Gao (1996) NIR ve SWIR bantlarını önermiş, bu indeks temelde bitki örtüsündeki nem seviyesini saptamak için geliştirilmiştir. Bu yüzden literatürde normalleştirilmiş fark nem indeksi (normalized difference moisture index, NDMI) olarak da isimlendirilir. Her ne kadar bitki örtüsündeki nem seviyesini belirlemek için geliştirilmiş olsa da açık su yüzeylerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır (Ashraf ve Nawaz, 2015; Elshahi vd., 2016; Ma vd., 2007; Naik ve Anuradha, 2018; Nandi vd., 2018). Kent alanlarındaki su yüzeyleri hesaplamada ise NIR bandı yerine SWIR bandı kullanılarak modifiye NDWI (MNDWI) önerilmiştir (Xu, 2006). Gölge alanlarda ve sığ sularda su piksellerinin diğer piksellerle karışmasını en aza indirmek için ise otomatik su çıkarma indeksi (automatic water extraction indices, AWEI) önerilmiştir (Feyisa vd., 2014). AWEI indeksi gölgelik alanlar için $AWEI_{sh}$ gölge olmayan alanlar için ise $AWEI_{nsh}$ olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanmıştır. Ding (2009) mavi bant NIR bandı ve iki SWIR bandını kullanan yeni su indeksi (new water index, NWI) önermiştir. Bitkilerin yakın kızıl ötesini yansıttığı ve kırmızı ışığı soğurmasından yola çıkılarak Rouse vd. (1974) tarafından üretilen normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (normalized difference vegetation index, NDVI) bazı çalışmalarda su yüzeylerinin tespitinde de kullanılmıştır (Acharya vd. 2017, Acharya vd. 2018; Gu vd., 2021; Ma vd., 2007).

Son yıllarda su yüzeylerinin tespit edilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Zhai vd. (2015) yaptığı çalışmada NDVI, NDWI, MNDWI ve AWEI indekslerini su yüzeylerini tespit etmek amacıyla kullanmıştır. Landsat görüntüleri kullanılarak yapılan çalışmada AWEI ve MNDWI indekslerinin daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır. Bolanos vd. (2016) çalışmalarında Kanada'nın Prairie bölgesinde Radarsat-2 ve Radarsat takımıydu misyonu (Radarsat constellation mission, RCM) görüntüleri üzerinden toplam su alanının %88'ini tam otomatik bir şekilde belirlemeyi başarmıştır. Feng vd. (2022), Jin vd. (2017), Lothspeich ve Knight (2022), Pekel vd. (2016) ve Wang vd. (2020) yapmış oldukları çalışmalarda Landsat zaman serileri kullanarak uzun dönem su, kalıcı, geçici ve mevsimsel değişimlerini inceleyerek suyun yeryüzündeki dinamik hareketini takip etmişlerdir. Khalid vd. (2021) Tibet Platosunda yüksek rakımlı bir bölgede göllerin yüzeylerini tespit etmek için Landsat-8 görüntüleri üzerinden NDWI, MNDWI, $AWEI_{sh}$, NWI, su oranı indeksi (water ratio index, WRI) ve arazi yüzey sıcaklığı (land surface temperature, LST) tabanlı su çıkarma indeksi (water extraction index,

LBWEI) performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada LBWEI indeksinin %93.66 ile %97.63 arasında değişen bir doğrulukla diğerlerinden daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. LBWEI indeksinin kriyosferik bölgeler için uygun olduğunu bildirmişlerdir. Sekertekin (2021) Sentinel-2 görüntüleri kullanarak NDWI üzerinde farklı on beş adet (Huang ve Wang, inter-mode, isodata, Li ve Tam, maksimum entropi, ortalama, minimum, momenti koruyan, Otsu, p-tile, Renyi entropi, Shanbhag, üçgen, Yen) eşikleme yöntemlerinin performansını incelemiştir. Çalışmanın sonucunda minimum eşikleme yönteminin genel doğruluğunun (GD) %99.94 ve Kappa istatistik değerinin 0.999 ile en iyi sonuç verdiğini hesaplamıştır. Öte yandan p-tile ve Shanbhag yöntemlerinin ise en kötü sonuç verdiğini belirlemiştir. Li vd. (2022) Çin'deki Huai Nehri Havzası'na ve Qinghai-Tibet Platosu'ndaki Nam Co göl yüzeyini belirlemede eşik yöntemi, destek vektör makinası (DVM), karar ağaçları, nesne tabanlı yöntem ve derin öğrenme tekniklerini karşılaştırmışlardır. Bu yöntemler arasında NDWI dayalı eşik belirleme yönteminin daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Su yüzeylerinin tespit edilmesi ve bu sayede değişimlerin takip edilmesi sürdürülebilir kalkınma için önem arz etmektedir. Yüzey sularının çeşitli özelliklere sahip olması elektromanyetik spektruma verdiği tepkiyi değiştirmektedir. Bu yüzden farklı bölgelerde ve farklı su yüzeylerinde kullanılan su çıkarma indekslerinin hangisinin tercih edilmesi halen belirsizliğini sürdürmektedir. Bu çalışma Türkiye genelinde farklı iklim koşullarına ve karakteristiğe sahip göller belirlenerek su çıkarma indekslerinin performansı karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Küçükçekmece, Köyceğiz, Burdur, Hazar ve Çıldır gölleri üzerinde NDVI, NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh}, NDMI ve NWI indeksleri kullanılmıştır. Bu indeksler GEE platformunda Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan indekslerden su yüzeyleri Otsu eşik belirleme yöntemi ile su ve su olmayan yüzey olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Yapılan çalışmanın doğruluğunun değerlendirilmesi için Google Earth Pro tarafından sağlanan WorldView-1/2/3, GeoEye-1 ve Airbus'ın Pleiades yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan indekslerin su yüzeylerini tespit etmedeki başarılarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı McNemar testi ile değerlendirilmiştir. Bu çalışma farklı coğrafya ve su karakteristiklerinde UA algılama teknikleri ile su yüzeylerinin belirlenmesinde kullanılacak su çıkarma indeksinin seçiminde rehber niteliği taşımaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Çalışma alanı

Küçükçekmece Gölü, İstanbul İli sınırları içerisinde Küçükçekmece, Avcılar, Bakırköy ve Başakşehir ilçeleri arasında yer alan hafif tuzlu bir göldür (41° 0' 20" K, 28° 44' 49" D) (Aydingün ve Aydingül, 2020). Küçükçekmece gölü kuzeyden gelen Nakkaş, Sazlıdere ve Eşkinöz dereleri ile beslenmektedir. Küçükçekmece Gölü 10 km uzunluğa ve 6 km genişliği ile ortalama 16 km² yüzölçümüne sahiptir. Bathenoa adlı kentin bu gölün altında olduğu düşünülmekte olup arkeolojik yönden birçok araştırma ve çalışmaya konu olmuştur (Kaya, 2019). Küçükçekmece Gölü ve çevresi coğrafi olarak geniş düzlüklere sahip az dalgalı formda bir topografyaya sahiptir. Bölgede Marmara iklimi hâkim olup kışlar serin ve yağışlı, yaz aylarında ise sıcak ve kuraktır.

Köyceğiz Gölü Muğla İli sınırlarında yer alan Dalaman Çayı'nın getirdiği alüvyonların körfezin önünü tıkamasıyla oluşmuş alüvyal bir set gölüdür (36° 54' 44" K, 28° 39' 19" D) (Türedi, 2006). Göl yaklaşık 52 km²lik yüzölçümü ile Türkiye'nin 16. büyük gölü olma özelliğine sahiptir. Göl Namnam Çayı, Kargıcak Çayı, Yuvarlak Çayı ve kaynak sularla beslenmektedir. Köyceğiz Gölünün çevresinde tepelik alanlar bulunmakla birlikte bölgenin güneybatısındaki Ülemez Tepe 937 m yüksekliği ile bölgenin en yüksek noktalarından biridir. Bölgede genel olarak Akdeniz ikliminin etkisi altında olup, yaz ayları genelde sıcak ve kurak, kış aylarında ise ılıman ve yağışlı geçmektedir. Bölgenin yıllık ortalama yağışı 1082.6 mm sıcaklığı ise ortalama 18.3 °C civarındadır (Selim vd., 2016).

