



GEOMATİK

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



İstanbul Terkos Gölü zamansal değişiminin Google Earth Engine kullanılarak belirlenmesi

Merve Karaca¹, Nur Yağmur¹, Filiz Bektaş Balçık¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
Google Earth Engine
NDWI
Landsat TM
ETM+
OLI

ÖZ

Günümüzün önemli çevresel konularından biri olan su kaynakları yönetimi canlı yaşamı için hayati öneme sahiptir. Su kaynaklarından biri olan göllerin uzaktan algılama teknolojileri ile izlenmesi son yıllarda popüler hale gelmiştir. Göllerin doğru politikalar ile yönetilmesi, bu kaynakların korunabilmesi ve sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, İstanbul'un en önemli içme suyu kaynaklarından biri olan Terkos Gölü'ne ait 2000-2020 yılları arasında meydana gelen alansal ve zamansal değişim uydu görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Terkos Gölü su yüzeyindeki zamansal değişimi analiz edebilmek için mevcut 1160 adet Landsat TM, ETM+ ve OLI görüntüsü Google Earth Engine platformunda işlenmiştir. Gölün su yüzey alanının tespiti için Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index, NDWI) kullanılmıştır. Google Earth Engine'de yapılan sorgulamalar ile yıllık ve mevsimlik alan değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre gölün 2000 yılı ve 2020 yılı alan değeri karşılaştırıldığında Terkos Gölü su alanında % 6.9'luk bir azalma yaşandığı tespit edilmiştir. Bu azalmanın nedenleri incelendiğinde, İstanbul'daki hızlı nüfus artışı ve yağış rejimi sebebiyle gölün yok olma tehlikesi ile karşı karşıya olduğu gösterilmektedir.

Determining the temporal change of İstanbul Terkos Lake using Google Earth Engine

Keywords

Remote sensing
Google Earth Engine
NDWI
Landsat TM
ETM+
OLI

ABSTRACT

Today, water resources, which are one of the important environmental issues, are of vital importance for life. Monitoring of lakes with remote sensing technologies has become popular in recent years. The management of the lakes with the right policies is crucial in terms of protection and sustainability. In this study, the spatial and temporal changes of Terkos Lake, one of the most important drinking water resources of İstanbul, were examined using satellite images between 2000 and 2020. In order to analyze this temporal change in the water surface area of Terkos Lake, 1160 existing Landsat TM, ETM+ and OLI images were processed on the Google Earth Engine cloud platform. Normalized Difference Water Index (NDWI) was used to extract the water surface of the lake. The obtained water surface areas were evaluated with annual and seasonal trends. According to the results, the water surface area of the lake in 2000 and 2020 was compared. There is 6.9% decrease in 2020 compared to 2000. When the main reasons for this decrease are investigated, it is determined that the lake is in danger of extinction due to the rapid population growth and unstable precipitation regime in İstanbul.

1. Giriş

Doğal ekosistemin önemli bir parçası olan su kaynakları, insanlar ve diğer tüm canlılar için önemli bir kaynaktır. Sürdürülebilir kalkınmanın merkezinde yer alan su kaynakları, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik büyüme ve canlı ihtiyaçları için kritik öneme sahiptir (UNESCO, 2021). İklim değişiklikleri ve artan nüfusla birlikte su kaynakları yıllar içerisinde zamansal ve mekansal olarak değişim göstermiştir (Kalkınma Bakanlığı, 2018). Doğal çevre sağlığı ve sürdürülebilir ekonomik gelişme için yüzey suyu değişimlerinin izlenerek doğru politikaların uygulanması, su kaynaklarının sürdürülebilir korunması, kullanımı ve yönetimi açısından oldukça önemli bir konudur.

Uzaktan algılama teknolojisi, geniş gözlem alanı ile hızlı ve zamansal veri koleksiyonu sunduğu için, yüzey suyu kaynaklarının izlenmesi ve yönetiminde yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Jiang ve ark., 2014). Günümüzde uzaktan algılamada kullanılan veriler, arazi örtüsü hakkında bilgi edinebilme ve arazi kullanımında oluşan değişimleri analiz edebilme imkânı tanımaktadır. Farklı spektral, mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip bu görüntü seçeneklerini sunan uzaktan algılama sistemleri ile istenilen parametrelere ait analizler hızlı, daha düşük maliyetli ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle son on yılda birçok uydu görüntüsü ve arazi yüzey modellerinin Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (United States Geological Survey, USGS), Amerika Ulusal Havacılık ve Uzay Araştırmaları Dairesi (National Aeronautics and Space Administration, NASA) ve Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) gibi kurumlar tarafından ücretsiz olarak erişim imkânı sunulmasıyla, uzaktan algılama verileri kullanarak yürütülen çalışmalar oldukça hız kazanmıştır.

