

Research Article

Uydu Görüntüleri Yardımıyla Burdur Gölü'nün Su Seviyesi Değişiminin Farklı Su İndeksleriyle Analizi ve Gelecek Yıllardaki Değişiminin Tahmini

*¹Ayşe ÖZTAŞ, ²Aziz Uğur TONA, *³Vahdettin DEMİR, ⁴Mehmet EREN

¹KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, ayse.ozts@hotmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7269-4924>

²Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, azizugurtona@gumushane.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7367-7731>

³KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, vahdettin.demir@karatay.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6590-5658>

⁴Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, meren@yildiz.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8370-8615>

Geliş: 04.10.2024;

Kabul: 28.01.2025

Öz

Çalışmanın amacı, Burdur Gölü'nün su yüzey alanı üzerindeki mekânsal değişimleri analiz etmek ve Burdur Gölü Havzası'ndaki uzun yıllık iklim kayıtlarındaki eğilimleri inceleyerek göl yüzey alanının gelecekteki durumu hakkında tahminler yapmaktır. Bu doğrultuda, çalışma alanı için Landsat 4-5 ve Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu görüntülerin sınıflandırılması, Modifiye Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (mNDWI), Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (NDWI) ve Su İndeksi 2015 (WI2015) su indisleri kullanılarak yapılmıştır ve 1985-2021 yılları arasında her yıl için göl yüzey alanı verileri toplanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, Burdur Gölü'nün su alanı 1985 yılı ile 2021 yılı arasında büyük oranda (81.7-92.3 km²) azalmıştır. Yapılan doğrusal regresyon analizlerine dayanarak, gölün 2070-2080 arasında kuruyacağı tahmin edilmektedir. WI2015 yöntemi, OMH (7.0554) ve GOMH (4.1711) gibi düşük hata değerleri ile 0.9923'lük yüksek korelasyon katsayısı ile en başarılı yöntem olarak değerlendirilebilir.

Anahtar kelimeler: Su İndeksleri, Burdur Gölü, Uydu Görüntüsü, Kuraklık

*³Sorumlu Yazar

Bu makaleye atıf yapmak için

Öztaş, A., Tona, A.U., Demir, V., & Eren, M. (2025). Su Kalitesi Parametreleri için Mann-Kendall ve Yenilikçi Trend Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 7(1), 29-48. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1561218>

Analysis of the Water Level Change in Lake Burdur Using Satellite Images with Different Water Indices and Prediction of Future Changes

Abstract

The study aims to analyze the spatial changes in the water surface area of Burdur Lake and to predict the future state of the lake's surface area by examining long-term climate trends within the Burdur Lake Basin. In this regard, the study area was analyzed using Landsat 4-5 and Landsat 8 satellite images. These images were classified using the Modified Normalized Difference Water Index (mNDWI), Normalized Difference Water Index (NDWI), and Water Index 2015 (WI2015) water indices, and lake surface area data were collected for each year between 1985-2021. According to the study results, Burdur Lake's water area decreased significantly (81.7-92.3 km²) between 1985 and 2021. Based on linear regression analysis, it is estimated that the lake will dry out between 2070-2080. The WI2015 method can be considered the most successful method with low error values such as MAE (7.0554) and MARE (4.1711) and a high correlation coefficient of 0.9923.

Keywords: *Water Indexes, Burdur Lake, Satellite Image, Drought*

1. Giriş

Su, toplumsal ve ekolojik faaliyetlerin temel kaynağıdır. Türkiye, sınırlı su kaynaklarına sahip bir coğrafyada yer almakta ve su yönetimindeki hatalar, artan nüfus, su talebi ve iklim değişikliği gibi faktörlerle su sıkıntısı yaşamaktadır (Aküzüm vd., 2010). Bilinçsiz kullanım ve kirlilik, su kaynaklarının hızla azalmasına neden olmaktadır (Kurttaş ve Tezcan, 2018).

Yarı kurak iklimlerde, yağışların düzensizliği su yönetimini daha kritik hale getirmekte, sulak alanların korunması ve kuraklık öngörüsü için bölgesel analizler önem taşımaktadır (Pamuk vd., 2004; Latifoğlu vd., 2024). Kuraklığın belirsiz süresi, yaygın etkileri ve ekonomik maliyeti, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini zorunlu kılmaktadır (Citakoglu ve Coşkun, 2022).

Sürdürülebilir su kaynakları yönetiminde, özellikle göller gibi büyük su kütle sistemleri için kuraklık durumlarının sürekli olarak izlenmesi son derece önemlidir (Coşkun ve Citakoglu, 2023; Aktürk vd., 2024). Bu izleme süreci, su kaynaklarının korunması, ekosistem dengesinin sürdürülmesi ve gelecekteki su ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik stratejik önlemlerin geliştirilmesinde temel bir rol oynamaktadır (Kaya ve Kaplan, 2021). Türkiye'de 1 km²'den daha büyük 104 doğal göl bulunmaktadır. Bu göller arasında tuz ve soda üretimi gibi çeşitli amaçlar için kullanılanlar da vardır. Ayrıca sulama ve genel kullanım amaçlarıyla işletilen

göller de mevcuttur. Türkiye'nin göller bakımından zenginliği, ülkenin su kaynakları açısından stratejik bir öneme sahip olmasını sağlamaktadır. Bu göller, morfolojik ve hidrolojik açıdan çeşitlilik göstermektedir (Kurttaş ve Tezcan, 2018). Antropojenik faaliyetler ve iklim değişikliği nedeniyle yükselen sıcaklıklar, kış aylarında göller üzerindeki buz örtüsünde azalmaya ve yüzey suyu sıcaklıklarında artış olmasına yol açmaktadır. Bu değişimlerin bir sonucu olarak, göllerin su seviyeleri ve yüzey alanları hızla azalmaktadır. Bu bağlamda, yaşamsal öneme sahip olan suya erişim ve su temini giderek küresel bir sorun haline gelmektedir (Işıldar ve Ercoşkun, 2021). Göl alanlarının değişim süreci oldukça karmaşık bir süreçtir; başlangıçta göl ile havza arasındaki doğal su döngüsünden etkilenir ve bu da havza içindeki hidrolojik değişiklikleri tetiklemektedir (Demir, 2022). Göller, belirli bir bölgedeki iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki olumsuz olan etkilerinin gözlemlenebileceği doğal oluşumlardır. Bu sebeple, iklim değişikliğinin öncül etkileri genel olarak göllerde fark edilir. Bu durum, göllerde olan değişimlerin izlenmesinin su kaynaklarının yönetimi ve korunması açısından büyük önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Göller, yeraltı kaynaklarından sızan su ve bazı mevsimsel akarsular ve yağmur suları üzerinden beslenirler. Geçmişteki kayıtlara göre, göl su seviyeleri jeolojik zamanlar içerisinde düşme ve yükselme eğilimleri göstermiştir. Bununla birlikte, meteorolojik ve hidrojeolojik faktörlere bağlı olarak bazen dönemsel su

seviyelerinde artışlar da görülebilir. (Beyhan vd., 2009). Türkiye'nin güneybatısında yer alan ve "Göller Yöresi" olarak adlandırılan bölge, birçok değerli sulak alana ev sahipliği yapmaktadır. Bu alanlardan biri de Burdur Gölü'dür. Geçmiş jeolojik dönemlerde çeşitli değişimlere uğrayan Burdur Gölü, karasal ortama evrilen bir yapıya sahiptir ve halen bu evrilmeye devam etmektedir (Roberts, 2003a; Ataol, 2010; Tudryn vd., 2013). Burdur Gölü, bölgedeki sulak alanların önemli bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Bu göl ve çevresindeki ekosistemler, çeşitli ekolojik ve biyolojik süreçlere ev sahipliği yapmaktadır. Ayrıca, göl ve çevresi, yerel halk için önemli bir su kaynağı ve doğal yaşam alanıdır. Sulak alanların korunması ve yönetimi, Burdur Gölü gibi doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu doğal alanların bilimsel çalışmalarla sürekli olarak izlenmesi ve korunması hem yerel ekosistemlerin devamlılığını sağlamak hem de su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını temin etmek açısından kritik bir role sahiptir.