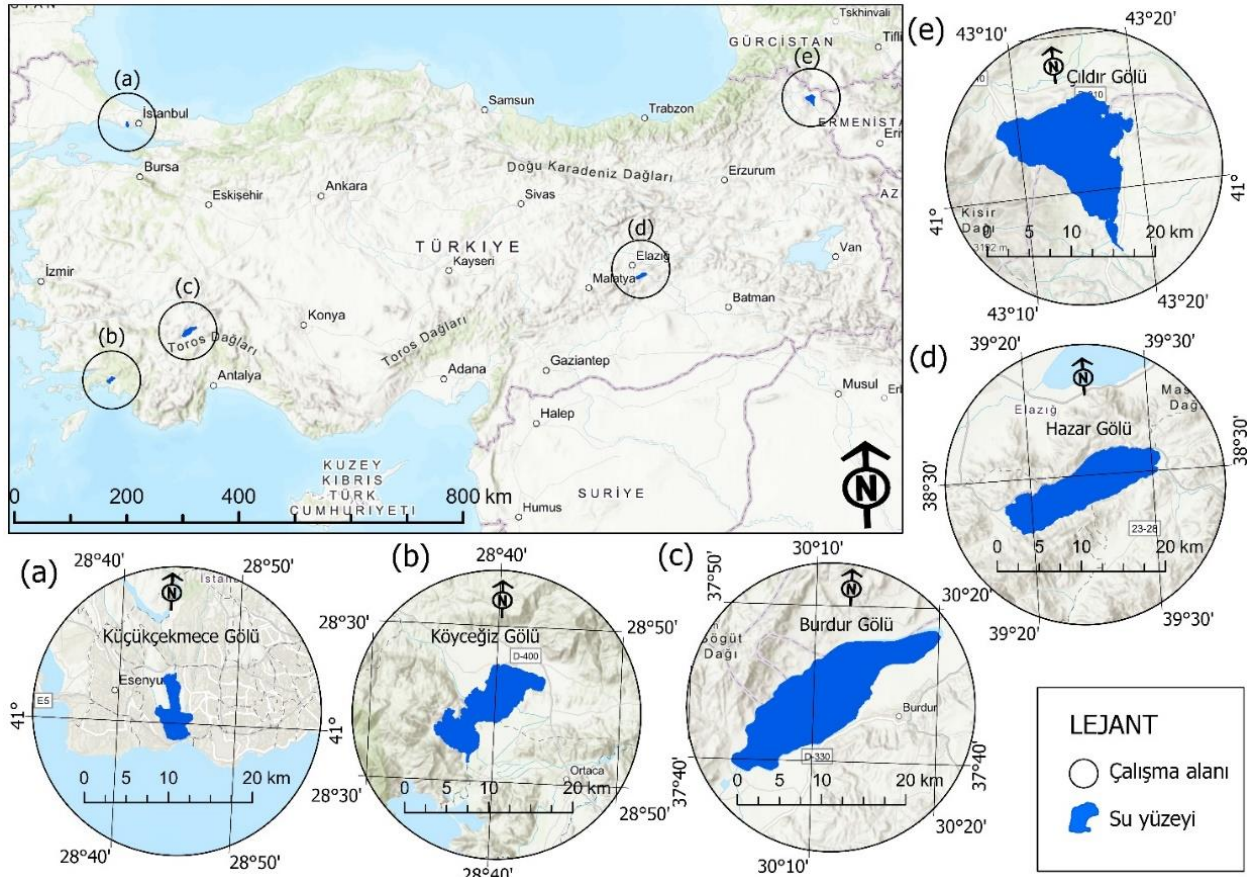
Burdur Gölü, Burdur ve Isparta illeri arasında yer alan tektonik bir göldür (37° 44' 1" K, 30° 10' 41" D). Göller Bölgesinin en büyük göllerinden birisi olma özelliğini taşımaktadır. Göl yüzey alanı ortalama 153 km² Türkiye'de büyüklük açısından yedinci sırada yer alır. Göl suyu deniz suyuna göre iki kat daha fazla tuzludur. Bölgedeki iklim yapısı Akdeniz ve Orta Anadolu step ikliminin etkisindedir. Bu nedenle Akdeniz Bölgesine göre daha az yağış alırken, İç Anadolu step iklimine göre ise daha fazla yağış almaktadır (Kaplan, 2019). Yıllık ortalama sıcaklık 13 °C ve yıllık ortalama yağış ise 405 mm'dir. Yağışlar havzaya düşmesi sonucu Burdur Gölü içerisinde toplanmakta olup yüzey suları yeraltı drenajı ve buharlaşma yoluyla su döngüsüne katılmaktadır (Kaya vd., 2015).

Hazar Gölü Türkiye'nin Elâzığ sınırları içerisinde Sivrice ilçelerine yakın güneybatı-kuzeydoğu yönünde uzanmıştır (38° 29' 4" K, 39° 24' 17" D). Hazar Gölü doğrudan atımlı Doğu Anadolu fay hattı üzerinde oluşan çökmeler sonucu oluşan bir tektonik göldür.

Göl geometrik olarak yaklaşık 20 km uzunluğunda 6 km genişliğe ve 81 km² alana sahip, yaklaşık olarak 2013 m derinliği ile Türkiye'nin en derin göllerinden birisidir. Gölün bulunduğu coğrafya itibari ile deniz seviyesinden olan yüksekliği yaklaşık 1248 m dir. Hazar Gölünün kuzeyde Çelemlik-Mastar sıradağları ile güneyden Hazar-Yaylım dağları ile çevrilidir (Selim vd., 2016). Bölgede karasal iklim hâkim olup, yaz aylarında kurak ve sıcak geçerken kış aylarında ise genelde karlı ve oldukça soğuk geçmektedir.

Bölgede yıllık ortalama sıcaklık değeri 12.9 °C ve yıllık ortalama yağış ise 551.7 mm'dir. Bölgede bitki örtüsü daha çok steplerden oluşmaktadır. Aynı zamanda toprak yapısı olarak genelde kırmızı kahverengi topraklar, kolüvyal ve alüvyal toprak çeşitlerinden oluşmuştur (Özdemir, 2013).

Çalışmanın son gölü olan Çıldır Gölü konum itibari ile Ardahan ve Kars illeri sınırları içerisinde yer almaktadır (41° 2' 40" K, 43° 15' 20" D). Göl yüzeyi yaklaşık 125 km² ile Doğu Anadolu Bölgesi'nin en büyük tatlı su gölü olma özelliğini taşımaktadır. Göl deniz seviyesinden yaklaşık olarak 1960 m yükseklikte olup en derin bölgesi yaklaşık 30 m dir (Zengin vd. 2012). Çıldır Gölü Kısır Dağı'ndan gelen moloz ve Papa Dağı'ndan gelen lav akıntısı ile oluşan bir set gölüdür. Bölgede kestane rengi topraklar ve bazaltik topraklar yaygın olarak görülmektedir. Bölgede karasal iklim şartları hüküm sürmektedir. Ortalama yıllık yağış miktarı 550 mm civarındadır (Aykır ve Fıçıcı, 2022). Çalışma alanına ait harita Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanlarını gösteren harita: a) Küçükçekmece Gölü, b) Köyceğiz Gölü, c) Burdur Gölü, d) Hazar Gölü, e) Çıldır Gölü

2.2. Kullanılan Veri Kaynakları

Bu çalışmada Avrupa Uzay Ajansı (ESA) Copernicus programı tarafından sağlanan optik Sentinel-2 (MSI) görüntüleri kullanıldı. Sentinel-2A ve Sentinel-2B olmak üzere iki takım uydu, 23 Haziran 2015 ve 7 Mart 2017 tarihlerinde faaliyete geçti. Sentinel-2 (MSI) uydu görüntülerine GEE platformundan (collection id: COPERNICUS/S2_SR) erişilebilmektedir (Yılmaz, 2022). Görüntüler daha önceden atmosfer altı yüzey yansımaya değerleri (Bottom-Of-Atmosphere, BOA) düzeltilmiş olarak kullanıcılara servis edilmektedir. Sentinel-2 (MSI) görüntüler toplamda 10 m ile 60 m arasında değişen 13 spektral banttandır oluşmaktadır (Yılmaz vd. 2023). Uydu görüntü seçiminde %10 bulut filtresi uygulanarak bulut oranı en az olan görüntüler seçilmiştir. Her göl için uydu tarih seçimi yapılırken Google Earth Pro da servis edilen yüksek çözünürlüklü görüntü tarihleri baz alınmıştır. Bu sayede elde edilen su yüzey alan sınırları ile Google Earth Pro'daki su yüzey alanları birbirine yakın olması sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin spektral bant bilgileri ve çözünürlükleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Uydu görüntülerine ait özellikleri

Spektral aralık	Dalga boyu (S2A/S2B) (nm)	Mekânsal çözünürlük (m)
Mavi (B2)	496.6/492.1	10
Yeşil (B3)	560/559	10
Kırmızı (B4)	664.5/665	10
NIR (B8)	835.1/833	10
SWIR-1 (B11)	1613.7/1610.4	20
SWIR-1 (B12)	2202.4/2185.7	20
Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A		

Bu çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve tarihleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve tarihleri

Göl	Görüntü	Tarih
Küçükçekmece	COPERNICUS/S2_SR/20210328T085559_20210328T085659_T35TPF	28.03.2021
Köyceğiz	COPERNICUS/S2_SR/20201011T084911_20201011T085325_T35SPB	11.10.2020
Burdur	COPERNICUS/S2_SR/20201102T084119_20201102T084124_T36STG	02.11.2020
Hazar	COPERNICUS/S2_SR/20210706T080611_20210706T081239_T37SEC	06.07.2021
Çıldır	COPERNICUS/S2_SR/20181017T075921_20181017T080815_T38TLL	17.10.2018

2.3. Metodoloji

2.3.1. Kullanılan İndeksler

Su yüzeylerinin tespit edilmesinde birçok yöntem kullanılmış olsa da spektral su indekslerinin kullanılması pratik ve doğruluğu birçok çalışmayla kanıtlanmıştır. Günümüzde su yüzeylerinin tespit edilmesi için çeşitli uydu görüntülerini destekleyen ya da tüm uydu görüntülerinde kullanılan birçok indeks geliştirilmiştir. Bu çalışmada su yüzeylerinin tespit edilmesinde literatürde en yaygın kullanılan indeksler seçilmiştir. Bu indeksler GEE platformunda JavaScript kodları ile hesaplanmıştır. Kullanılan indeksler formülleri ve referansları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan indeks ve formülleri

İndeks	Formül	Referans
NDVI	$\frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$	(Rouse vd., 1974)
NDWI1	$\frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$	(McFeeters, 1996)
NDWI2	$\frac{(Red - SWIR)}{(Red + SWIR)}$	(Rogers ve Kearney, 2004)
MNDWI	$\frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$	(Xu, 2006)
AWEI _{nsh}	$4x(Green - SWIR1) - (0,25xNIR + 2,75xSWIR2)$	(Feyisa vd., 2014)
AWEI _{sh}	$Blue + 2,5 x Green - 1,5 x (NIR + SWIR1) - 0,25 x SWIR2$	(Feyisa vd., 2014)
NDMI	$\frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$	(Gao, 1996)
NWI	$\frac{Blue - (NIR + SWIR1 + SWIR2)}{Blue + (NIR + SWIR1 + SWIR2)}$	(Ding, 2009)

2.3.2. Otsu Eşikleme Yöntemi

Hesaplanan indekslerden su yüzeyini tespit etmek için uygun eşik değerinin belirlenmesi gerekir. Bu eşik belirleme histogramlar kullanılarak manuel belirlenebilse de hem zaman alıcı hem su ile diğer detayların karışmasına neden olacak hatalar oluşabilmektedir (Rad vd., 2021). Bu yüzden eşik değeri otomatik belirleyen çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler içerisinde Otsu eşikleme yöntemi oldukça fazla tercih edilmektedir (Cordeiro vd., 2021; Donchyts vd., 2016; Rad vd., 2021). Otsu eşikleme tekniği herhangi bir görüntü için bimodal histogramda sınıf içi varyansı $\sigma^2(t)$ maksimize eder. Bir resimdeki pikseller L gri seviyeleri ile $[1,2,3, \dots, L - 1]$ sunulur. Bir görüntü özelinde genelleştirecek olursak $n(i)$, n toplam piksel sayısı ile i ise o seviyedeki pikseli ifade eder. Her bir gri seviyedeki $p(i)$ 'nin meydana gelme olasılığı eşitlik 1 ile ifade edilir (Sekertekin, 2021).

$$p(i) = \frac{n(i)}{N}, \quad p(i) \geq 0, \quad \sum_{i=0}^{L-1} p(i) = 1 \quad (1)$$

Histogramın sıfırinci $\omega(t)$ ve t 'inci seviyeye kadar olan birinci dereceden kümülatif momentleri $\mu(t)$ ve resmin ortalama gri seviyesi μ_T sırası ile Eşitlik (2-3) ile elde edilir.

$$\omega(t) = \sum_{i=0}^t p(i) \quad (2)$$

$$\mu(t) = \sum_{i=0}^t i x p(i) \quad (3)$$

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i x p(i) \quad (4)$$

optimal eşik değeri olan t^* ise eşitlik 5 ile hesaplanır.

$$t^* = \max_{t \in G} \sigma_B^2(t) \quad (5)$$

bu eşitlikteki $\sigma_B^2(t)$ ise eşitlik 6 ile ifade edilir.

$$\sigma_B^2(t) = \frac{[\mu_T \omega(t) - \mu(t)]^2}{\omega(t)[1 - \omega(t)]} \quad (6)$$

Otsu eşikleme yöntemi, her bir indeksin histogramdaki piksel değerlerini analiz ederek, su ve su olmayan pikseller arasındaki eşik değerini otomatik olarak hesaplar. Bu yöntem, indeks değerlerindeki farklılıkları kullanarak, su ve su olmayan alanları otomatik olarak ayırmayı sağlar. Belirlenen eşik değeri, her bir indeks için bir maske olarak kullanılır ve su ve su olmayan alanlar ayrılmış olur.