Son yıllarda uzaktan algılama teknolojisinde büyük yeniliklere imza atılmıştır. Bu yeniliklerden biri de Google Earth Engine (GEE) platformudur. GEE, çok büyük veri kümelerini işlemek için yüksek performanslı bilgi işlem kaynaklarına erişimi kolaylaştıran bulut tabanlı bir platformdur (Gorelick ve ark., 2017). GEE platformunun en önemli avantajlarından biri, uzaktan algılama ürünlerine tam ve eksiksiz ulaşım sağlaması ve bu ürünleri çok hızlı bir şekilde işleme yeteneğine sahip olmasıdır. Platform üzerinde birçok araştırma için kullanılacak Landsat, Sentinel ve MODIS gibi çeşitli uydu görüntülerini içeren bir veri kataloğu bulunmaktadır (Gonzalo ve ark., 2017). Bu görüntüler GEE yardımcı komut dizinleri sayesinde online olarak işlenebilmektedir. GEE bölgesel haritalama, tarım alanları, doğal afetler, bitki türleri, ormanlar ve su kaynaklarının incelenmesinde başarıyla kullanılmaktadır (Xia ve ark., 2019). Veri tabanında bulunan uzaktan algılama görüntüleri ile arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişikliklerini inceleyebilecek analizler gerçekleştirilmektedir. Bu analizleri kodlar ile görselleştirmek mümkündür. GEE; görüntü işleme, sınıflandırma, değişimin tespiti, zaman serisi analizi dahil, görüntü istatistiklerinin çıkarılması gibi karmaşık analizlerin kolaylıkla yapılmasını sağlar. Ayrıca dışa aktarılabilen haritalar, çizelgeler, tablolar ve görüntüler

gibi sonuçları görselleştirmek için araçlar da içerir (Gonzalo ve ark., 2017).

Değişim analizi farklı zamanlara ait olan görüntülerde meydana gelen değişimin tespit edilmesidir. Literatürde uydu görüntüleri ile çeşitli yöntemler kullanılarak değişim tespiti yapılmaktadır. Değişim analizinde kullanılan başlıca yöntemleri, görüntü bantları üzerinden matematiksel işlemler sonucu yapılan karşılaştırma ve görüntü sınıflandırması sonrası yapılan karşılaştırma olarak ikiye ayırmak mümkündür. Görüntü bantları kullanılarak belirlenen değişim yönteminde piksellerin yansıma değerleri dikkate alınarak bir takım matematiksel işlemler uygulanır. Bu yöntemde görüntü oranlama, görüntü çıkarma, spektral indeksler, değişim vektör analizi ve temel bileşen analizi gibi teknikler örnek verilebilir. Görüntü oranlamada farklı zamanlara ait iki görüntünün bir veya birden fazla spektral bandın piksel yansıma değerleri oranlanır. Görüntü çıkarmada ise iki görüntüdeki piksellerin yansıma değerleri çıkartılarak değişim tespit edilir. İndeksler kullanılarak ise bant bazında bağımsız olarak veya iki ve daha fazla bandın kombinasyonları ile değişim tespiti yapılmaktadır (Singh, 1989). Sınıflandırma yöntemi ise farklı zamanlara ait görüntülerin sınıflandırılarak karşılaştırılması esasına dayanır. Sınıflandırma bir görüntüdeki belirli bir sınıfı oluşturan objelerin benzerliğinden yola çıkılarak gruplandırılmasıdır. Sınıflandırmada kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma olmak üzere iki metot kullanılmaktadır (Doğan, 2008).

Bu çalışmada su alanlarının değişim analizi, GEE platformunda spektral indeksler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Su alanlarının değişim tespitinde farklı birçok spektral indeks kullanılmaktadır (Nguyen ve ark., 2019). Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index, NDWI) ile su alanlarının belirlenmesinde son yıllarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Yang ve ark., 2017). Bu sebeple, bu çalışmada su alanlarının sınıflandırılmasında NDWI kullanılmıştır.

Uydu görüntüleri kullanılarak su yüzey alanı değişiminin izlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Nguyen ve ark. (2019), Yeni Zelanda'da bulunan su kütlelerinin 2013-2017 yılları arasındaki su yüzey alanlarını tespit etmek için Landsat 8 OLI uydu görüntülerine otomatik su çıkarma indeksi (Automated Water Extraction Index, AWEI) uygulamıştır. Landsat Surface Reflectance Tier 1 ürünleri bu çalışmada GEE'de analiz edilmiştir. Peker (2019), Türkiye'de Göller Yöresinde bulunan 16 göle ait su değişimini, alansal ve zamansal olarak incelemiştir. Çalışmada, 1984-2018 yılları arasındaki Landsat ve Sentinel-2 MSI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntülerinden su piksellerinin tespit edilmesi için ise NDWI kullanılmıştır. Göllerdeki su alanı değişimi ise yağış ve buharlaşma verileriyle birlikte analiz edilmiştir. Xia ve ark. (2019), Çin'in Huai Nehri Havzası su yüzey alanındaki mekânsal ve zamansal değişimleri bitki ve su indeksleri kullanarak analiz etmişlerdir. Su yüzey alanlarının mekansal-zamansal dinamiği, 1989'dan 2017'ye kadar olan periyot için Landsat TM, ETM+ ve OLI uydu görüntüleri kullanılarak GEE bulut bilişim platformunda analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, Huai Nehri'nin 1989-

2017 yılları arasındaki maksimum, yıllık, mevsimlik ve ortalama su yüzey alanları analiz edilmiştir.