Literatürde göl yüzey alanlarının tespit edilmesinde yapılan çalışmalar incelendiğinde; Oğuz ve Tuğluer (2022) 1972 yılına ait Landsat 1 MSS ve 2022 yılına ait Landsat 8 uydu görüntülerine dayanarak kontrollü sınıflandırma yöntemi ile yaptıkları çalışma sonucunda, Burdur Gölü'nün yüzey alanının son 50 yılda %44 oranında, 92,3 km² (211,1 km²'den 118,8 km²'ye) azaldığını belirlemişlerdir. Alevkayalı vd. (2023), Burdur Gölü'nün su yüzey alanı üzerindeki mekânsal değişimlerin

(1986-2022) yanı sıra iklim kayıtlarındaki (1940-2021) eğilimlerini incelemiş, Mann-Kendall Eğilim Testi ve SARIMA yöntemini kullanarak, iklim parametrelerindeki 10 yıllık tahminlerini yapmışlardır. Göl kıyı çizgisi analizlerine göre, su yüzey alanının 10 yıl içinde 17 km² daha daralacağını öngörmüşlerdir. Peker vd. (2023) 1984-2023 yılları arasına ait Landsat ve Sentinel-2 uydu görüntülerini Google Earth Engine (GEE) bulut yazılımında değerlendirmiştir. Burdur Gölü'nde su kaplı alanın tespiti için normalleştirilmiş su indeksi (NDWI) kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda göl yüzey alanındaki azalmayı ortaya koymuşlardır. Pınarlık vd. (2023) Burdur Gölünü ele alarak iklim değişikliği etkisi altında göl su seviyesindeki değişimleri incelemişlerdir. Araştırmacılar, 1975-2020 yılları arasında göl parametreleri ile iklim parametreleri arasındaki ilişkiyi detaylı bir şekilde korelasyon analiziyle değerlendirmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, Burdur Gölü'nün su seviyesinin 1975-2020 döneminde belirgin bir düşüş eğilimi gösterdiği saptanmış, bu eğilimin 2021-2050 yılları arasında da artarak devam etmesinin muhtemel olduğu öngörülmüştür. Şener ve Morova (2011), Burdur Gölü su seviyesi değişimlerinin tahmin edilmesi için bulanık mantık yöntemiyle bir model geliştirmiştir. Araştırmada, Burdur Gölü ve çevresinde yer alan gözlem istasyonlarının 1975-2004 arası yıllarına ait yıllık ortalama verilerini kullanmışlardır. Modellerin güvenilirliğini test etmek için geliştirdiği bulanık mantık modelinin ve

oluşturduğu regresyon denkleminin tahmin ettiği değerleri, gözlem istasyonu verileri ile karşılaştırmıştır. Buna göre, bulanık mantık yöntemi ile ölçüm verileri arasında $R^2= 0.89$ gibi yüksek bir korelasyon bulunurken, çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları ile ölçüm verileri arasında $R^2= 0.70$, tahminin standart hatası 2.076 ve $R = 0.837$ gibi daha düşük bir ilişki tespit etmiştir.

Su yüzeylerinin haritalandırılmasında kontrollü ve kontrolsüz sınıflama teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Ozesmi ve Bauer, 2002). Temel prensibi eşit değer belirleme üzerine yoğunlaşan bu teknikler farklı bölgelerdeki tüm su yüzeyleri için geçerli bir sonuç üretemebilmektedirler. Bu nedenle daha geçerli ve etkili bir teknik olarak su yüzeyleri haritalamak için su indisleri geliştirilmiştir. Bu indeks/indisler multispektral görüntülerde iki veya daha fazla band arasında aritmetik işlemlere dayanmaktadır ve görüntünün su olan ve su olmayan alanlar olarak ayrılmasına yardım etmektedir. Bu indislere örnek olarak Tasseled Cap Wetness (TCW), Normalize Fark Bitki Indisi (NDVI), Normalize Su Fark Indisi (NDWI) verilebilir (Crist, 1985; Domenikiotis vd., 2003; Campbell ve Wynne, 2011).

Uydu görüntülerinin işlenmesinde su indeksleri kullanılarak arazi örtüsü dinamiklerini etkili bir şekilde analiz edebilir ve zaman içinde göl alanlarındaki değişiklikleri izlenebilir (Ahi ve Eymen, 2021). Bu teknolojiler su havzası yönetimi hakkında değerli

öngörüler sağlayarak karar verme süreçleri için hem nitel hem de nicel bilgiler sunmaktadır (Butt vd., 2022). NDWI ve mNDWI gibi su indeksleri, özellikle su kütlelerini diğer arazi örtüsü türlerinden ayırt etmede etkilidir. mNDWI gibi su rezerv alanlarının belirlenmesinde kullanılan indisler, su kütlelerinin ayırımında başarılı sonuçlar vermektedir (Sabuncu, 2020). Diğer yandan, açık su yüzeylerinin, su kütlelerinin ve taşkın alanlarının belirlenmesi gibi amaçlar için geliştirilen NDWI sulak alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Karabulut, 2015). Blackmore (2000), sulak alanların hidrolojik bağlantısını tahmin etmek için NDWI ve mNDWI karşılaştırılmış ve sulak alan değerlendirmelerinde Landsat OLI görüntülerinden ve CBS'den elde edilen bu su indekslerinin katkısı gösterilmiştir. Bir başka çalışma, sulak alan haritalaması için yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi yansımalarından türetilen NDWI'nin kullanımını vurgulayarak, multispektral uzaktan algılama kullanarak sulak alanın uzamsal kapsamını ve su altında kalan alanın mevsimsel değişimlerini belirlemeye odaklanmıştır (Nhamo vd., 2017).

NDWI ve mNDWI dahil olmak üzere birden fazla su indeksinin uygulanması, bu indekslerin nehir havzalarındaki su kütlelerini tanımlamadaki etkinliklerini değerlendirmek için karşılaştırıldığı hidrografi çalışmalarında çok önemli olmuştur (Duplančić Leder vd., 2020). Ayrıca, NDWI ve morfolojik bir gölge indeksini birleştiren NDWI-MSI adlı yeni bir su indeksi, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden su kütlelerini

tanımlamak için geliştirilmiş ve kentsel ortamlar için su indeksi geliştirmede yenilik göstermiştir (Xie vd., 2016). Chauhan vd. (2021), sulak alanlardaki su yayılımını ve sucul bitki örtüsünü izlemek için NDWI'yi kullanmış ve bu indeksin sulak alan haritalama ve çevresel değişim izleme için kullanışlılığını göstermiştir. NDWI'nin diğer indekslerle birlikte kullanılması, hidrolojik değişim tespit haritalamasında ve rezervuarların izlenmesinde önemli olmuştur ve bu endekslerin sulak alan unsurlarının elde edilmesinde ve su miktarı ve kalitesinin değerlendirilmesindeki önemini altını çizmektedir (Rawat vd., 2021).