2.3.1. Doğruluk Değerlendirmesi

Otsu eşikleme yöntemiyle elde edilen su ve su olmayan sınıfların doğruluk değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla yüksek çözünürlüğe sahip Google Earth Pro'dan sağlanan yüksek çözünürlüklü WorldView-1/2/3, GeoEye-1 ve Airbus'ın Pleiades uydu görüntüleri kullanılmıştır. Küçükçekmece, Köyceğiz, Burdur, Hazar ve Çıldır gölleri için göllerin büyüklüklerine göre rastgele seçilmiş noktalar kullanılmıştır. Bu noktaların su ve su olmayan yüzeylerdeki dağılımları ve toplam sayıları Tablo 4'te verilmiştir. Bu noktaların her iki görüntüdeki karşılıkları görsel yorumlama ile kontrol edilerek hata matrisi oluşturulmuştur. Hata matrisi gerçek pozitif (GP), yanlış pozitif (YP), gerçek negatif (GN) ve yanlış negatif (YN) olmak üzere dört parametre ile ifade edilir (Tablo 5). Oluşturulan bu hata matrisi kullanılarak GD, Kappa istatistiği ve F1-skor hesaplanmıştır (Eşitlik 7-9).

Tablo 4. Göl yüzeylerinde kullanılan nokta sayıları

Göl	Su yüzeyindeki nokta sayısı	Su olmayan yüzeydeki nokta sayısı	Toplam nokta
Küçükçekmece	485	390	875
Köyceğiz	298	352	650
Burdur	177	515	692
Hazar	286	404	690
Çıldır	345	409	754

Tablo 5. Hata matris tablosu

		Tahmin	
		Su	Su olmayan
Gerçek	Su	GP	YN
	Su olmayan	YP	GN

$$GD = \frac{(GP + GN)}{N} \quad (7)$$

$$Kappa = \frac{\frac{GP}{(GP + YP)} - \frac{(GP + YP) * (GP + YN) + (YN + GN) * (YP + GN)}{(GN + GP + YP + YN)^2}}{1 - \frac{(GP + YP) * (GP + YN) + (YN + GN) * (YP + GN)}{(GN + GP + YP + YN)^2}} \quad (8)$$

$$F1 - skor = \frac{2 * GP}{(2 * GP + YP + YN)} \quad (9)$$

2.3.2. McNemar Testi

Kullanılan indekslerin su yüzeylerini tespit etmedeki başarılarının istatistiksel olarak anlamlılığı McNemar testi ile değerlendirilmiştir (Çölkesen ve Yomraloğlu, 2014). McNemar testi Ki-kare dağılımını esas alan parametrik olmayan bir testtir ve 2x2 boyutunda bir matris ile ifade edilir (Efe ve Algancı, 2022; Foody, 2004). Süreklilik düzeltilmesi getirilmiş Ki-kare değeri eşitlik 10 ile hesaplanır.

$$\chi^2 = \frac{(|f_{12} - f_{21}| - 1)^2}{f_{12} + f_{21}} \quad (10)$$

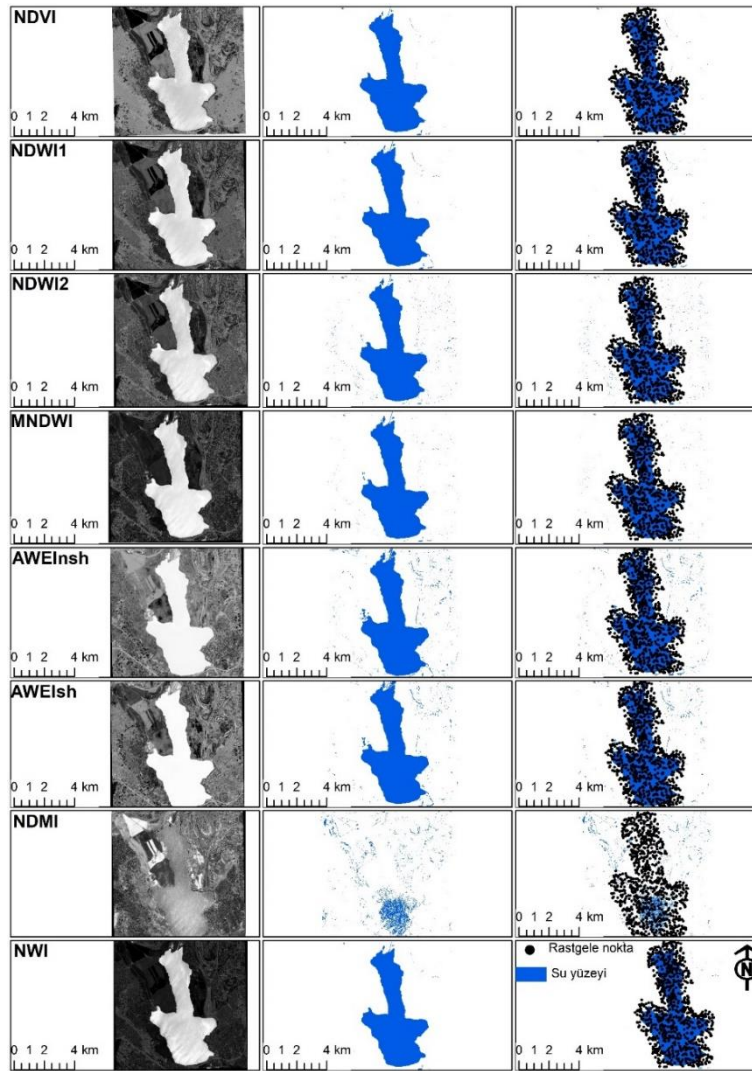
bu denklemden f_{ij} , i metodu tarafından yanlış belirlenen fakat j metodu tarafından doğru tespit edilen su yüzeylerinin örnek sayısını ifade eder. İki yöntem arasındaki fark χ^2 değeri 3.84'ten büyük veya eşit olduğunda %95 güven seviyesinde ($p=0.05$) istatistiksel olarak anlamlıdır. Başka bir ifade ile karşılaştırılan iki yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir doğruluk farkı vardır.

3. Bulgular ve Tartışma

Küçükçekmece Gölü'nün doğruluk değerlendirmesi Tablo 6'da ve kullanılan indekslere göre elde edilen göl yüzeyleri Şekil 2'de sunulmuştur. Kullanılan indeksler arasında, NDWI1 en yüksek performansı göstererek GD oranı %98.29, Kappa istatistiği 0.965 ve F1-skor %98.47 değerlerini elde etmiştir. Diğer yandan, NDMI GD oranı %48.57, Kappa istatistiği 0.047 ve F1-skor %30.77 değerleriyle kötü performans göstermiştir. İnceleme sonucunda, özellikle AWEI_{sh} ve MNDWI indeksleri gölgelik alanlar için üretilmiş indeksler olduğundan, diğer indekslere göre oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. NDVI bitki indeksi de su yüzeylerini çıkarmada en başarılı ikinci indeks olarak ortaya çıkmıştır. Ayrıca, Şekil 2'de incelendiğinde NDMI indeksi özellikle su yüzeylerini tespit etmede başarısız olmuştur. AWEI_{sh}, AWEI_{insh} ve NDWI2 indeksleri ile elde edilen su yüzey alanları, diğer indekslerle karşılaştırıldığında daha fazla gürültü içermektedir. Doğruluk değerlendirmesi sonuçları da bu tespiti desteklemektedir.

Tablo 6. Küçükçekmece Gölü'nün doğruluk analizi

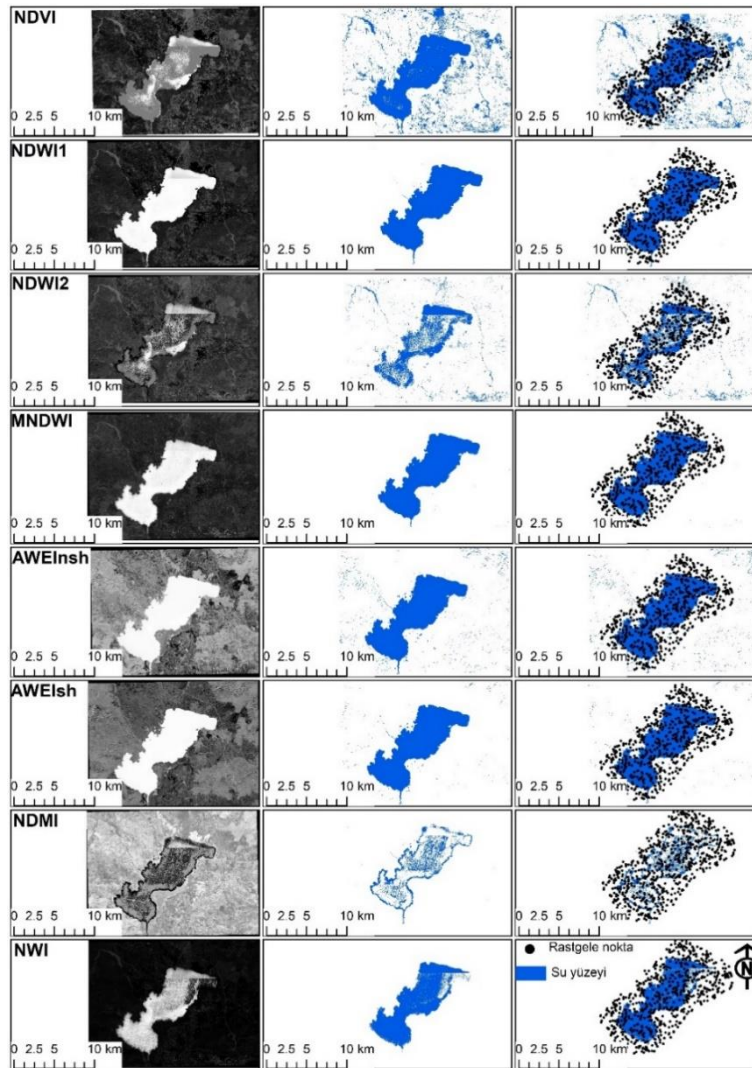
Göl	Kullanılan indeksler	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)	Alan (km ²)
Küçükçekmece Gölü	NDVI	98.06	0.961	98.26	16.01
	NDWI1	98.29	0.965	98.47	16.11
	NDWI2	97.03	0.940	97.36	15.90
	MNDWI	97.49	0.949	97.77	16.01
	AWEI _{nsh}	95.43	0.906	96.05	16.42
	AWEI _{sh}	96.00	0.918	96.52	16.58
	NDMI	48.57	0.047	30.77	-
	NWI	98.17	0.963	98.36	15.89