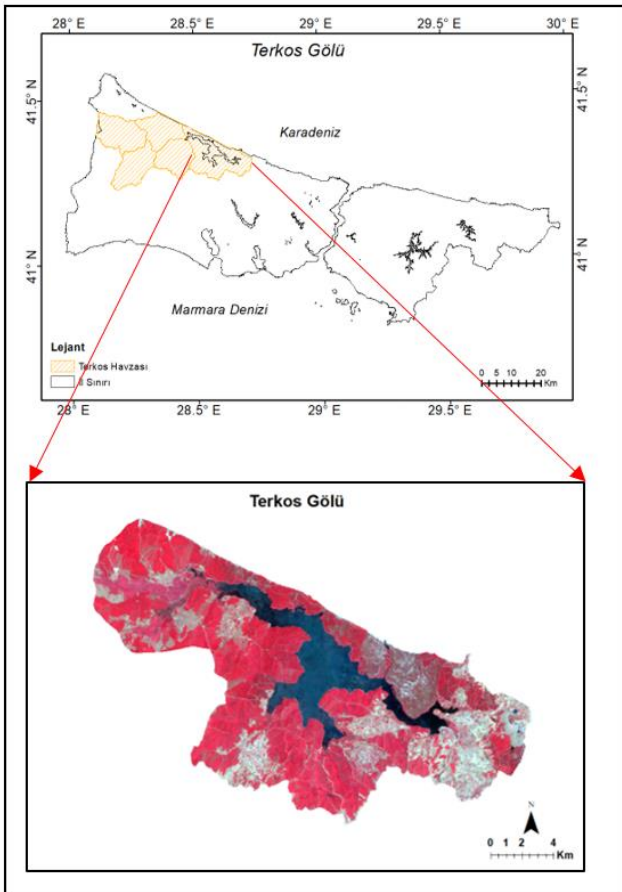
Yapılan bu çalışmanın amacı, İstanbul için önemli su kaynaklarından olan Terkos Gölü su yüzey alanının uzaktan algılama görüntüleri ile analiz edilmesi ve yıllara göre zamansal-mekansal su yüzey alanı değişiminin karşılaştırılmasından oluşmaktadır. Değişimin tespiti için Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, NDWI yöntemi kullanılarak 2000-2020 yılları arasındaki yıllık ve mevsimsel olarak Terkos Gölü su yüzey alanı GEE ile belirlenmiştir.

2. Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı, İstanbul'un önemli su kaynaklarından biri olan, İstanbul'un kuzey batısında, kente yaklaşık 40–50 km uzaklıkta, 40°19'N ve 41°42'N enlem ve 28°29'E ve 28°32'E boylamları arasında bulunan Terkos Gölü'dür. Gölün su seviyesi +4,5 ile -2 metre arasındadır (Baki, 1997). Diğer adı Durusu olan Terkos Gölü, İstanbul'un su ihtiyacının yaklaşık %20'sini karşılamakta olan en önemli içme suyu kaynaklarından biridir. Daha önceleri Karadeniz'de bir koy olan Terkos Gölü dalga biriktirmesi ile kumsal ve alçak bir setle ayrılması sonucu göle dönüşmüştür. Terkos Gölü, İstanbul İli içinde 162 milyon m³'lük yıllık su verimiyle Avrupa yakasındaki en büyük su rezervi konumundadır. Göl 619 km²'lik su toplama alanına sahiptir (İSKİ, 2021).

İstanbul'un tatlı su ihtiyacını büyük oranda karşılamaktadır. Şekil 1'de çalışma alanı verilmiştir.



Şekil 1. Terkos Havzası ve Terkos Gölü Çalışma Alanı

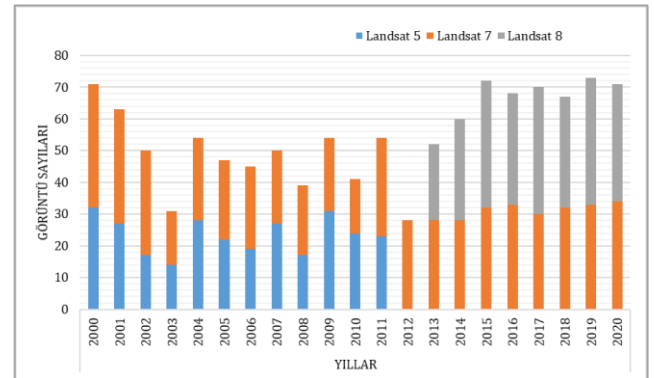
Genellikle gölün beslenme havzaları küçüktür, ancak Terkos Gölü'ne su taşımış olan dereler ise oldukça fazladır. Kanlı Dere, Fındık Dere, Çiftlikköy Deresi, Belgrad Deresi tarafından beslenen Terkos Gölü'nün insan faaliyetleri için kullanılması gölün su yüzeyinde değişime neden olabilmektedir.

İstanbul'un en eski su kaynaklarından biri olan Terkos sulak alanı, zengin bitki örtüsü ile de öne çıkmaktadır. Nesli tükenmekte olan pek çok hayvan türüne ev sahipliği yapan gölde Sibiryazı kazı, ak kuyruklu kartal, büyük orman kartalı az sayıda da olsa yaşamını sürdürüyor. Kış aylarında ise 10 binden fazla su kuşunu barındırmaktadır (Baylan ve Karadeniz, 2006).

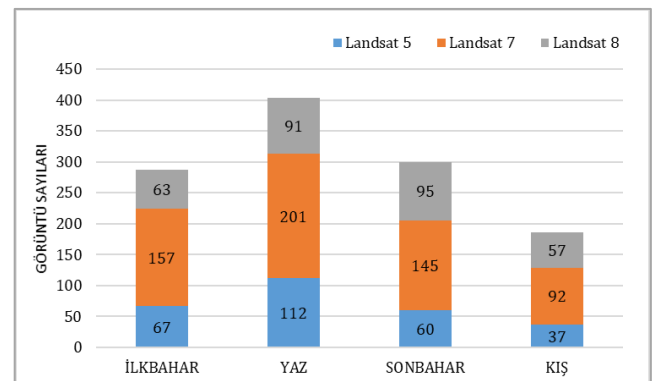
2.2. Veri

Bu çalışmada 2000 yılından 2020 yılına kadar olan Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Tablo 1'de Landsat uydularına ait spektral ve mekansal çözünürlük bilgileri verilmiştir. GEE platformunda görüntü koleksiyonları sorgulandığında, Landsat 5 TM uydu görüntüsünün 1984-2012 yıllarını kapsadığını ancak 2012 yılının Mayıs ayına kadar görüntü vermekte olduğunu ve çalışma bölgesinde 2012 yılına ait uydu görüntüsünün mevcut olmadığı görülmüştür. Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri 1999'dan 2021 yılına kadar olan dönemi kapsarken, Landsat 8 OLI uydu görüntüleri ise 2013'ten 2021 yılına kadar olan periyodu kapsamaktadır.