Klasik hidrojeoloji çalışmalarının yanı sıra coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) kullanılması, su kaynaklarının kirlenmesine neden olan faktörleri ve etki alanlarını belirlemede önemli bir rol oynar. Bu yaklaşım, noktasal verileri geniş alanlardaki su kalitesini izlemek için kullanışlı hale getirir (Başbüyük vd., 2020; Tona vd., 2022). Bunun yanı sıra teknoloji su alanlarının haritalanması ve bu süreçlerin takip edilmesinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Kaya ve Kaplan, 2021).

Bu çalışmanın amacı, Burdur Gölü'nün su yüzey alanı üzerindeki mekansal farklılıkları araştırmak ve Burdur Gölü Havzası'ndaki uzun dönem iklim kayıtlarındaki (1985-2021) eğilimleri analiz ederek göl yüzey alanının gelecekteki durumu hakkında tahminler yapmaktır. Literatürde Burdur Gölü'ne yönelik yapılan araştırmalar, genellikle sınırlı veri setleri veya tek bir yöntemle

gerçekleştirilmiştir. Ancak bu çalışmada, Landsat 4-5 ve Landsat 8 uydu görüntülerinden elde edilen verilere dayanarak NDWI, mNDWI ve WI2015 gibi su indekslerinin birlikte kullanılmasıyla farklı yöntemler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Bu bağlamda, WI2015 su indeksinin Burdur Gölü özelindeki ilk kapsamlı uygulaması gerçekleştirilmiş, bu indeksten elde edilen sonuçların doğruluğu referans gözlem verileriyle karşılaştırılarak yöntemler arasında en başarılı olan belirlenmiştir. Ayrıca, uzun yıllık veriler kullanılarak gölün gelecekteki durumu ile ilgili tahminler yapılmıştır. Daha önceki çalışmalar yalnızca kısa dönemli eğilimleri veya göl çevresindeki belirli parametreleri ele alırken, bu çalışma, uzun dönemli iklim eğilimlerini ve su yüzey alanı değişimlerini entegre eden kapsamlı bir analiz sunmaktadır.

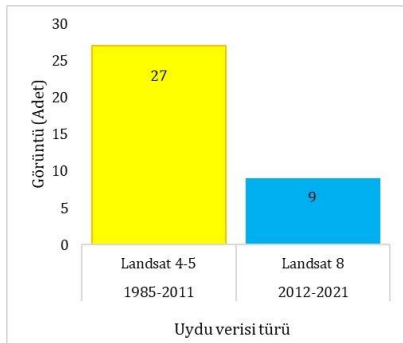
2. Çalışma Alanı

Burdur Gölü, Türkiye'nin güneybatısında yer alan Isparta ve Burdur illeri arasında bulunmaktadır. Bu göl, tektonik kökenli ve alkali bir yapıya sahiptir ve suyu tuzludur. Ayrıca, göl çevresindeki sulak alanlar, birçok farklı kuş türü için önemli bir yaşam alanı sağlamaktadır. Burdur Havzası'nın en düşük noktasında yer alan Burdur Gölü, deniz seviyesinden 844.3 metre yükseklikte bulunmaktadır. Güneybatı Anadolu'da, 29°24' ile 30°53' doğu boylamları ve 36°53' ile 37°50' kuzey enlemleri arasında yer alan bölge, yaklaşık olarak 3264 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şener ve Şener, 2021).

önemli bir sulak alan olmasına rağmen, koruma-kullanma dengesinin yüksek oranda bozulduğu ve bilinçsiz kullanımın ekolojik etkilenmeyi olumsuz bir şekilde etkilediği görülmüştür (Çetin vd., 2013).

3. Veri

Çalışma kapsamında, Burdur Gölü'ndeki arazi değişimlerini 1985 ile 2021 yılları arasında incelemek için Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumu'nun (USGS) Landsat uydu görüntülerinden faydalanılmıştır (Landsat, 2024, Öztaş vd., 2023). Şekil 3'te, 1985 ile 2021 arası tarihlerdeki Landsat uydu görüntüleri ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.



Şekil 3. Landsat uydu görüntülerine ait bilgiler.

Şekil 3 incelendiğinde Landsat 4-5 uyduları 1985 ile 2011 arasında kullanıldığı, 2011-2021 arası için tercih edilen görüntülerin Landsat 8 uydusu olduğu görülmektedir. Landsat 4-5'in kullanım ömürlerinin dolması ve teknik yetersizliklerin başlaması nedeniyle 2011 sonrası dönemde bu uyduların kullanımı sona ermiştir. Landsat 8, daha modern bir uydu olarak devreye alınarak veri devamlılığı sağlanmıştır.

Veriler özellikle bulutluluk oranının %10'un altında olduğu zaman dilimlerindeki aylarda (Haziran, Temmuz ve Ağustos) elde edilmiştir. Ancak; 2008, 2012 ve 2021 yılları için bu kriterlere uygun verilere ulaşılamamıştır.

4. Yöntem

Burdur Gölü'nün gelecek yıllar içerisindeki değişimini incelemek için su indisleri ve kontrollü sınıflandırma içeren iki farklı yöntem kullanılmıştır.

4.1. Su Yüzeylerinin Farklı Su İndisleriyle Belirlenmesi

Suyun kendine özgü spektral imzası, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde güçlü yansıma yaparken, kızılötesi dalga boylarında yutulma gerçekleştirmesidir. Optik uzaktan algılama görüntülerinden su alanlarının çıkarılması için birçok yöntem suyun spektral imzasına dayalı olarak geliştirilmiştir. Basit bir yöntem olarak bir su haritasının üretilmesi için tek bir kızılötesi band görüntüsünde yoğunluk ayrımı yapılabilmektedir (Frazier and Page, 2000).

Bu çalışmada kullanılan su indislerinden NDWI, yeşil ve yakın kızılötesi bandları farklarının ve toplamalarının oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (McFeeters, 1996). Kısa dalga kızılötesi bölgesinin su özelliklerini daha iyi yansıtması, sonraki yıllarda indis formülünde yakın kızılötesi bant yerine kısa dalga kızılötesi bandın tercih edilmesine yol açmıştır. Geliştirilen bu indis mNDWI olarak isimlendirilmiştir

(Xu, 2006). mNDWI indisine ait sınırlamalardan biri kar ve su yüzeylerini birbirinden ayıramamasıdır (Huang vd., 2018). Aşağıda bu indislere ait bant denklemleri yer almaktadır.

$$NDWI = \frac{(\text{Yeşil} - \text{Yakın kızılötesi})}{(\text{Yeşil} + \text{Yakın kızılötesi})} \quad (1)$$

$$mNDWI = \frac{(\text{Yeşil} - \text{Kısa dalga kızılötesi})}{(\text{Yeşil} + \text{Kısa dalga kızılötesi})} \quad (2)$$

Su indisleri kullanımında kara-su ayrımı için eşik değerin belirlenmesi önemlidir. Çoğunlukla bu indislerde 0 üzeri değerler su bulunan alanları belirtmektedir. Fakat yakın bölgelerde farklı su kütlesinin askıda katı madde içeriği, alg içeriği, derinliği ve bulanıklığı gibi özellikleri eşik değerinin seçilmesinde her su kütlesine özgü eşik değeri belirlenmesini gerektirebilmektedir. Görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bandlarındaki yüzey yansımalarından doğrusal diskriminant analizi kullanarak WI2015 (Su indisi-Water Indis)'i geliştirilmiş ve diğer bazı mevcut su indisleriyle kabaca eşit verimliliğe sahip olduğu belirtilmektedir (Fisher vd., 2016; Huang vd., 2018).

$$WI2015 = 1,7204 + 171 * \text{Yeşil} + 3 * \text{Kırmızı} - 70 * \text{Yakın kızılötesi} - 45 * \text{Kısa dalga kızılötesi} - 71 * \text{Kısa dalga kızılötesi} \quad (3)$$

Bu çalışmada göl yüzey alanlarının tespitinde NDWI, mNDWI ve WI2015 su indisleri kullanılmıştır.