**Şekil 2.** Küçükçekmece gölünün farklı indekslere göre elde edilmiş yüzey sınırları

Köyceğiz Gölü'nün doğruluk değerlendirilmesi Tablo 7'de yer almakta ve kullanılan indekslere göre elde edilen göl yüzeyleri Şekil 3'te sunulmuştur. Köyceğiz Gölü'nde, diğerlerine göre NDWI1 indeksi en yüksek performansı göstermiştir; GD oranı %98, Kappa istatistiği 0.958 ve F1-skor %97.46 olarak hesaplanmıştır. En düşük performansı ise NDMI indeksi göstermiştir; GD oranı %54.92, Kappa istatistiği 0.025 ve F1-skor %36.99 olarak hesaplanmıştır. Diğer indeksler arasında AWEI_{sh} en yüksek ikinci performansı gösterirken, MNDWI indeksi üçüncü sırada yer almıştır. Şekil 3 incelendiğinde, özellikle NDVI, NDWI2 ve AWEI_{nsh} indekslerinde gürültü seviyesinin yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 7. Köyceğiz Gölü'nün doğruluk analizi

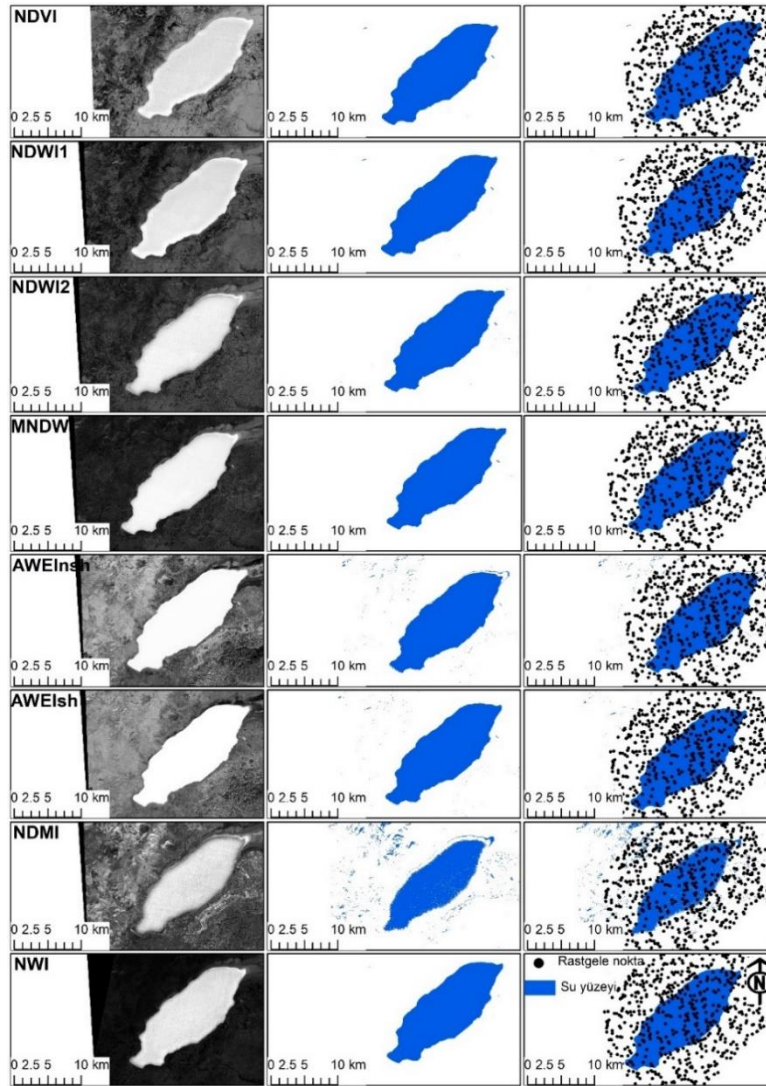
Göl	Kullanılan indeksler	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)	Alan (km ²)
Köyceğiz Gölü	NDVI	91.23	0.822	89.73	52.39
	NDWI1	98.00	0.958	97.46	52.59
	NDWI2	79.54	0.537	67.00	-
	MNDWI	97.23	0.942	96.43	51.35
	AWEI _{nsh}	96.92	0.984	96.18	53.76
	AWEI _{sh}	97.38	0.946	96.74	54.07
	NDMI	54.92	0.025	36.99	-
	NWI	92.92	0.848	90.30	-

**Şekil 3.** Köyceğiz gölünün farklı indekslere göre elde edilmiş yüzey sınırları

Burdur Gölü'nün doğruluk değerlendirmesi Tablo 8'de, kullanılan indekslere göre elde edilen göl yüzeyleri ise Şekil 4'te sunulmuştur. Burdur Gölü'nde hesaplanan indeksler arasında NDVI ve NDWI1 indeksleri GD, Kappa ve F1-skor sırasıyla %99.86, 0.996 ve %99.72 olarak diğerlerine göre en yüksek performansı göstermiştir. En düşük performans ise NDMI indeksinde GD, Kappa ve F1-skor sırasıyla %89.60, 0.703 ve %76.77 olarak hesaplanmıştır. AWEI_{sh} indeksi ikinci sırada, MNDWI ve NWI ise üçüncü sırada başarı sağlamıştır. Şekil 4 incelendiğinde özellikle AWEI_{nsh} ve NDMI indekslerinde gürültünün fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 8. Burdur Gölü'nün doğruluk analizi

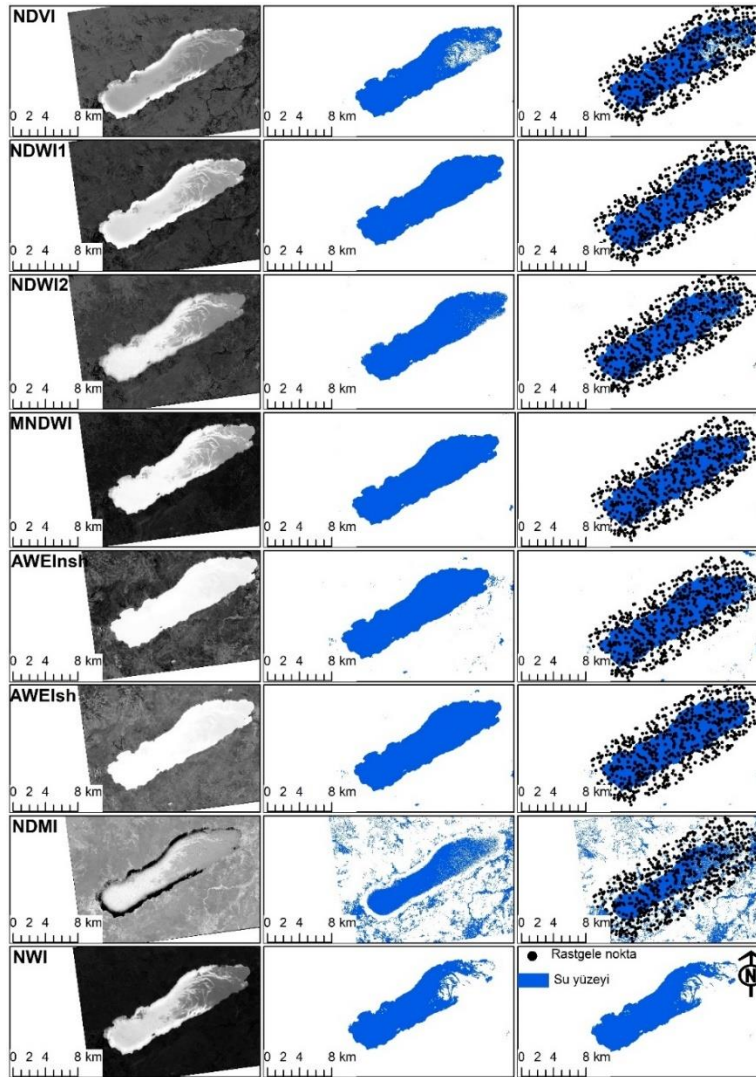
Göl	Kullanılan indeksler	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)	Alan (km ²)
Burdur Gölü	NDVI	99.86	0.996	99.72	122.33
	NDWI1	99.13	0.977	98.29	122.49
	NDWI2	99.42	0.985	98.88	123.58
	MNDWI	99.57	0.989	99.16	123.49
	AWEI _{nsh}	98.55	0.962	97.18	120.17
	AWEI _{sh}	99.71	0.992	99.44	122.57
	NDMI	89.60	0.703	76.77	-
	NWI	99.57	0.988	99.15	121.81

**Şekil 4.** Burdur gölünün farklı indekslere göre elde edilmiş yüzey sınırları

Hazar Gölü'nün doğruluk değerlendirmesi Tablo 9'da, kullanılan indekslere göre elde edilen göl yüzeyleri ise Şekil 5'te verilmiştir. Hazar Gölü'nde hesaplanan indeksler arasında NDWI1 indeksi, GD, Kappa ve F1-skor sırasıyla %98.55, 0.971 ve %98.48 ile diğerlerine göre en yüksek performans göstermiştir. En düşük performans ise NDMI indeksi için GD, Kappa ve F1-skor sırasıyla %71.16, 0.416 ve %66.21 olarak hesaplanmıştır. AWEI_{sh} indeksi ikinci sırada yer alırken, MNDWI indeksi üçüncü sırada yer almıştır. Şekil 5 incelendiğinde, özellikle NDMI indeksinde aşırı, AWEI_{nsh} indeksinde ise bir miktar gürültü olduğu görülmüştür.