Şekil 2'de Terkos Gölü için kullanılan yıllık uydu görüntülerinin sayısı listelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan tüm Landsat (TM, ETM+ ve OLI) görüntü sayısı GEE platformunda yapılan sorgulamaya göre elde edilmiştir. 1 Ocak 2000 tarihinden 31 Aralık 2020 tarihine kadar toplam 1160 görüntüden oluşmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanı için yıllık kullanılan görüntü sayısı.



Şekil 3. Görüntü sayılarının mevsimsel olarak dağılımı.

Şekil 3'te ise çalışma alanı için kullanılan 1160 görüntünün farklı Landsat uyduları için mevsimsel olarak dağılımı verilmiştir. Yaz mevsimine ait görüntü

sayısının daha fazla olduğu görülmektedir. Yaz mevsimi için toplam 404 uydu görüntüsüne ulaşılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan Landsat TM, ETM+, OLI uydu görüntülerinin mekansal ve zamansal çözünürlükleri

LANDSAT 5 (TM)			LANDSAT 7 (ETM+)			LANDSAT 8 (OLI)		
Band	Spektral Çözünürlük (µm)	Mekansal Çözünürlük (m)	Band	Spektral Çözünürlük (µm)	Mekansal Çözünürlük (m)	Band	Spektral Çözünürlük (µm)	Mekansal Çözünürlük (m)
Mavi	0.45- 0.52	30	Mavi	0.45 - 0.52	30	Kıyı Aerosol	0.43 - 0.45	30
Yeşil	0.52- 0.60	30	Yeşil	0.52 - 0.60	30	Mavi	0.45 - 0.51	30
Kırmızı	0.63- 0.69	30	Kırmızı	0.63 - 0.69	30	Yeşil	0.53 - 0.59	30
Yakın Kızılötesi	0.76- 0.90	30	Yakın Kızılötesi	0.77 - 0.90	30	Kırmızı	0.64 - 0.67	30
Kısaldağ Kızılötesi 1	1.55- 1.75	30	Kısaldağ Kızılötesi 1	1.55 - 1.75	30	Yakın Kızılötesi	0.85 - 0.87	30
Termal Kızılötesi Kısaldağ Kızılötesi 2	10.40- 12.50	120(30)	Termal Kızılötesi Kısaldağ Kızılötesi 2	10.40 - 12.50	100(30)	Kısaldağ Kızılötesi 1	1.57 - 1.65	30
	2.08 - 2.35	30	Kızılötesi 2	2.08 - 2.35	30	Kısaldağ Kızılötesi 2	2.11 - 2.29	30
			Pankromatik	0.52 - 0.90	15	Pankromatik	0.52 - 0.90	15
						Sirrus	1.36 - 1.38	30
						Termal Kızılötesi 1	10.6 - 11.19	100
						Termal Kızılötesi 2	11.5 - 12.51	100

2.3 Metodoloji

Bu çalışma genel olarak; görüntü ön işleme, su yüzey alanlarının belirlenmesi, doğruluk değerlendirmesi ve değişim analizi olarak 3 adımda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te tüm adımlar ve yapılan işlemler gösterilmektedir. 1. adımda Terkos Gölü çalışma alanı sınırlarına göre 2000 ve 2020 yıllarına ait tüm veriler GEE veri tabanından çağrılarak analizlere başlanmıştır. GEE'de yazılan kod Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI uydu verilerine ayrı ayrı uygulanmıştır.

En yüksek veri kalitesindeki Landsat görüntüleri Tier1 olup bu verilerin zaman serisi analizleri için kullanımı uygundur. Bundan dolayı çalışmada "Landsat Collection 1 Tier 1 Raw Scenes" verileri kullanılmıştır. Sorgulamalar 2000-2020 tarihine göre filtrelenmiş ve görüntü koleksiyonları bu tarihler arasında oluşturulmuştur. Tarih filtreleme işlemi gerçekleştirildikten sonra görüntüler üzerindeki su piksellerinin doğru olarak algılanabilmesi için görüntüde bulunan bulut, sis, kar gibi etkenler, yapılan çalışmalarda problem oluşturabilecek temel gürültü kaynakları olduğundan veri işlemede giderilmiştir. Bulutlar su piksellerinin belirlenmesini engellediği için analiz sonucunu etkilemektedir. Bundan dolayı bulutların giderilmesi için GEE'nin Landsat koleksiyonu için geliştirdiği "simpleComposite" fonksiyon kullanılmıştır. Bu fonksiyon ham Landsat görüntülerini birleştirir ve en düşük bulut puan aralığı seçerek her piksele bir bulut değeri atar ve bulutsuz birleşik görüntüler oluşturur (GEE, 2021). 2. adımda ise çalışma bölgesi için 1160 görüntü sahnesi kullanılarak su pikselleri NDWI ile tespit edilmiştir. Su kütleleri görünür ve yakın kızılötesi elektromanyetik spektrumdaki ışığı güçlü bir şekilde yuttuğu için

NDWI'da yeşil ve yakın kızılötesi bantlar kullanılır (Xu, 2006). NDWI formülü Eşitlik 1'de gösterildiği gibi kullanılmaktadır. NDWI değerleri -1 ve +1 arasında değişir ve sıfırdan büyük değerler su sınıfını, sıfırdan küçük değerler ise su sınıfında olmayan alanları belirtir (McFeeters, 1996).