4.2. Kontrollü Sınıflandırma

Görüntü sınıflamanın en önemli aşamalarından birisi özellik uzayındaki bölümlendirme. Kontrollü sınıflamada, özellik uzayındaki sınıfların ayrımı işlemi kullanıcı tarafından yapılır. Arazi çalışmaları ile doğrudan veri toplanmadığı durumlarda ise harita veya diğer kaynaklar üzerinden yeryüzü nesneleri hakkında elde edilen veriler kullanılarak analiz gerçekleştirilir (Tona, 2016). Kullanıcı alıştırma kısmında spektral özelliklerine göre sınıfları tanımlar. Kontrollü sınıflamada, analizcinin çalıştığı sahayı önceden bildiği varsayılır. Dolayısıyla analizci, sınıfların nerelerde yayılış gösterdiğini bilmesi gereklidir. Seçilen kümelerin belirlenen sınıfları iyi tanımlaması gerekmektedir. Sınıflar için belirlenen kümeler, özellik uzayında kısmen çakışmalıdır (Gülçin, 2018).

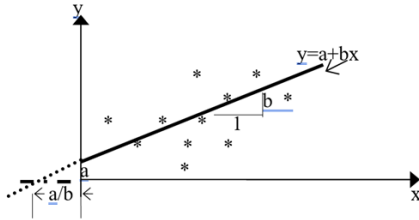
4.3. Gelecek Tahmini

Basit doğrusal regresyon modeli, yalnızca bir bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında doğrusal (lineer) bir ilişki bulunduğunda, bu ilişkiyi kullanarak bağımlı değişkenin tahmin edilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Basit doğrusal regresyonun denklemi aşağıda verilmiştir (Yagbasan vd., 2020).

$$y = a + bx \quad (4)$$

Burada; y: bağımlı değişken, x: bağımsız değişken, a ve b ise regresyon katsayılarını ifade eder. x ve y değerleri bir koordinat sisteminde noktalandığında noktalar bir doğru

etrafında yayılıyorsa bu değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu düşünülür (Şekil 4).



Şekil 4. Değişkenler arasındaki ilişki.

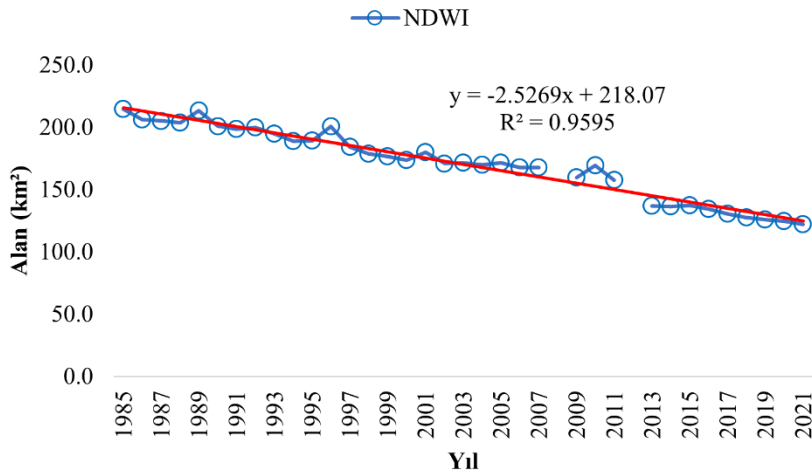
İkinci aşamada ise elde edilen regresyon denklemi içine x değişkeni olan yıl bilgileri girilerek lineer ilişkideki göl seviyeleri tahmin edilmiştir. Seviyenin sıfırın altına düştüğü bölgede ise enterpolasyon yapılarak tahmini göl yüzeyinin kuruma yılı belirlenmiştir.

5. Bulgular

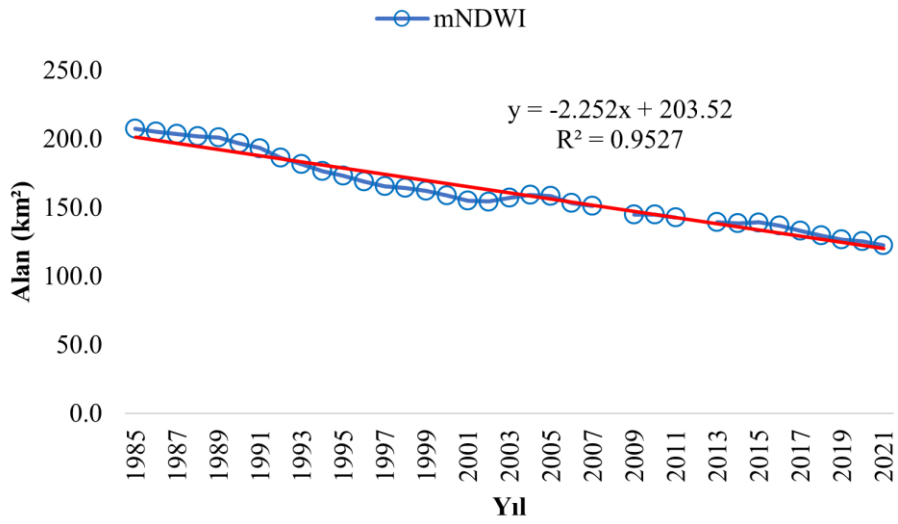
Bu çalışmada, Burdur Gölü'ndeki yüzey alanındaki değişimleri incelemek için toplam 36 adet Landsat 4, 5 ve 8 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Bu görüntüler, gölü tamamen çevreleyecek biçimde sağlanmış olup, herhangi bir ön işleme

ya da birleştirme yapılmamıştır. Şekil 5-8 arasında Burdur Gölünün 1985-2021 yılları arasında zamana göre alan değişim grafikleri verilmiştir. Bu şekiller arasındaki farklılıklar kontrollü sınıflandırma örneklem verilerine ve bant kombinasyonlarına (Denklem 1-3) göre değişmektedir.