Tablo 9. Hazar Gölü'nün doğruluk analizi

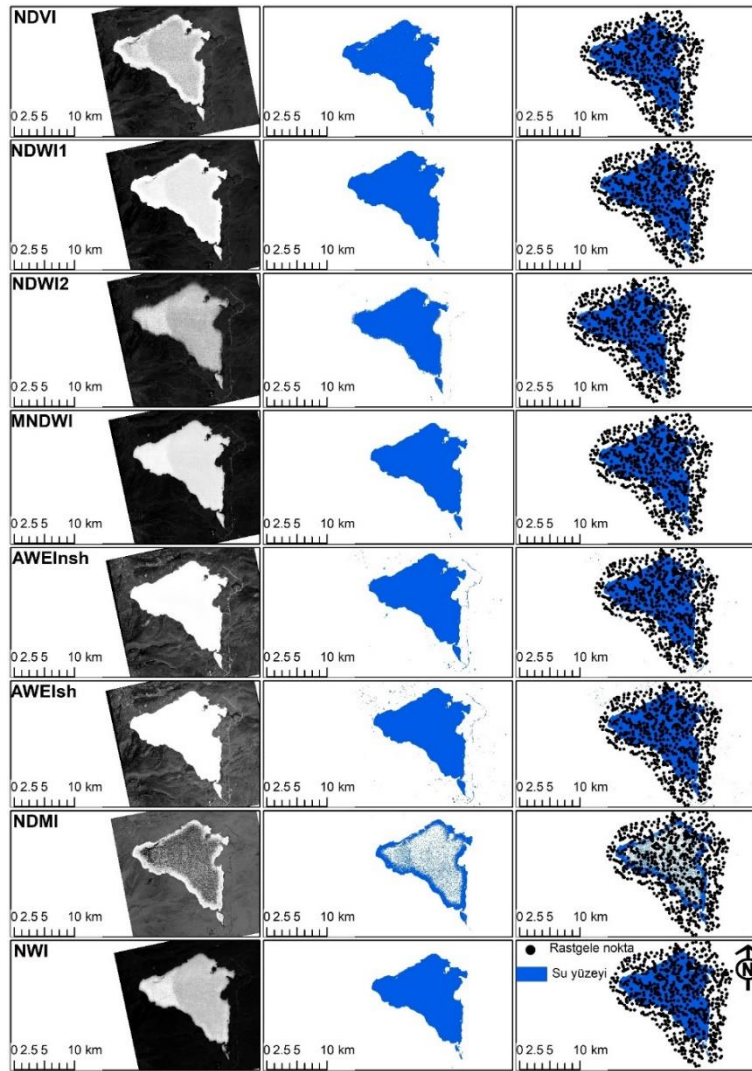
Göl	Kullanılan indeksler	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)	Alan (km ²)
Hazar Gölü	NDVI	92.46	0.848	91.53	-
	NDWI1	98.55	0.971	98.48	79.06
	NDWI2	96.23	0.924	95.95	74.93
	MNDWI	97.83	0.956	97.70	78.58
	AWEI _{nsh}	97.68	0.954	97.60	79.91
	AWEI _{sh}	98.26	0.965	98.19	79.69
	NDMI	71.16	0.416	66.21	-
	NWI	88.41	0.765	86.25	-

**Şekil 5.** Hazar gölünün farklı indekslere göre elde edilmiş yüzey sınırları

Çıldır Gölü'nün doğruluk değerlendirilmesi Tablo 10'da, kullanılan indekslere göre elde edilen göl yüzeyleri ise Şekil 6'da sunulmuştur. Çıldır Gölü'nde hesaplanan indeksler arasında NDWI1 indeksi, GD, Kappa ve F1-skor ölçütlerine göre %98.94, 0.979 ve %98.84 ile diğerlerine kıyasla en yüksek performansı göstermiştir. En düşük performans ise NDMI indeksi için hesaplanmıştır; GD, Kappa ve F1-skor sırasıyla %74.93, 0.473 ve %62.87 olarak hesaplanmıştır. Çıldır Gölü'nde, NDVI indeksi ikinci, MNDWI indeksi ise üçüncü sırada performans göstermiştir. Şekil 6 incelendiğinde, özellikle NDMI indeksinin su yüzeyini çıkarmada oldukça başarısız olduğu görülmüştür. Ayrıca, AWEI_{sh} ve AWEI_{nsh} indekslerinde de fazla gürültü olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 10. Çıldır Gölü'nün doğruluk analizi

Göl	Kullanılan indeksler	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)	Alan (km ²)
Çıldır Gölü	NDVI	98.67	0.988	98.55	121.64
	NDWI1	98.94	0.979	98.84	123.09
	NDWI2	95.62	0.911	95.05	112.08
	MNDWI	98.67	0.973	98.55	122.56
	AWEI _{nsh}	98.14	0.963	98.01	124.82
	AWEI _{sh}	98.14	0.963	98.01	124.63
	NDMI	74.93	0.473	62.87	-
	NWI	98.01	0.960	97.80	118.62

**Şekil 6.** Çıldır gölünün farklı indekslere göre elde edilmiş yüzey sınırları

Bu çalışmada kullanılan indekslerin doğrulukları Tablo 11'de verilmiştir. Verilen sonuçlara göre NDVI indeksinde GD değeri minimum %91.23, maksimum %99.86, Kappa istatistiği minimum 0.822, maksimum 0.996 ve F1-skor minimum %91.53, maksimum %99.72 olarak hesaplandı. NDWI1 indeksinde ise GD değeri minimum %98.00, maksimum %99.86, Kappa istatistiği minimum 0.958, maksimum 0.996 ve F1-skor minimum %97.46, maksimum %99.72 arasında hesaplandı. Benzer şekilde NDWI2 indeksinde GD değeri minimum %79.54, maksimum %99.42, Kappa istatistiği minimum 0.537, maksimum 0.985 ve F1-skor minimum %67.00, maksimum %98.88 olarak hesaplandı.

MNDWI indeksinde GD değeri minimum %97.23, maksimum %99.57, Kappa istatistiği minimum 0.942, maksimum 0.989 arasında ve F1-skor minimum %96.43, maksimum %99.16 olarak hesaplandı. AWEI_{ns} indeksinde ise GD değeri minimum %95.43, maksimum %98.55, Kappa istatistiği minimum 0.906, maksimum 0.984 arasında ve F1-skor minimum %96.05, maksimum %98.01 olarak hesaplandı. AWEI_{sh} indeksinde GD değeri minimum %96.00, maksimum %99.71, Kappa istatistiği minimum 0.918, maksimum 0.992 arasında ve F1-skor minimum %96.52, maksimum %99.44 olarak hesaplandı. NDMI indeksinde GD değeri minimum %48.57, maksimum %89.60, Kappa istatistiği minimum 0.025, maksimum 0.703 ve F1-skor minimum %30.77, maksimum %76.77 olarak hesaplandı. Son olarak NWI indeksinde GD değeri minimum %88.41, maksimum %99.57, Kappa istatistiği minimum 0.765, maksimum 0.989 arasında ve F1-skor minimum %86.25, maksimum %99.15 olarak hesaplandı.

Bu çalışmada Türkiye’de farklı coğrafyalarda yer alan farklı göllerin yüzeyleri çeşitli su çıkarma indeksleri ile tespit edilmiş ve bu indekslerin performansları karşılaştırılmıştır. Özellikle su yüzeylerinin belirlenmesinde birçok yöntem kullanılsa da indeksler üzerinden su yüzeylerinin çıkarılması diğer yöntemlere göre daha pratiktir. İndeksler kullanılarak su yüzeylerini çıkarılmasında eşik belirlemek zaman alıcı ve kullanılacak olan eşik değeri subjektif bir karara neden olabilir (Ji vd., 2009). Bunun nedeni farklı konumlarındaki farklı su kütlelerinde su için sabit bir eşik değerinin olmamasından kaynaklanmaktadır (Worden ve de Beurs, 2020).