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

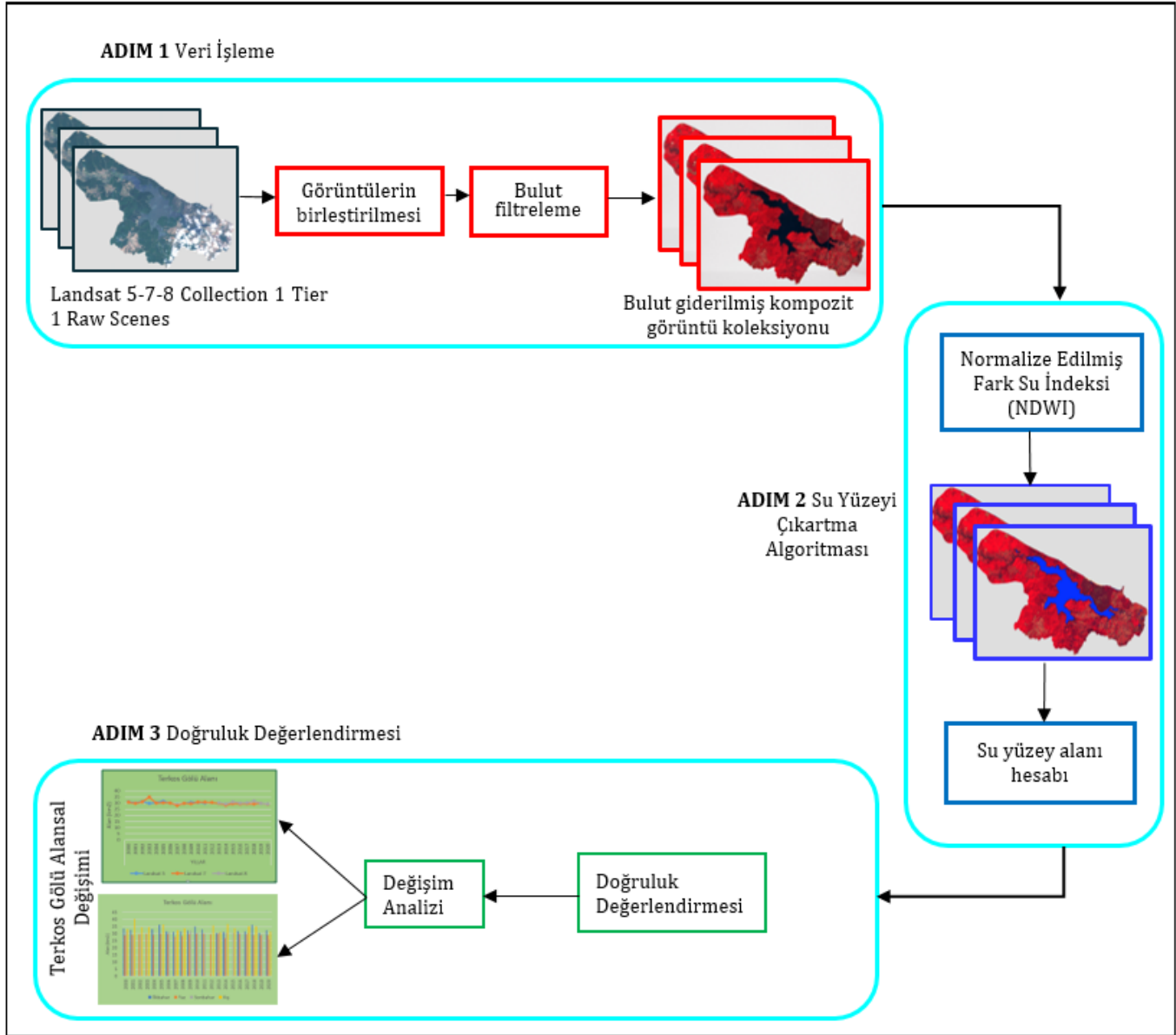
Daha sonra NDWI ile belirlenen su piksellerinin toplam alanı hesaplanmıştır. Alan hesabından sonra sınıflandırmanın performansını belirlemek için doğruluk analizi yapılmalıdır. 3. Adımda ise su alanının ne kadar doğrulukla hesaplandığı hata matrisi oluşturularak değerlendirilmiştir. Doğruluk analizi, su ve diğer alanlar olarak sınıflandırılmış görüntüden seçilen noktaların referans sınıfları ile karşılaştırılması esasına dayanır. Rastgele seçilen noktaların görüntünün mümkün olduğunca her bölümünden toplanmasına ve homojen dağılmasına dikkat edilmiştir. Hata matrisi ile sınıflandırmanın genel doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, üretici doğruluğu ve kappa katsayısı belirlenmiştir (Foody, 2002).