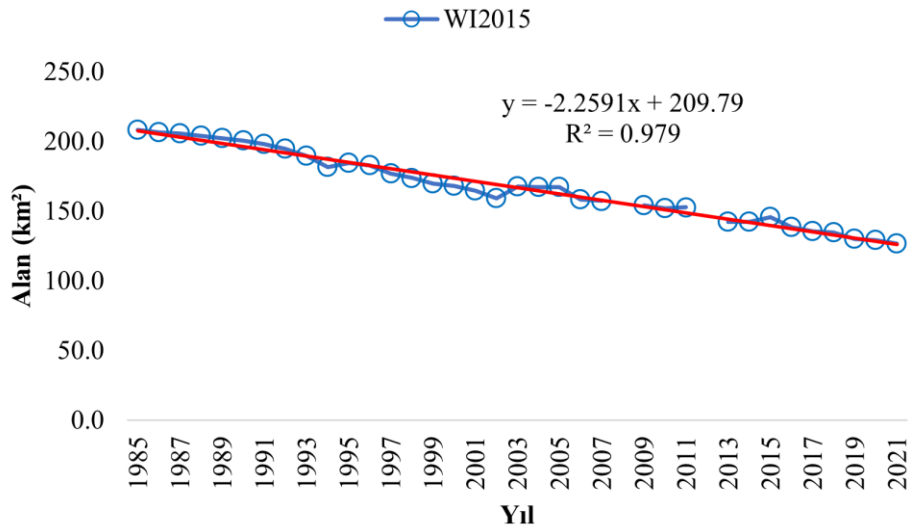
Şekil 5-8 incelendiğinde göl yüzey alanındaki azalma 81.7 km² ile (WI2015) 92.3 km² (NDWI) arasındadır. Şekillerde yer alan determinasyon kat sayısı (R²) değerinin 1'e en yakın olduğu grafikler azalan yönde bir eğilimin doğrusal olarak gittiğini göstermektedir. Bu kapsamda azalan doğrusal ilişki en yüksek mertebe ile WI2015 yönteminde görülmektedir., en az doğrusal ilişkiyi ise kontrollü sınıflandırma yöntemine ait grafikte görülmektedir (Şekil 8). Bu doğrusal gösterge denklem uygunluğunun bir göstergesi olup göl yüzey alanının matematiksel olarak ifade edilebilirliğini göstermektedir.



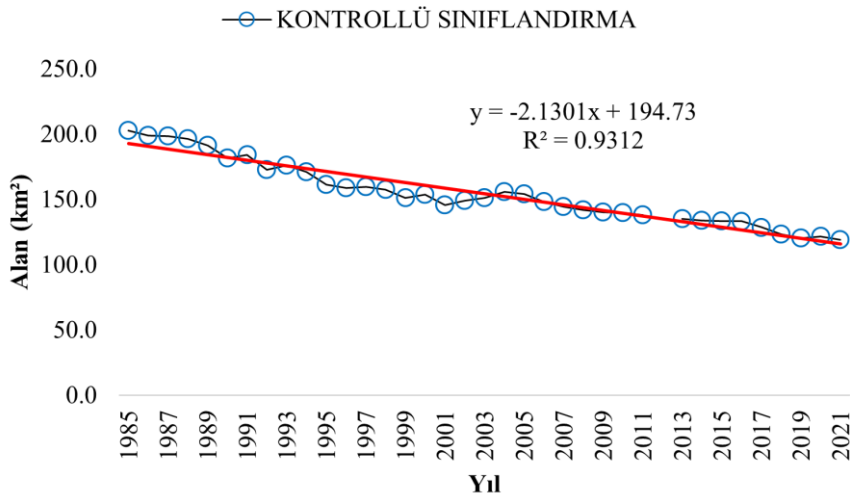
Şekil 5. Burdur Gölü NDWI verilerine göre alanlar.



Şekil 6. Burdur Gölü mNDWI verilerine göre alanlar.



Şekil 7. Burdur Gölü WI2015 verilerine göre alanlar.



Şekil 8. Burdur Gölü kontrollü sınıflandırma verilerine göre alanlar.

Çalışmada özellikle doğrusal ilişki denklemlerinin avantajı doğrusal olmayan polinom ve dereceli denklemlerde azalan eğilimin bir anda doğrusal olmayan denklem yapısına göre azalmayacağı yönünden tahminler vermesidir. Bu da matematiksel olarak kabul edilse de bölgedeki geçmiş verilere dayalı eğilim göz önüne alındığında kabul edilebilirliği oldukça düşüktür. Bu nedenle sadece eğilimi yüksek determinasyon katsayısı ile veren doğrusal denklemler ile gelecek tahmini gerçekleştirilmiştir.

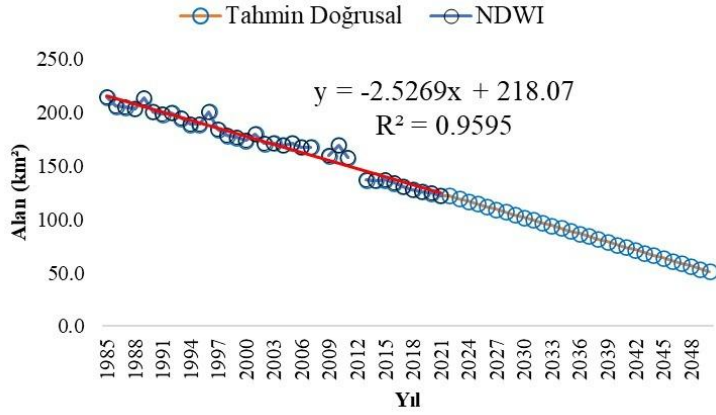
Göl yüzey alanı değişimlerinin incelenmesinden sonra gelecek yıllarda değişimini ve tahmini olarak regresyon denklemlerinin zaman ekseninde uzatılması sonucu elde edilmiştir (Şekil 9-12).

Şekil 9'da, Burdur Gölü'nün NDWI verilerine göre 2070 yılında kuruyacağı tahmin edilmektedir.

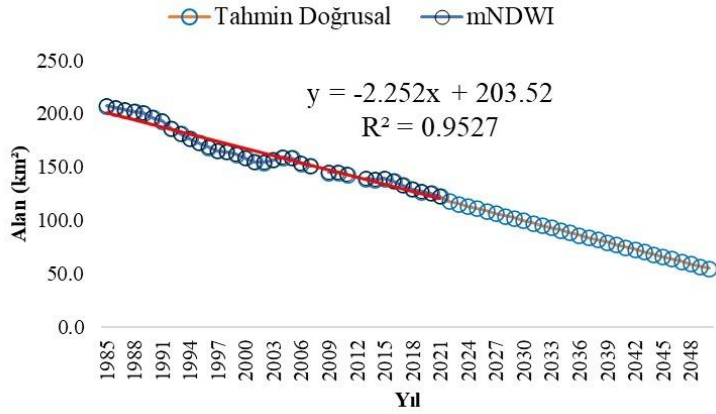
Şekil 10'da, Burdur Gölü'nün mNDWI verilerine göre 2074 yılında kuruyacağı tahmin edilmektedir.

Şekil 11'de, Burdur Gölü'nün WI2015 verilerine göre 2077 yılında kuruyacağı tahmin edilmektedir.