Otsu eşik belirleme bu sorunu ortadan kaldırarak indeks üzerinde su ve su olamayan yüzeyleri iki sınıfa ayırabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan indeksler Otsu yöntemi kullanılarak iki sınıfa ayrılmıştır. Bu sayede indeksler karşılaştırılırken manuel eşikten kaynaklı oluşabilecek hatalarında önüne geçilmiş oldu. Su yüzeylerini belirlenmesinde kullanılan indekslerin karşılaştırıldığı farklı çalışmalarda yapılmıştır. Yang vd. (2018) Kentsel alanlarda farklı bölgelerde su kütlelerini NDMI ve AWEI_{sh} indekslerini kullanarak Sentinel-2 görüntüleri üzerinden tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada her iki indekste de GD değerleri %96.86 ile %99.53 arasında değişmiştir. Yapılan bu çalışmada kullanılan AWEI_{sh} indeksi özellikle kentsel alanlarda su yüzeylerinde oluşacak gölge etkisini dikkate alır. Buna ek olarak su yüzeylerinde oluşacak gölge etkisini minimize eden MNDWI indeksi kullanılmaktadır. Bu çalışmada özellikle kentsel dokudan etkilenen Küçükçekmece Gölü için kullanılan AWEI_{sh} ve MNDWI indeksleri GD sırasıyla %96.00 ve %97.49 hesaplanmıştır. Her iki çalışmada bulunan bu sonuçlar birbiriyle uyumludur. Bu çalışmada kullanılan NDVI indeksi, esas olarak yeşil bitki örtüsünü diğer yüzeylerden ayırmak için geliştirilmiştir. Küçükçekmece Gölü’nün etrafında kentsel dokunun yanında yeşil bitki örtüsü de yoğun bulunmaktadır. Bu göl üzerinde NDVI indeksi su ve bitki örtüsü farkını daha belirgin hale getirerek su yüzeyini tespitinde belirgin bir başarı göstermiştir. Yapılan bir başka çalışmada Worden ve Beurs (2020) Landsat görüntüleri kullanarak su yüzeylerini belirlemede NDWI, MNDWI, AWEI_{sh} ve AWEI_{ns} olmak üzere dört farklı indeksi karşılaştırmışlardır. Yapılan karşılaştırma sonucunda GD değerinin %93.00 ile MNDWI indeksinin diğerlerine göre daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada MNDWI indeksi tüm göllerde %97 üzerinde bir doğrulukla su yüzeylerini belirlemeyi başardı. Benzer başka bir çalışmada ise Zhai vd. (2015) Landsat OLI ve TM görüntüleri üzerinde NDVI, NDWI, MNDWI ve AWEI indekslerinin perforasyonlarını karşılaştırmışlardır. Bu amaçla şehir alanı ve kırsal alan olmak üzere iki farklı bölge seçmişlerdir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre OLI görüntülerde AWEI indeksi şehir de %97.61 kırsalda ise %95.34 GD değerleri hesaplanmıştır. TM görüntülerinde ise şehirde %97.10, kırsalda ise %96.83 GD değerleri hesaplanmıştır. Benzer şekilde MNDWI indeksi OLI görüntülerde şehir de %97,28 kırsalda ise %96.86 GD değerleri hesaplanmıştır. TM görüntülerinde ise şehirde %96.94, kırsalda ise %96.03 GD değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda bu AWEI ve MNDWI indekslerinin OLI görüntülerde diğerlerine göre daha başarılı olduğunu tespit etmişlerdir. Elde edilen bu sonuçlar indekslerin su yüzeylerini çıkarmada yüksek başarı gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmadaki sonuçlar ile karşılaştırıldığında bu indekslerin doğruluk oranlarına çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Su yüzeylerinin belirlenmesinde kullanılan indekslerin performansı çok değişik faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Etrafı boş arazilerden oluşan temiz sularda neredeyse tüm indeksler yüksek başarı sergilerken, yüzeyi yeşilin tonlarına çalan ve etrafında gölge oluşturacak unsurların varlığında bu indekslerin performansları değişmektedir. AWEI_{sh} ve MNDWI indeksleri özellikle bu tip sularda oldukça başarılı olmuştur. Özellikle bitkilerdeki nem seviyesini ölçmeye yarayan NDMI indeksi bu çalışmada tüm göllerde kötü performans göstermiştir. Elshahi vd. (2016) yaptıkları çalışmada bu çalışmayı doğrular nitelikte NDMI indeksinin su yüzeylerini bulmadaki performansının kötü olduğunu ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde Naik ve Anuradha (2018) çalışmalarında NDVI, NDMI, NDWI ve MNDWI indekslerini karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlarda bu çalışmadaki sonuçlara benzer şekilde NDMI indeksinin su yüzeylerini tespit etmede uygun olmadığını bildirmişlerdir.

Yapılan bu çalışma ve literatürde daha önceki çalışmalar incelendiğinde özellikle su yüzeylerinin belirlenmesinde su karakteristiği, çalışma alanı, arazi kullanımı gibi faktörlerin spektral yansımaları değiştirmesi ve bundan kaynaklı indekslerin doğruluk açısından farklı performans sergilediği görülmektedir. Genel olarak NDWI, MNDWI ve AWEI indekslerinin %90 üzerinde bir doğruluk ile su yüzeylerini belirleyebildiği ve diğerlerine göre daha başarılı olduğu bu çalışmayla ve diğer çalışmayla desteklenmiştir.

Tablo 11. İndekslere göre doğruluk değerlendirilmesi

İndeks	GD (%)	Kappa	F1-skor (%)
NDVI	98.06	0.961	98.26
	91.23	0.822	89.73
	99.86	0.996	99.72
	92.46	0.848	91.53
	98.67	0.988	98.55
NDWI1	98.29	0.965	98.47
	98.00	0.958	97.46
	99.86	0.996	99.72
	98.55	0.971	98.48
	98.94	0.979	98.84
NDWI2	97.03	0.940	97.36
	79.54	0.537	67.00
	99.42	0.985	98.88
	96.23	0.924	95.95
	95.62	0.911	95.05
MNDWI	97.49	0.949	97.77
	97.23	0.942	96.43
	99.57	0.989	99.16
	97.83	0.956	97.70
	98.67	0.973	98.55
AWEI _{nsh}	95.43	0.906	96.05
	96.92	0.984	96.18
	98.55	0.962	97.18
	97.68	0.954	97.60
	98.14	0.963	98.01
AWEI _{sh}	96.00	0.918	96.52
	97.38	0.946	96.74
	99.71	0.992	99.44
	98.26	0.965	98.19
	98.14	0.963	98.01
NDMI	48.57	0.047	30.77
	54.92	0.025	36.99
	89.60	0.703	76.77
	71.16	0.416	66.21
	74.93	0.473	62.87
NWI	98.17	0.963	98.36
	92.92	0.848	90.30
	99.57	0.988	99.15
	88.41	0.765	86.25
	98.01	0.960	97.80

Bu çalışmada kullanılan indekslerin su yüzeylerini belirlemedeki doğruluk farklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıkları McNemar testi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan indeksler çalışma bölgelerinin farklılıkları ve doğruluk değerlendirilmesinde kullanılan nokta sayıları göz önünde bulundurularak her bölge için ayrı ayrı McNemar testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 12’de verilmiştir.

Küçükçekmece Gölü’nde kullanılan su çıkarma indeksleri için yapılan McNemar testinde NDVI indeksinin diğer indekslerle ikili karşılaştırılması sonucu NDWI1, NDWI2 MNDWI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre NDWI1, NDWI2, MNDWI ve NWI indeksleri su yüzeylerini belirlemedeki doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NDMI indekslerinde ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI1 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, NDWI2, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre MNDWI ve NWI indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI2 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI ve AWEI_{sh} indekslerinin χ^2 değeri 3.84’ten küçük, AWEI_{nsh}, NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre NDWI2 indeksi ile MNDWI ve AWEI_{sh} arasında doğruluk değerlendirmesindeki farklılıklar anlamlı değilken diğer indeksler arasında ise anlamlı bir fark olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde MNDWI indeksi ile yapılan ikili karşılaştırmalarda ise NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI indeksi ile NWI indeksi doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NDMI indeksleri ile ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer indeks olan AWEI_{nsh} indeksi ile yapılan ikili karşılaştırma sonucunda AWEI_{sh} indeksinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük iken NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre AWEI_{nsh} indeksi ile AWEI_{sh} indeksinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. AWEI_{sh} indeksinin ikili karşılaştırma sonucu incelendiğinde ise NDMI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten büyük çıkmıştır. AWEI_{sh} indeksi ile NDMI ve NWI doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Son olarak ise yapılan karşılaştırmada NDMI indeksi ile NWI indeksinde ise χ^2 değeri 3.84’ten büyük çıkmış bu iki indeks arasında da doğruluk değerlendirmesi farkları istatistiksel olarak anlamlıdır.

Köyceğiz Gölü’nde kullanılan su çıkarma indeksleri için yapılan McNemar testinde NDVI indeksinin diğer indekslerle ikili karşılaştırılması sonucu NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre NWI indeksleri su yüzeylerini belirlemedeki doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indekslerinde ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI1 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI, AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, NDWI2, NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre MNDWI, AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Bir diğer indeks olan NDWI2’nin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise NDMI indekslerinin χ^2 değeri 3.84’ten küçük, MNDWI, AWEI_{nsh} AWEI_{sh} ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre NDWI2 indeksi ile NDMI arasında doğruluk değerlendirmesindeki farklılıklar anlamlı değilken diğer indeksler arasında ise anlamlı bir fark olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde MNDWI indeksi ile yapılan ikili karşılaştırmalarda ise AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indeksinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI indeksi AWEI_{nsh} ve AWEI_{sh} indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI ve NWI ile ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer indeks olan AWEI_{nsh} indeksi ile yapılan ikili karşılaştırma sonucunda AWEI_{sh} indeksinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük iken NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre AWEI_{nsh} indeksi AWEI_{sh} indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. AWEI_{sh} indeksinin ikili karşılaştırma sonucu incelendiğinde ise NDMI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten büyük çıkmıştır. AWEI_{sh} indeksi diğer NDMI ve NWI indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. NDMI indeksi ile NWI indeksinde ise χ^2 değeri 3.84’ten büyük çıkmış bu iki indeks arasında da doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür.

Burdur Gölü’nde kullanılan su çıkarma indeksleri için yapılan McNemar testinde NDVI indeksinin diğer indekslerle ikili karşılaştırılması sonucu NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{sh} ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, AWEI_{nsh} ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{sh} ve NWI indeksleri su yüzeylerini belirlemedeki doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı AWEI_{nsh} ve NDMI indekslerinde ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI1 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise NDWI2, MNDWI, AWEI_{ns} ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84’ten küçük, AWEI_{nsh} ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre NDWI2, MNDWI, AWEI_{ns} ve NWI indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI2 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NWI indekslerinin χ^2 değeri 3.84’ten küçük, NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. NDWI2 indeksi ile MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh} ve NWI indeksleri arasında doğruluk değerlendirmesindeki farklılıklar anlamlı değilken NDMI indeksi ile anlamlı bir fark

olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde MNDWI indeksi ile yapılan ikili karşılaştırmalarda ise $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI indeksi $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI indeksi ile ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer indeks olan $AWEI_{nsh}$ indeksi ile yapılan ikili karşılaştırma sonucunda NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük iken $AWEI_{sh}$ ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre $AWEI_{nsh}$ indeksi ile NWI indeksinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. $AWEI_{sh}$ indeksinin ikili karşılaştırma sonucu incelendiğinde ise NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. $AWEI_{sh}$ indeksi ile NWI indeksinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI indeksinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Son olarak ise yapılan karşılaştırmada NDMI indeksi ile NWI indeksinde ise χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmış bu iki indeks arasında da doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür.

Hazar Gölü için yapılan McNemar testinde NDVI indeksinin diğer indekslerle ikili karşılaştırılması sonucu NDWI1, NDWI2, MNDWI, $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$, NDMI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmıştır. Bu indekslerin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI1 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI, $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük, NDWI2, NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI, $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI2 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise $AWEI_{nsh}$ indeksinin χ^2 değeri 3.84'ten küçük, MNDWI, $AWEI_{sh}$, NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlar NDWI2 indeksi ile $AWEI_{nsh}$ arasında doğruluk değerlendirmesindeki farklılıkların anlamlı olmadığını, diğer indeksler arasında ise anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde MNDWI indeksi ile yapılan ikili karşılaştırmalarda ise $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI indeksi $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI ve NWI indeksleri ile ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer indeks olan $AWEI_{nsh}$ indeksi ile yapılan ikili karşılaştırma sonucunda $AWEI_{sh}$ indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük iken NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. $AWEI_{nsh}$ indeksi ile $AWEI_{sh}$ indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. $AWEI_{sh}$ indeksinin ikili karşılaştırma sonucu incelendiğinde ise NDMI ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmıştır. $AWEI_{sh}$ indeksi diğer NDMI ve NWI doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. Son olarak ise yapılan karşılaştırmada NDMI indeksi ile NWI indeksinde ise χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmış bu iki indeks arasında da doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür.