Genel doğruluk, doğru olarak sınıflandırılmış piksellerin referans piksellerin toplam sayısına bölünmesi ile elde edilir. Üretici doğruluğu, bir sınıfı test etmek için toplanan noktaların kaç tanesinin doğru olarak sınıflandırıldığını ölçer. Her sınıf içinde doğru olarak sınıflandırılmış piksellerin sayısını, bu sınıf için kullanılan örnek piksel sayısına bölerek bulunur. Kullanıcı doğruluğu, her sınıf içinde doğru sınıflandırılmış piksel sayısını, bu kategori içinde

sınıflandırılan piksellerin toplam sayısına bölünmesiyle bulunur.

Kappa katsayısı, hata matrisinin satır ve sütun toplamları ile köşegeni üzerindeki elemanlar kullanılarak hesaplanmaktadır. Doğruluk

değerlendirmesi yapıldıktan sonra Terkos Gölü su yüzey alanının yıllık ve mevsimlik değişim analizi yapılmıştır. 2000-2020 yılları arasında Terkos Gölü alan değerleri için grafikler oluşturulup değişim incelenmiştir.



Şekil 4. Çalışmanın iş akış şeması

3. Bulgular

Bu çalışmada, Landsat 5 TM, 7 ETM+ ve 8 OLI görüntülerinden 2000-2020 yılları arasında Terkos Gölü'ne ait su yüzey alanları elde edilmiş ve yıllık-mevsimlik alan değişimi analiz edilmiştir. Bu aşamadan sonra yapılan çalışmanın doğruluğu kontrol edilmiştir. Yapılan çalışmanın doğruluğu ise oluşturulan haritalarla değerlendirilmiştir. Sonuçların doğruluğunu belirlemek için yıllık olarak su alanının en fazla çıktığı 2003 yılı alınmıştır.

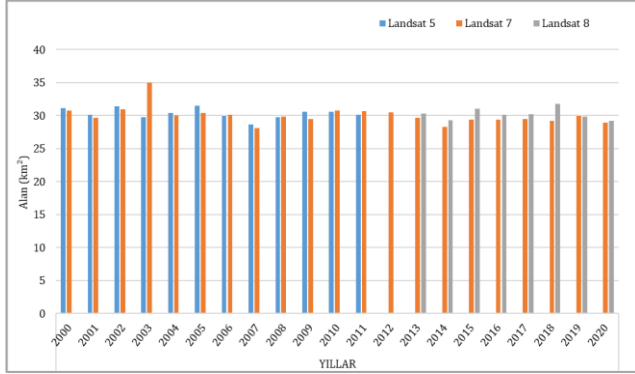
Landsat 5 TM 2003 uydu görüntüsüne göre hata matrisi oluşturulmuştur. Analiz sonucunda oluşturulan harita, su ve diğer alanlar olmak üzere iki sınıfa ayrılmış ve sınıf bazında 50 kontrol noktası ile doğruluk değerlendirilmesi yapılmıştır. Hata matrisine göre genel

doğruluk %93, kappa katsayısı 0.86, üretici doğruluğu %95.74, kullanıcı doğruluğu ise %90 bulunmuştur. Sınıflandırma sonucu doğruluk değerlendirmesinde su alanının %90'nın üzerinde yüksek bir doğruluk ile yapıldığını göstermektedir.

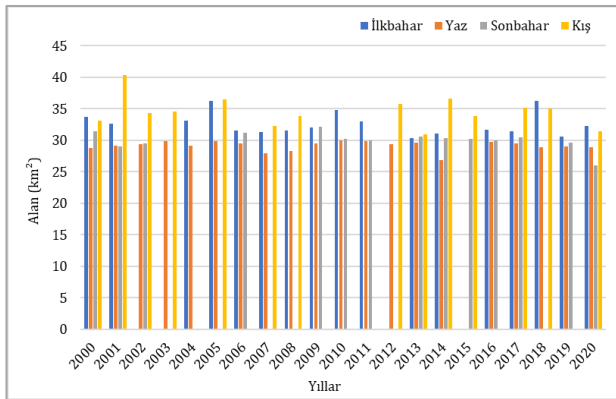
GEE'de bütün sorgulamalar ve yıllık-mevsimlik alan hesabı tamamlandıktan sonra sonuç verileri grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6'da yıllık-mevsimlik alan değişimleri verilmiştir. Yıllık analizler o yıla ait tüm Landsat uydu görüntüleri birleştirilerek su yüzey alanının hesaplanması ile belirlenmiştir. 2000 yılında Terkos Gölü'nün alanı 31.15 km² iken 2020 yılında alan 28.98 km²'ye gerilemiştir. 2000 yılından 2020 yılına kadar Terkos Gölü alanında %6.9'luk bir azalma yaşanmıştır. Göl alanının en düşük değere sahip olduğu 2007 yılında su alanı 28.63 km²'dir. Gölün en yüksek alana ulaştığı yıl ise 2003 yılı olup alan 34.95 km²'dir.