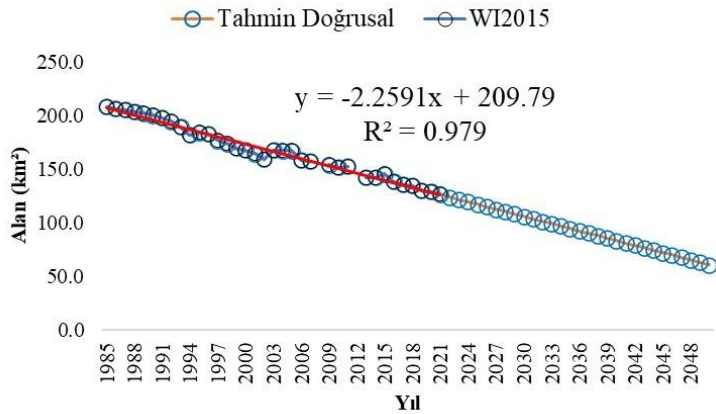
Şekil 12'de, Burdur Gölü'nün kontrollü sınıflandırma verilerine göre 2075 yılında kuruyacağı tahmin edilmektedir. Bu tahminler için ayrıca üstel, logaritmik ve polinomal fonksiyonlar denenmiş fakat göl yüzey alanlarında azalan eğilime uymayan artışlar veya daha düşük determinasyon katsayılarının tespiti nedeniyle sadece indislere ve kontrollü sınıflandırmaya ait doğrusal denklem sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular ayrıca Devlet Su İşleri (DSİ) verileriyle (göl yüzey alanı km²) karşılaştırılmıştır (Pınarlık, 2023). Bu veriler referans verisi olarak bu çalışmada kabul edilmiştir. Burdur Gölü yüzey alanının değişim grafiğine ait karşılaştırma Şekil 13'te yer almaktadır.



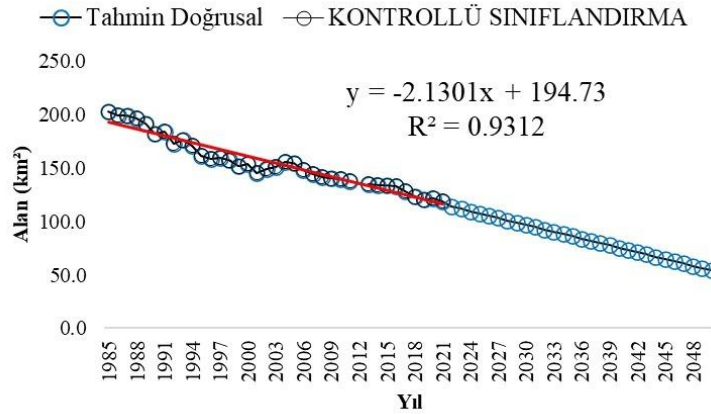
Şekil 9. NDWI gelecek yıl doğrusal regresyon tahmini.



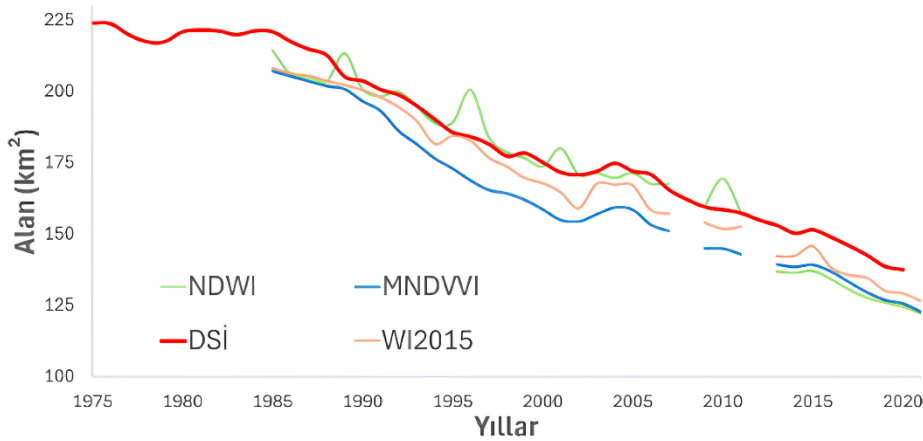
Şekil 10. mNDWI gelecek yıl doğrusal regresyon tahmini.



Şekil 11. WI2015 gelecek yıl doğrusal regresyon tahmini.



Şekil 12. Kontrollü Sınıflandırma gelecek yıl doğrusal regresyon tahmini.



Şekil 13. Sonuçların karşılaştırılması.

Şekil 13 incelendiğinde, 1975-2020 yıllarına ait göl yüzey alanı değişimini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Çalışmada yöntemler, öncelikle yöntem/indis ile DSİ verileri arasındaki korelasyon katsayıları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Farklı alan elde etme yöntemlerinin DSİ verileriyle uyumunu ifade eden korelasyon katsayılarını göstermektedir. En yüksek korelasyon katsayısı 0.9946 ile mNDWI yöntemi tarafından elde edilmiştir, bu da DSİ

verileriyle en güçlü ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. WI2015 yöntemi, 0.9923'lük korelasyon katsayısıyla mNDWI'ı takip etmekte ve oldukça yüksek bir uyum sunmaktadır. Kontrollü Sınıflandırma yöntemi ise 0.9911'lik korelasyon katsayısıyla üçüncü sırada yer alırken, NDWI yöntemi 0.9614'lük değeriyle diğer yöntemlere göre daha düşük bir uyum göstermektedir. Genel olarak tüm yöntemler, DSİ verileriyle yüksek bir

ilişki sergilemektedir, ancak en iyi performans mNDWI yöntemi ile sağlanmıştır. Yöntemlere ait hata

kriterlerinin karşılaştırılması Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Yöntemlere ait hata kriterlerinin karşılaştırılması.

Kriter/yöntem	NDWI	mNDWI	WI2015	Kontrollü Sınıflandırma
OMH	6.8971	13.1953	7.0554	19.6581
GOMH	4.2386	7.7471	4.1711	11.415
KOKH	9.0367	13.4788	7.7147	19.9152

Çalışmada farklı alan elde etme yöntemlerinin hata metrikleri incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. NDWI yöntemi, tüm hata metriklerinde düşük değerlere sahip olup, özellikle Göreceli Ortalama Mutlak Hata (GOMH) değeri 4.2386 ile en iyi performansı göstermiştir. mNDWI yöntemi ise Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Kök Ortalama Kare Hatası (KOKH) değerlerinde sırasıyla 13.1953 ve 13.4788 ile yüksek hata oranlarına sahiptir, bu da yöntemin doğruluğunun diğerlerine kıyasla düşük olduğunu göstermektedir. WI2015 yöntemi, OMH (7.0554) ve GOMH (4.1711) gibi düşük hata değerleriyle dikkat çekerek güvenilir bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır. Buna karşın, Kontrollü Sınıflandırma yöntemi, tüm hata metriklerinde en yüksek değerlere ulaşmış (OMH: 19.6581, GOMH: 11.415, KOKH: 19.9152) ve doğruluk açısından diğer yöntemlerden daha düşük performans göstermiştir. Genel olarak, NDWI ve WI2015 yöntemleri daha düşük hata oranlarıyla öne çıkarken, mNDWI ve Kontrollü Sınıflandırma yöntemleri daha az güvenilir sonuçlar üretmiştir.