Çalışma bölgesinin son gölü olan Çıldır Gölü için yapılan McNemar testinde NDVI indeksinin diğer indekslerle ikili karşılaştırılması sonucu NDWI1, MNDWI, $AWEI_{sh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük, NDWI2 ve NDMI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre NDWI1, MNDWI, $AWEI_{sh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indeksleri su yüzeylerini belirlemedeki doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı NDWI2 ve NDMI indekslerinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. NDWI1 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI, $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indekslerinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük, NDWI2, NDMI ve NWI indekslerinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI, $AWEI_{nsh}$ ve $AWEI_{sh}$ indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. NDWI2 indeksinin diğer indekslerle karşılaştırılması sonucunda ise MNDWI, $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$, NDMI ve NWI indeksinin χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmıştır. Bu indekslerin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Benzer şekilde MNDWI indeksi ile yapılan ikili karşılaştırmalarda ise $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. MNDWI indeksi $AWEI_{nsh}$, $AWEI_{sh}$ ve NWI indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI indeksinde ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bir diğer indeks olan $AWEI_{nsh}$ indeksi ile yapılan ikili karşılaştırma sonucunda $AWEI_{sh}$ ve NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük iken NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. $AWEI_{nsh}$ indeksi $AWEI_{sh}$ ve NWI indekslerinin doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, diğerlerinin ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. $AWEI_{sh}$ indeksinin ikili karşılaştırma sonucu incelendiğinde ise NWI indeksinde χ^2 değeri 3.84'ten küçük, NDMI indeksinde ise büyük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre $AWEI_{sh}$ indeksi NWI indeksleri doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, NDMI indeksinde ise istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak ise yapılan karşılaştırmada NDMI indeksi ile NWI indeksinde ise χ^2 değeri 3.84'ten büyük çıkmış bu iki indeks arasında da doğruluk değerlendirmesi farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür.

Tablo 12. McNemar testi değerlendirilmesi

İndis 1	İndis 2	Küçükçekmece		Köyceğiz		Burdur		Hazar		Çıldır	
		χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>
NDVI	NDWI1	0.57	0.45	38.52	0.00	3.20	0.07	38.21	0.00	0.50	0.48
NDVI	NDWI2	0.06	0.08	35.16	0.00	0.80	0.37	12.02	0.00	19.36	0.00
NDVI	MNDWI	0.56	0.45	27.24	0.00	0.25	0.62	30.14	0.00	1.00	0.48
NDVI	AWEI _{nsh}	12.25	0.00	22.74	0.00	7.11	0.01	23.56	0.00	0.75	0.39
NDVI	AWEI _{sh}	8.26	0.00	29.25	0.00	0.00	1.00	31.69	0.00	0.75	0.39
NDVI	NDMI	487.44	0.00	47.52	0.00	67.12	0.00	97.33	0.00	171.27	0.00
NDVI	NWI	0.17	0.68	1.21	0.27	0.50	0.45	20.25	0.00	2.29	0.13
NDWI1	NDWI2	5.26	0.02	114.20	0.00	0.80	0.37	14.06	0.00	21.33	0.00
NDWI1	MNDWI	2.77	0.09	2.29	0.13	0.25	0.62	3.20	0.07	0.25	0.62
NDWI1	AWEI _{nsh}	19.86	0.00	2.77	0.10	7.11	0.01	3.13	0.08	2.50	0.11
NDWI1	AWEI _{sh}	15.04	0.00	0.90	0.34	0.00	1.00	0.25	0.62	2.50	0.11
NDWI1	NDMI	490.43	0.00	130.80	0.00	67.12	0.00	179.41	0.00	177.05	0.00
NDWI1	NWI	0.00	1.00	27.68	0.00	0.50	0.45	62.64	0.00	4.00	0.05
NDWI2	MNDWI	1.12	0.29	111.08	0.00	0.00	1.00	9.09	0.00	21.04	0.00
NDWI2	AWEI _{nsh}	5.63	0.02	94.32	0.00	2.08	0.15	3.38	0.07	9.26	0.00
NDWI2	AWEI _{sh}	2.21	0.14	101.73	0.00	0.17	0.68	8.45	0.00	9.26	0.00
NDWI2	NDMI	463.06	0.00	2.18	0.14	64.13	0.00	163.45	0.00	114.41	0.00
NDWI2	NWI	8.10	0.00	69.12	0.00	0.00	1.00	41.31	0.00	14.45	0.00
MNDWI	AWEI _{nsh}	11.12	0.01	0.05	0.82	3.27	0.07	0.00	1.00	0.64	0.42
MNDWI	AWEI _{sh}	6.86	0.01	0.00	1.00	0.00	1.00	0.44	0.51	0.64	0.42
MNDWI	NDMI	470.60	0.00	117.81	0.00	65.13	0.00	174.42	0.00	169.43	0.00
MNDWI	NWI	2.08	0.15	22.78	0.00	0.25	0.62	57.70	0.00	3.20	0.07
AWEI _{nsh}	AWEI _{sh}	1.23	0.27	0.80	0.37	6.12	0.01	2.25	0.13	0.50	0.48
AWEI _{nsh}	NDMI	421.21	0.00	108.82	0.00	51.68	0.00	173.42	0.00	156.87	0.00
AWEI _{nsh}	NWI	13.92	0.00	12.50	0.00	3.27	0.07	47.25	0.00	0.00	1.00
AWEI _{sh}	NDMI	435.60	0.00	115.86	0.00	64.34	0.00	177.42	0.00	156.87	0.00
AWEI _{sh}	NWI	9.82	0.00	16.68	0.00	0.00	1.00	56.11	0.00	0.00	1.00
NDMI	NWI	491.33	0.00	72.45	0.00	65.13	0.00	69.97	0.00	155.88	0.00

4. Sonuç

Herhangi bir bölgedeki yüzey sularının tespit edilmesi ve takip edilmesi su kaynaklarının yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla son yıllarda UA tekniklerinin kullanımı, geniş alanları görüntüleyebilme ve uzun vadeli zaman dilimlerinde takip için oldukça faz tercih edilmektedir. Bunun yanında özellikle gelişen makine öğrenme algoritmaları, su çıkarma indeksleri uydu görüntüleri üzerinde su kaynaklarının haritalanmasında güvenilir bilgiler sağlamaktadır. Bu çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinde dağılmış beş farklı karakteristik ve özellikte göller üzerinde farklı su çıkarma indekslerinin performansları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla özellikle farklı iklim, arazi kullanımı ve topografyaya sahip bölgeler tercih edilmiştir. Küçükçekmece, Köyceğiz, Burdur, Hazar ve Çıldır gölleri bu çalışmada seçilmiştir. Bu göller üzerin yüzeylerini belirlemek için NDVI, NDWI1, NDWI2, MNDWI, AWEI_{nsh}, AWEI_{sh}, NDMI ve NWI indeksleri kullanılmıştır. Belirlenen bu indeksler GEE platformunda Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen indekslere otomatik eşikleme yapabilen Otsu eşik metodu uygulanarak su detaylar diğer detaylardan ayrıştırılmıştır. NDVI indeksi özellikle bitki yoğunluğu tespitinde kullanılmasına rağmen su yüzeylerinin tespiti içinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Bu indeksin tüm göllerde %90 üzerinde bir doğruluk ile su yüzeylerini tespit etmiştir. NDVI indeksi Burdur Gölünde en iyi performansı gösterirken Küçükçekmece Gölünde ikinci sırada yer almıştır. NDWI1 indeksi literatürde yapılan çalışmalarda su yüzeylerini belirlemede en çok tercih edilen indekstir. NDWI1 indeksi tüm göllerde %98 üzerinde bir doğruluk göstermiş ve tüm göllerde su yüzeylerini en başarılı bir şekilde tespit etmiştir. NDWI2 indeksi bu çalışmada Köyceğiz Gölü hariç diğer göllerde %95 üzerinde bir doğrulukla su yüzeylerini tespit etmiştir. MNDWI indeksi NDWI1 indeksinin modifiye edilmiş hali olup su yüzeylerinin tespitinde literatürde fazla tercih edilen indekstir. Bu çalışmada da tüm göllerde %95 üzeri bir başarı sergilemiştir.

AWEL_{sh} ve AWEL_{nsh} indeksleri NDWI1 ve MNDWI indeksleri gibi yapılan çalışmalarda oldukça fazla tercih edilmektedir. Bu çalışmada özellikle AWEL_{sh} indeksinin AWEL_{nsh} indeksine göre daha başarılı olduğu göze çarpmıştır. NDMI indeksi kullanılan indekslerin içerisinde en kötü performans gösteren indeks olmuştur. Özellikle Küçükçekmece Gölü'nde su yüzeyini çıkaramamıştır. Diğer göllerde de performansı oldukça düşük olup görüntülerde gürültü çok fazladır. NWI indeksi Hazar Gölünde %80 üzerinde diğer göllerde ise %95 üzerinde bir performans göstermiştir. Bu indeksin de su yüzeylerini belirlemede başarılı olduğu rahatlıkla söylenebilir. Yapılan genel değerlendirme sonucu incelenen sekiz indeks arasında NDWI1 en başarılı, NDMI ise en başarısız çıkmıştır. NDMI hariç diğerleri su yüzeylerini belirlemede oldukça başarılıdır. Spektral indeksler, su ve diğer detaylar arasındaki farkları en üst düzeye çıkararak su yüzeylerini kolaylıkla ayırmak için sıklıkla tercih edilmektedir. Bu açıdan bu çalışma su yüzeylerinin belirlenmesi için farklı indekslerin seçiminde araştırmacılar tarafından kullanılabilir.