Tablo 2. Terkos Gölü 2003 yılı sonuç haritasına göre hata matrisi ve doğruluk değerlendirmesi

Çalışma Alanı (2003)	Su Alanı	Diğer Alanlar	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu (%)
Su Alanı	45	5	50	90
Diğer Alanlar	2	48	50	96
Toplam	47	53	100	Genel Doğ. = %93
Üretici Doğruluğu (%)	95.74	90.56		Kappa = 0.86

**Şekil 5.** Terkos Gölü yıllık alan değişimi

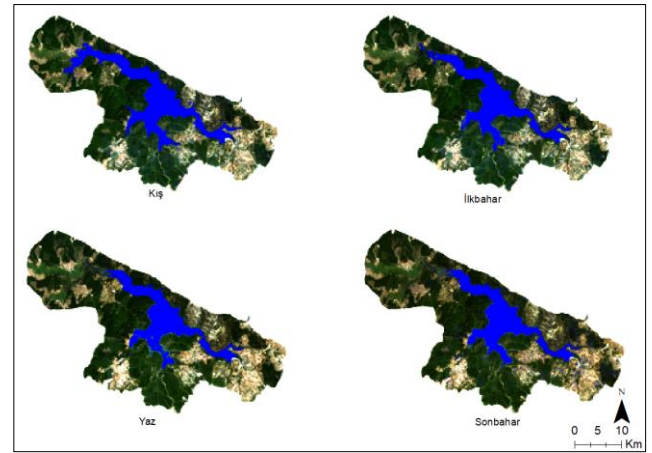
Mevsimsel analiz; yılın ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerindeki aylarda elde edilen görüntüler birleştirilerek su yüzey alanlarının hesaplanması ile belirlenmiştir. 2000 yılı ilkbahar mevsiminde alanın 33.67 km², yaz mevsiminde ise 28.82 km²'ye gerilediği belirlenmiştir. 2001 yılı kış mevsimi görüntülerinden alanın 40.3 km² ile en yüksek seviyeye ulaştığını bu yılın sonbahar mevsiminde ise alanın 28.98 km²'ye düştüğü belirlenmiştir. 2020 yılı sonbahar ayında 26.07 km² ile en düşük seviyeye gerilediği belirlenmiştir. Aynı yılın bütün mevsimleri karşılaştırıldığında ilkbahar ve kış aylarında alanın daha yüksek değerde olduğunu yaz aylarında ise en düşük değere ulaştığı gözlenmektedir.

**Şekil 6.** Terkos Gölü mevsimlik alan değişimi

Şekil 7'de alansal değişimin en çok yaşandığı 2001 yılına ait mevsimsel su alanı görüntüleri gösterilmektedir. 2001 yılı kış ayı görüntülerinden alanın 40.3 km² ile en yüksek seviyeye ulaştığı bu yılın sonbahar ayında ise alanın 28.98 km²'ye düştüğü belirlenmiştir. Bu yılın ilkbahar ayında alan 32.63 km² iken yaz ayında 29.16 km²'dir.

Analizler sonucunda uydu görüntülerinden Terkos Gölü su alanında azalma olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak gölün 2000-2020 yılları arasındaki yıllık ortalama alan değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir. Göl yüzey alanının etkin bir şekilde karşılaştırılabilmesi için

gölün 2000 ve 2020 yıllarındaki alan değerleri seçilmiştir. Terkos Gölü için su alan değişimi incelenirse 2000 yılında Terkos Gölü alanının 31.15 km² iken 2020 yılında 28.98 km²'ye gerilediği tespit edilmiştir. 2000 yılından 2020 yılına kadar Terkos Gölü alanında %6.9'luk bir azalma yaşanmıştır. Ayrıca Tablo 3'te 2000 ve 2020 yılına ait değişimin yüzdelik karşılaştırılması yapılmıştır.

**Şekil 7.** 2001 yılının mevsimlik alan çıktıları**Tablo 3.** Terkos Gölü'nün 2000-2020 yılı alan değerleri

Yıl	2000	2020	2000-2020 Değişim (%)
Alan (km ²)	31.15	28.98	6.9

3. Sonuçlar

Bu çalışmada İstanbul ilinde bulunan Terkos Gölü su yüzey alanının değişimi izlenmiştir. GEE'de yapılan değişim analizine göre Terkos Gölü su alanı 2000-2020 yılları arasında Tablo 3'te görüldüğü gibi %6.9 azalmıştır. 2015 yılında yapılan bir çalışmada Terkos Gölü alanı ve kıyı çizgisinin 1987 yılından 2014 yılına kadar sadece Mayıs ayı için Landsat uydu görüntüleri ile arazi değişimi incelenmiştir (Kurt, 2015). 1987 yılında Terkos Gölü alanı 41.16 km² iken 2014 yılında alan 31.37 km²'ye gerilemiştir. Bu çalışmaya göre Terkos Gölü su alanında 27 yıllık sürede 9.79 km²'lik (%23.78) bir azalma olmuştur. Bu azalmanın temel sebebi ise kaynakların insan faaliyetleri tarafından aşırı kullanımı olarak gösterilmektedir.

Yapılan çalışmalar da incelendiğinde Terkos Gölü'nde meydana gelen bu değişime sebep olan önemli etkinin başında insan faktörü gelmektedir. Son yıllarda yapılaşma baskısı altında olan göl çevresinde yerleşim alanlarının artması o bölgede insan faaliyetlerinin arttığını göstermektedir. Yerleşim alanlarından gelen atıksular, Terkos Gölü'nü besleyen derelere karışmaktadır (TMOBB, 2014). Bu durum, Terkos

Gölü'nün kirlenmesine yol açarak göl için bir tehdit oluşturmaktadır. Yerleşim yerlerindeki artışların ve İstanbul kentine yeni yerleşim alanları kazandıracak büyük projelerin, kente var olan göçü daha da hızlandırarak su alanları için tehlikeli bir boyuta gelmesi kaçınılmaz olacaktır.