4. Tartışma

Çalışmanın temel bulgusu Burdur göl yüzey alanının zaman içerisinde önemli ölçüde azalma göstermesidir. Bu durum çalışmada kullanılan tüm yöntemlerde ve literatür çalışmalarında görülmektedir. Örneğin; Oğuz ve Tuğluer (2022), Burdur Gölü'nün son 50 yılda %44 oranında yüzey alanı kaybına uğradığını belirtirken, Alevkayalı vd. (2023) ise gölün önümüzdeki 10 yıl içinde 17 km² daha daralacağını öngörmüştür. Peker vd. (2023) ve Pınarlık vd. (2023) tarafından yapılan analizler de göl yüzey alanındaki azalma eğilimini doğrulamaktadır. Bu bulgular, çalışmamızda elde edilen 92.3 km²'ye kadar ulaşan (1985-2021) yüzey alanı azalmasıyla uyumlu olup, Burdur Gölü'nün su yüzey alanındaki kayıpların sürdüğünü göstermektedir. Kontrollü sınıflandırmada sınıflandırma performansı yöntemi kullanan araştırmacının tecrübesine bağlı olduğu için dez avantajlı ve göreceli iken uygulama açısından index yöntemlerine göre daha pratiktir. İndis yöntemleri kendi aralarında karşılaştırıldığında NDWI ve mNDWI yöntemleri 2 bant kullanırken WI2015 yöntemi 5 bant

kullanılmaktadır. Bu açıdan NDWI ve mNDWI yöntemleri uygulama açısından pratikken, WI2015 yöntemi daha zaman alıcı ve diğer bant algılayıcıların mevcudiyeti nedeniyle maliyetlidir. Maliyet ve zaman ikinci plana atılıp, çalışmadaki performans kriterleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde WI2015 indeksinin daha başarılı olduğu ve gölün yaklaşık olarak 2070-2080 yılları arasında tamamen kuruyabileceğini öngörmektedir. Gölün kuruması, bu bölgenin su kaynaklarının kullanımı açısından büyük problem oluşturabilir ve bu durumda ekonomik ve çevresel sorunlara sebep olabilir. Bu nedenle, iklim değişikliği ile mücadele önlemleri ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi bu bölgede öncelikli olarak dikkate alınması gereken konulardan olmalıdır. Bu değerlendirmeler, Burdur Gölü'nün başlangıçta su kuşları olmak üzere endemik bitki ve balık türlerine ev sahipliği yapan canlı popülasyonunda azalmaya yol açabileceğini göstermektedir. Göl seviyesindeki değişimlerin yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik etkiler yaratması beklenmektedir. Tarımsal verimliliğin azalması, artan yeraltı suyu kullanımı talebiyle birlikte yeraltı suyu çekim maliyetlerinin yükselmesi gibi sorunlar da ortaya çıkabilir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, 1985-2021 yılları arasına ait uydu görüntüleri kullanılarak Burdur Gölü'nün su alanında gerçekleşen değişimlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. WI2015, NDWI, mNDWI

gibi indeks teknikleri kullanılarak, kontrollü sınıflandırma yöntemleri ve elde edilen sonuçlar, kontrol verileriyle karşılaştırılarak doğruluk değerlendirmesi yapılmış ve yöntemlerin performansı detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Ayrıca, göl seviyesinin gelecekteki değişimlerini tahmin etmek için regresyon modelleri kullanılmıştır. Burdur Gölü'nün su alanı 1985 yılından 2021 yılına kadar büyük ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Yapılan doğrusal regresyon grafiklerinde 2070-2080 arasında kuruyacağı tahmin edilmektedir.

Çalışmada yöntemler hem DSI verileriyle, korelasyon katsayıları hem de hata metrikleri açısından karşılaştırılmıştır. Korelasyon katsayılarına göre, mNDWI yöntemi, 0.9946 ile en yüksek uyumu göstermiş ve en başarılı yöntem olarak öne çıkmıştır. Ancak hata metriklerine bakıldığında, mNDWI'nın özellikle OMH: 13.1953 ve KOKH: 13.4788 açısından yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir, bu da hata düzeyinin diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Hata metriklerinde en düşük değerlere sahip yöntemler ise NDWI ve WI2015 olmuştur. NDWI, özellikle GOMH: 4.2386 ile öne çıkarken, WI2015 yöntemi de düşük hata değerleri ve 0.9923'lük yüksek korelasyon katsayısıyla güvenilir bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Kontrollü Sınıflandırma yöntemi ise hem yüksek hata değerleri hem de nispeten daha düşük korelasyon katsayısıyla diğer yöntemlere göre daha az başarılı bulunmuştur.

Bu çalışmanın sınırları, geleceğe yönelik tahminlerin doğrusal regresyon yöntemine dayanması, indislerin başarısının referans verileri ile elde edilen hata kriterleri ve korelasyon katsayısı temel alınarak değerlendirilmesi ve Landsat uydu görüntülerinin kullanılmasıyla belirlenmiştir.

Sonuç olarak, yöntemlerin başarı düzeyi veri analizi amacına bağlı olarak değişmektedir. Eğer yüksek uyum (korelasyon) öncelikli bir kriter ise, mNDWI yöntemi tercih edilebilir. Ancak hata oranlarının düşük olması daha önemliyse, NDWI veya WI2015 yöntemleri daha güvenilir seçenekler olarak öne çıkmaktadır. Genel değerlendirmede hem korelasyon katsayısı hem de hata metrikleri açısından dengeli bir performans sergileyen WI2015 yöntemi en başarılı yöntem olarak değerlendirilebilir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

- Yazar 1: Uygulama, makale yazımı, sonuçların yorumlanması.
Yazar 2: Makale yazımı, sonuçların yorumlanması ve revizyon.
Yazar 3: Kurgu, Makale Yazımı.
Yazar 4: Literatür araştırması, sonuçların yorumlanması.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması mevcut değildir.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma 2022-1 dönemi 1919B012201346 başvuru numaralı 2209-A (Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı) kapsamında desteklenmektedir. Ayrıca, KTO Karatay Üniversitesi BAP Komisyonu tarafından da (Proje no: 10112438) desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

- Ahi, S., & Eymen, A. (2021). Examine of the Impact of Land Use on Water Basins Using Geographical Information Systems and Remote Sensing: Terkos Basin Example. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 15-20.
- Aktürk, G., Çıtakoğlu, H., Demir, V., & Beden, N. (2024). Meteorological drought analysis and regional frequency analysis in the Kızılırmak Basin: creating a framework for sustainable water resources management. *Water*, 16(15), 2124.
- Aküzüm, T., Çakmak, B., & Gökalp, Z. (2010). Türkiye'de su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (1), 67-74.
- Alevkayalı, Ç., Atayeter, Y., Yayla, O., Bilgin, T., & Akpınar, H. (2023). Burdur Gölü'nde uzun dönemli kıyı çizgisi değişimleri ve iklim ilişkisi: Zamansal-mekânsal eğilimler ve tahminler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (82), 37-50.
- Ataol, M. (2010). Burdur Gölü'nde Seviye Değişimleri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 8(1), 77-92.
- Başıbüyük, Z., Ekincioğlu, G., & Yavaşlı, D. (2020). Seyfe Gölü çevresinin