Kaynaklar

- Acar, U., Bayram, B., Şanlı, F. B., Abdikan, S., & Üstüner, M. (2012). Sar görüntülerinden kiye şeridi belirleme algoritması. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 2012. Proceedings.* (pp. 1-8). UZAL-CBS.
- Acharya, T. D., Subedi, A., Yang, I. T., & Lee, D. H. (2017). Combining water indices for water and background threshold in Landsat image. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings, 2(3)*, 143. doi:10.3390/ecsa-4-04902.
- Acharya, T. D., Subedi, A. & Lee, D. H. (2018). Evaluation of water indices for surface water extraction in a landsat 8 scene of Nepal. *Sensors, 18(8)*, 2580. doi:10.3390/s18082580.
- Akar, İ., Maktav, D., & Günal, N. (2012). Göl Yüzeyi Değişimlerinin belirlenmesinde farklı dijital görüntü işleme tekniklerinin kullanılması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 5(4)*, 35-51.
- Ashraf, M., & Nawaz, R. (2015). A Comparison of change detection analyses using different band algebras for baraila wetland with nasa's multi-temporal landsat dataset. *Journal of Geographic Information System, 07(01)*, 1-19.
- Aydın, Ş., & Aydın, H. (2020). İstanbul Küçükçekmece göl havzası'nın tarih öncesi (Paleolitik-Erken tunç çağı). *Amisos, 5(8)*, 7-30.
- Aykır, D., & Fıçıcı, M. (2022). Çıldır Gölü Havzasında erozyon risk analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, 9*, 38-49.
- Bolanos, S., Stiff, D., Brisco, B., & Pietroniro, A. (2016). Operational surface water detection and monitoring using Radarsat 2. *Remote Sensing, 8(4)*, 285. doi: 10.3390/rs8040285.
- Çölkesen, İ., & Yomraloğlu, T. (2014). Arazi örtüsü ve kullanımının haritalanmasında WorldView-2 uydu görüntüsü ve yardımcı verilerin kullanımı. *Harita Dergisi, 152(2)*, 12-24.
- Cordeiro, M. C. R., Martinez, J. M., & Peña-Luque, S. (2021). Automatic water detection from multidimensional hierarchical clustering for Sentinel-2 images and a comparison with Level 2A processors. *Remote Sensing of Environment, 253*, 112209. doi: 10.1016/j.rse.2020.112209.
- Ding, F. (2009). Study on information extraction of water body with a new water index (NWI). *Science of Surveying and Mapping, 34(4)*, 155-158.
- Donchyts, G., Schellekens, J., Winsemius, H., Eisemann, E., & van de Giesen, N. (2016). A 30 m resolution surfacewater mask including estimation of positional and thematic differences using landsat 8, SRTM and OPenStreetMap: A case study in the Murray-Darling basin, Australia. *Remote Sensing, 8(5)*, 386. doi: 10.3390/rs8050386.
- Efe, E., & Algancı, U. (2022). Çok zamanlı Sentinel 2 uydu görüntüleri ve makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi. *Geomatik, 8(1)*, 27-34.
- Elsahabi, M., Negm, A., & M.H. El Tahan, A. H. (2016). Performances Evaluation of Surface Water Areas Extraction Techniques Using Landsat ETM+ Data: Case Study Aswan High Dam Lake (AHD). *Procedia Technology, 22*, 1205-1212.
- Feng, S., Liu, S., Zhou, G., Gao, C., Sheng, D., Yan, W., Wu, Y., Gao, H., Jia, J., Wang, Z., Ning, Y., Ren, D., & Liu, M. (2022). Long-term dense Landsat observations reveal detailed waterbody dynamics and temporal changes of the size-abundance relationship. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 41*, 101111. doi: 10.1016/j.ejrh.2022.101111.
- 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.
- Foody, G. M. (2004). Thematic map comparison: Evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70(5)*, 627-633.
- Gao, B. C. (1996). NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment, 58(3)*, 257-266.
- Gu, Z., Zhang, Y., & Fan, H. (2021). Mapping inter- and intra-annual dynamics in water surface area of the Tonle Sap Lake with Landsat time-series and water level data. *Journal of Hydrology, 601*, 126644. doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126644.
- Güneş, C., & Uygucgil, H. (2022). Investigation of 6-year land use change of Sakarya River around İnhisar (Bilecik) using remote sensing. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS, 3(2)*, 112-125.

- 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.
- Jin, H., Huang, C., Lang, M. W., Yeo, I. Y., & Stehman, S. V. (2017). Monitoring of wetland inundation dynamics in the Delmarva Peninsula using Landsat time-series imagery from 1985 to 2011. *Remote Sensing of Environment*, 190, 26-41.
- Kaplan, A. (2019). Burdur Gölü ve çevresinin peyzaj değerleri açısından turizm potansiyelinin belirlenmesi. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD)*, 4(2), 105-121.
- Kaya, Ç. M. (2022). Methods used in flood susceptibility mapping. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 3(2), 191-209.
- Kaya, L. G., Yücedağ, C., & Duruşkan, Ö. (2015). Burdur Gölü havzasının çevresel açıdan irdelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 6-10.
- Kaya, Ö. (2019). *Küçükçekmece Gölü havzası (Bathonea) kazılarında bulunan kandler* (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Khalid, H. W., Khalil, R. M. Z., & Qureshi, M. A. (2021). Evaluating spectral indices for water bodies extraction in western Tibetan Plateau. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 619-634.
- Li, J., Ma, R., Cao, Z., Xue, K., Xiong, J., Hu, M., & Feng, X. (2022). Satellite detection of surface water extent: A review of methodology. *Water*, 14(7), 1148. doi:10.3390/w14071148.
- Lothspeich, A. C., & Knight, J. F. (2022). The applicability of landtrendr to surface water dynamics : A case study of Minnesota from 1984 to 2019 using google earth engine. *Remote Sensing*, 14, 2662. doi: 10.3390/rs14112662.
- Ma, M., Wang, X., Veroustraete, F., & Dong, L. (2007). Change in area of Ebinur Lake during the 1998-2005 period. *International Journal of Remote Sensing*, 28(24), 5523-5533.
- Mansaray, L. R., Wang, F., Huang, J., Yang, L., & Kanu, A. S. (2020). Accuracies of support vector machine (SVM) and random forest (RF) in rice mapping with Sentinel-1A, Landsat-8 and Sentinel-2A datasets. *Geocarto International*, 35(10), 1088-1108.
- 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.
- Naik, B. C., & Anuradha, B. (2018). Extraction of water-body area from high-resolution Landsat imagery. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8(6), 4111. doi: 10.11591/ijece.v8i6.pp4111-4119.
- Nandi, D., Chowdhury, R., Mohapatra, J., Mohanta, K., & Ray, D. (2018). Automatic delineation of water bodies using multiple spectral indices. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 4(4), 498-512.
- Owusu, C. (2022). PyGEE-SWToolbox : A python jupyter notebook toolbox for interactive surface water mapping and analysis using google earth engine. *Sustainability*, 14, 2557. doi: 10.3390/su14052557.
- Özdemir, S. (2013). *Hazar Gölü'nde (Elazığ) Pleyistosen-Holosen dönemi yüksek çözünürlüklü iklim ve su seviyesi değişimleri* (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422.
- Rad, A. M., Kreitler, J., & Sadegh, M. (2021). Augmented Normalized Difference Water Index for improved surface water monitoring. *Environmental Modelling and Software*, 140, 105030. doi: 10.1016/j.envsoft.2021.105030.
- Reis, L. G. de M., Souza, W. de O., Ribeiro Neto, A., Fragoso, C. R., Ruiz-Armenteros, A. M., Cabral, J. J. da S. P., & Montenegro, S. M. G. L. (2021). Uncertainties involved in the use of thresholds for the detection of water bodies in multitemporal analysis from landsat-8 and sentinel-2 images. *Sensors*, 21(22), 7494. doi: 10.3390/s21227494.
- Rogers, A. S., & Kearney, M. S. (2004). Reducing signature variability in unmixing coastal marsh Thematic Mapper scenes using spectral indices. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2317-2335.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In *3rd ERTS Symposium, 1974. Proceedings*. (pp. 309-317). NASA.
- Sekertekin, A. (2021). A survey on global thresholding methods for mapping open water body using Sentinel-2 satellite imagery and normalized difference water index. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(3), 1335-1347.
- Selim, S., Çoşlu, M., Sönmez, N. K., & Karakuş, N. (2016). Köyceğiz Gölü ve Dalyan kanallarında kıyı kenar çizgisinin UA ve CBS Teknikleri ile belirlenmesi, Alanda Karşılaşılan Sorunlar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(2), 254-260.
- Song, S., Cao, Z., Wu, Z., & Chuai, X. (2022). Spatial and temporal dynamics of surface water in China from the 1980s to 2015 Based on remote sensing monitoring. *Chinese Geographical Science*, 32(1), 174-188.
- Türedi, M. (2006). *Köyceğiz Gölü (Limnolojik Etüt)* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Wang, R., Pan, L., Niu, W., Li, R., Zhao, X., Bian, X., Yu, C., Xia, H., & Chen, T. (2021). Monitoring the spatiotemporal dynamics of surface water body of the Xiaolangdi Reservoir using Landsat-5/7/8 imagery and Google Earth Engine.

Open Geosciences, 13(1), 1290-1302.

- Wang, R., Xia, H., Qin, Y., Niu, W., Pan, L., Li, R., Zhao, X., Bian, X., & Fu, P. (2020). Dynamic monitoring of surface water area during 1989-2019 in the hetao plain using landsat data in google earth engine. *Water*, 12(11), 3010. doi:10.3390/w12113010.
- Worden, J., & de Beurs, K. M. (2020). Surface water detection in the Caucasus. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91, 102159. doi: 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.
- 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.
- Yılmaz, C. S. (2022). Improving the land cover mapping accuracy of the Sentinel-2 imagery on Google Earth Engine. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 3(2), 150-159.
- Yılmaz, O. S., Gulgen, F., Balik Sanli, F., & Ates, A. M. (2023). The performance analysis of different water indices and algorithms using Sentinel-2 and Landsat-8 images in determining water surface: Demirkopru Dam case study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(6), 7883-7903.
- Zengin, M., Yerli, S. V., Dağtekin, M., & Akpınar, İ. Ö. (2012). Çıldır Gölü balıkçılığında son yirmi yılda meydana gelen değişimler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 8(2), 10-24.
- 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.
- Zhao, Q., Dong, X., Li, G., Jin, Y., Yang, X., & Qu, Y. (2022). Classification and Regression Tree Models for Remote Recognition of Black and Odorous Water Bodies Based on Sensor Networks. *Scientific Programming*, 2022, 7390098. doi: 10.1155/2022/7390098.