Göl alanı değişimindeki bir diğer önemli etki ise son yıllarda yaşanan kuraklıktır. Havzalar; gölü besleyen derelerin yanı sıra yağışlardan da beslendiğinden, İstanbul'un su kaynakları için önem kazanmaktadır. Son dönemlerde İstanbul'da yetersiz yağış olması nedeniyle kuraklık devam ederken, kentin barajlarındaki su seviyesinde azalma kaydedilmiştir. İSKİ verilerine göre, 2020 yılının son ayında şehrin barajlarındaki su seviyesi %20.29'a gerilemiştir. Yağışların azalmasının yanı sıra göl yüzeyinden suyun buharlaşması Terkos Gölü su alanının her geçen yıl daha da azalacağını göstermektedir.

'Yağış rejiminin değişmesi ve kuraklık ile temiz içme suyu temini daha da güçleşecektir.' 'Yağış rejiminin değişmesi ve kuraklık ile tarımsal ve içme amaçlı temiz su gereksinimi artacaktır' (İBB, 2009).

Özetle, göl çevresinde yerleşim alanlarının artması, tarımsal faaliyetler, gölü besleyen kaynakların bilinçsizce kullanımı, kuraklık ve buharlaşma gibi faktörler göl alanında değişime sebebiyet vermiştir. Bu durum, Terkos Gölü gibi İstanbul için önemli su kaynaklarının yok olmasını önlemek için tedbir alınmasını ve sürdürülebilir bir yönetim planının oluşturulmasını gerektirmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışmada verilerin işlenmesinde kullanılan Google Earth Engine platformuna ve uydu görüntülerini bizlere sağladığı için 'United States Geological Survey (USGS)' e teşekkür ederiz.

Araştırmacıların katkı oranı

Merve Karaca: Literatür taraması, Görüntü işleme, Makale yazımı; **Nur Yağmur:** Görüntü işleme, Makale Yazımı, Düzenleme; **Filiz Bektaş Balçık:** Makale yazımı, Düzenleme

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Baki T (1997). Terkos Gölü Su Kalitesi Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 118 s., İstanbul.

Baylan E & Karadeniz N (2006). Terkos Gölü İstanbul Örneğinde Doğal ve Kültürel Çevrenin Korunması ve Geliştirilmesi Üzerine Bir Araştırma. Journal of Agricultural Sciences, 12(02), 151-161. DOI: 10.1501/Tarimbil_0000000471

Foody G M (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote sensing of environment*, 80(1), 185-201.

GEE – Google Earth Engine. Erişim adresi: <https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-algorithms-landsat-simplecomposite>

Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D & Moore R (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.

İBB – İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2009). İstanbul Çevre Düzeni Planı Raporu

Doğan İ (2008). Uzaktan Algılama Verileri ile Kıyı Çizgisi Değişiminin Zamansal Olarak Belirlenmesi: ALAÇATI Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans Tezi, İstanbul.

İSKİ- İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (2021). Erişim adresi: <https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/iski-hakinda1/su-kaynaklari1>

Jiang H, Feng M, Zhu Y, Lu N, Huang J & Xiao T (2014). An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Remote Sensing*, 6(6), 5067-5089.

Kalkınma Bakanlığı (2018). Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 11. Kalkınma Planı (2019-2023). Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/SuKaynaklariYonetimi_ve_GuvenligiOzellhtisasKomisyonuRaporu.pdf

Kurt S (2015). The geographical analysis of the changes occurring in Terkos Lake (Istanbul) and its surroundings. *Journal of Academic Social Science Studies*, (34), 333-344.

Li L, Xia H, Li Z & Zhang Z (2015). Temporal-Spatial Evolution Analysis of Lake Size-Distribution in the Middle and Lower Yangtze River Basin Using Landsat Imagery Data. *Remote Sensing*, 7, 10364-10384.

Mateo-Garcia G, Muñoz-Marí J & Gómez-Chova L (2017). Cloud detection on the Google Earth engine platform. 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 1942-1945.

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.

Midekisa A, Holl F, Savory D J, Andrade-Pacheco R, Gething P W, Bennett A & Sturrock H J (2017). Mapping land cover change over continental Africa using Landsat and Google Earth Engine cloud computing. *PLoS ONE* 12(9), e0184926.

Nguyen U N, Pham L T & Dang T D (2019). An automatic water detection approach using Landsat 8 OLI and Google Earth Engine cloud computing to map lakes and reservoirs in New Zealand. *Environmental monitoring and assessment*, 191(4), 1-12.

Peker E A (2019). Spatio-temporal changes of lake water extents in lakes region (Turkey) using remote sensing. Yüksek Lisans Tezi. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sabancı A (2020). Burdur Gölü Kıyı Şeridindeki Değişiminin Uzaktan Algılama ile Haritalanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 623-633.

- Singh A (1989). Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International journal of remote sensing*, 10(6), 989-1003.
- TMOBB (2014). İstanbul Su Havzaları Teknik Değerlendirme Raporu-1.
- UNESCO (2021). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. The United Nations world water development report 2021, VALUING WATER. Available online: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>
- Xia H, Zhao J, Qin Y, Yang J, Cui Y, Song H, ... & Meng Q (2019). Changes in water surface area during 1989–2017 in the Huai River Basin using Landsat data and Google earth engine. *Remote Sensing*, 11(15), 1824.
- 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.
- Yagmur N & Musaoglu N (2020). Temporal Analysis of Ramsar Sites via Remote Sensing Techniques – A Case Study of Meke Maar. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 737(1), 012248.
- Yang X, Zhao S, Qin X, Zhao N, Liang L (2017), Mapping of urban surface water bodies from Sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening, *Remote Sensing*, 9(6), 596, doi: 10.3390/rs9060596.
- Zurqani H A, Post C, Mikhailova E, Schlautman M & Sharp J (2018). Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69, 175-18.



© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>