- (Kırşehir) yeraltı suyu kalitesinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak belirlenmesi. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 4(1), 77-89.
- Beyhan, M., Şahin, Ş., Keskin, M., & Harman, B. (2009). Burdur Gölü Uzun Periyotlu Seviye Değişiminin Su Kalitesi ve Ağır Metaller Üzerindeki Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2).
- Blackmore, D. (2000). Managing for scarcity: water resources in the Murray-Darling Basin. [Edited highlights of The Murray-Darling Basin Cap on Diversions-Policy and Practice for the New Millennium. *CEDA Bulletin*, 50-53.
- Butt, S. E., Rodríguez, A., Sotiropoulos, J. M., & Moran, W. J. (2022). Computational study on the iodobenzene-catalyzed oxidative cyclization of a δ -alkynyl β -ketoester. *ARKIVOC-Online Journal of Organic Chemistry*, 2022, 19-26.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). Introduction to remote sensing. *Guilford press*.
- Çetin, A., Erdoğan, N., & Genç, H. (2013). Flora of the Burdur lake surroundings (Türkiye). *Biological Diversity and Conservation*, 6, 2: 55-76.
- Chauhan, K., Patel, J., Shukla, S. H., & Kalubarme, M. H. (2021). Monitoring water spread and aquatic vegetation using Spectral Indices in Nalsarovar, Gujarat State-India. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(1), 49-56.
- Citakoglu, H., & Coşkun, Ö. (2022). Comparison of hybrid machine learning methods for the prediction of short-term meteorological droughts of Sakarya Meteorological Station in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(50), 75487-75511.
- Coşkun, Ö., & Citakoglu, H. (2023). Prediction of the standardized precipitation index based on the long short-term memory and empirical mode decomposition-extreme learning machine models: The Case of Sakarya, Türkiye. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 131, 103418.
- Crist, E. P. (1985). A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data. *Remote sensing of Environment*, 17(3), 301-306.
- Demir, V. (2022). Enhancing monthly lake levels forecasting using heuristic regression techniques with periodicity data component: application of Lake Michigan. *Theoretical and Applied Climatology*, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-03982-0>.
- Domenikiotis, C., Loukas, A., & Dalezios, N. R. (2003). The use of NOAA/AVHRR satellite data for monitoring and assessment of forest fires and floods. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3(1/2), 115-128.
- Duplančić Leder, T., Leder, N., & Baučić, M. (2020). Application of satellite imagery and water indices to the hydrography of the Cetina River Basin (Middle Adriatic). *Transactions on maritime science*, 9(02), 374-384.
- Fisher, A., Flood, N., & Danaher, T. (2016). Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia. *Remote Sensing of Environment*, 175, 167-182.
- Frazier, P. S., & Page, K. J. (2000). Water body detection and delineation with Landsat TM data. *Photogrammetric*

- engineering and remote sensing, 66(12), 1461-1468.
- Google Earth, (2024). <https://earth.google.com/>, Erişim Tarihi: 10.04.2024.
- Gülçin, D. (2018). Arazi kullanımlarının sınıflandırılmasında piksel ve obje tabanlı sınıflandırmanın karşılaştırılması. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 43-49.
- Huang, C., Chen, Y., Zhang, S., & Wu, J. (2018). Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: A review. *Reviews of Geophysics*, 56(2), 333-360.
- Işıldar, H. T., & Ercoşkun, Ö. Y. (2021). Göller Yöresinde sürdürülebilirlik ve dirençlilik. *Journal of Management Theory and Practices Research*, 2(2), 89-116.
- Karabulut, M. (2015). Farklı Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Göksu Deltası Göllerinde Zamansal Değişimlerin İncelenmesi. *Journal Of International Social Research*, 8(37).
- 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. <https://doi.org/10.21324/dacd.760805>.
- Kurttaş, T., ve Tezcan, L. (2018). Nemrut kaldera göllerinin su kaynakları potansiyeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 823-831.
- Landsat (2024). Burdur Gölü. USGS. <https://earthexplorer.usgs.gov/> Erişim Tarihi: 10.04.2024.
- Latifoğlu, L., Bayram, S., Aktürk, G., & Citakoglu, H. (2024). Drought index time series forecasting via three-in-one machine learning concept for the Euphrates basin. *Earth Science Informatics*, 1-58.
- 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.
- Nhamo, L., Magidi, J., & Dickens, C. (2017). Determining wetland spatial extent and seasonal variations of the inundated area using multispectral remote sensing. *Water Sa*, 43(4), 543-552.
- Oğuz, H., & Tuğluer, M. (2022). Burdur Gölünün Son 50 Yıldaki Değişimi, *1st International Conference on Scientific and Academic Research*, Konya, Turkey.
- Ozesmi, S. L., & Bauer, M. E. (2002). Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands ecology and management*, 10, 381-402.
- Öztaş, A., Tona, A. U., & Demir, V. (2023). Burdur Gölü Yüzey Alanı Değişiminin Kontrolsüz Sınıflandırma Kullanılarak Belirlenmesi, *International Aegean Conferences On Innovation Technologies & Engineering-VIII*, İzmir, Turkey.
- Pamuk, G., Özgürel, M., & Topçuoğlu, K. (2004). Standart yağış indisi (SPI) ile Ege bölgesinde kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(1).
- Peker, E. A., Sağır, Ç., Yılmaz, K. K., & Süzen, M. L. (2023). Burdur Gölü Yüzey Alanının Zamansal Değişimi ve İklimsel Parametrelerle İlişkisi, *Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu*, KTÜ, Trabzon.
- Pınarlık, M., İbiş, A., & Selek, Z., (2023). İklim Değişikliği Etkisi Altında Burdur Gölü Su Seviyesi Değişimlerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(1).
- Rawat, S. K., Negi, S., Upreti, H., & Kumar, M. (2021). A non-Fourier's and non-Fick's approach to study MHD

- mixed convective copper water nanofluid flow over flat plate subjected to convective heating and zero wall mass flux condition. *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, 7, 1-27.
- Roberts, N., Karabıyıklıoğlu, M., Jones, M., Mather, A., Jones, G., Rodenberg, I., ... & Watkinson, M. (2003). Climatic and tectonic controls over late quaternary sedimentation in the Burdur Lake Basin, Southwest Turkey. In *3rd International Limnogeology Congress, USA*.
- Sabuncu, A. (2020). Burdur Gölü kıyı şeridindeki değişiminin uzaktan algılama ile haritalanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 623-633.
- Şener, E., & Morova, N. (2011). Determination of Water Level Changing of Burdur Lake With Fuzzy Logic and Linear Regression Analysis. *Journal of Natural & Applied Sciences*, 15(1).
- Şener, E., ve Şener, Ş. (2021). SPI ve CZI kuraklık indislerinin CBS tabanlı zamansal ve konumsal karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 41-58.
- Tona, A. U., Demir, V., Kuşak, L., & Yakar, M. (2022). Su Kaynakları Mühendisliğinde CBS'nin Kullanımı. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(1), 23-33. <https://doi.org/10.56130/tucbis.993807>.
- Tona, A. U. (2016). Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden matematiksel morfoloji yöntemi ile kartografik detay çıkarımı (Master's thesis, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- Tudryn, A., Tucholka, P., Özgür, N., Gibert, E., Elitok, O., Kamaci, Z., ... & Platevoet, B. (2013). A 2300-year record of environmental change from SW Anatolia, Lake Burdur, Turkey. *Journal of paleolimnology*, 49, 647-662.
- Xie, H., Luo, X., Xu, X., Pan, H., & Tong, X. (2016). Evaluation of Landsat 8 OLI imagery for unsupervised inland water extraction. *International Journal of Remote Sensing*, 37(8), 1826-1844.
- 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.
- Yagbasan, O., Demir, V., & Yazıcıgil, H. (2020). Trend analyses of meteorological variables and lake levels for two shallow lakes in central Turkey. *Water*, 12(2), 414.
- Yiğitbaşıoğlu, H., & Uğur, A. (2010). Burdur Gölü Havzasında Arazi Kullanım Özelliklerinden Kaynaklanan Çevre Sorunları. *Ankara Üniversitesi Çevre bilimleri Dergisi*, 2(2), 129-143.