

Uzaktan Algılama ve CBS Teknikleri ile Erçek Gölü (Van) Kıyı Çizgisinin Mekânsal-Zamansal Değişim Analizi (1984–2025)

Bülent Matpay^{ID}

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Türkiye, bulentmatpay@yyu.edu.tr

Kaynak Göster: Matpay, B. (2026). Uzaktan Algılama ve CBS Teknikleri ile Erçek Gölü (Van) Kıyı Çizgisinin Mekânsal-Zamansal Değişim Analizi (1984–2025), Geomatik, 11 (2), 266-276.

DOI: 10.29128/geomatik.1927188

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
Erçek Gölü
Kıyı Çizgisi Değişimi
İklim Değişikliği
CBS

Araştırma Makalesi

Geliş: 10.04.2026
Revize: 24.04.2026
Kabul: 27.04.2026
Yayınlanma: 30.04.2026



Öz

Göl seviyelerindeki dalgalanmalar, bölgenin hidro-iklimsel değişimleri ve insan faaliyetlerini yansıtan dinamik sistemlerdir. Çalışma alanı, Türkiye'nin doğusunda Van Gölü Kapalı Havzası içerisinde yer alan Erçek Gölü'nü konu almaktadır. Deniz seviyesinden 1803 m yükseklikte bulunan gölün güncel yüzey alanı 102,84 km², ortalama derinliği ise 18,45 m'dir. Üst Pliosen'de oluşmaya başlayan göl tektonik kökenli olup sodalı su özelliğine sahiptir. Göl çanağının morfolojik gelişimi, yine Üst Pliyosende etkin olan kuzey-güney doğrultulu fay sistemleri tarafından şekillendirilmiştir. Bu araştırma, 1984-2025 yılları arası Erçek Gölü'ndeki kıyı çizgisi/alansal değişimleri ve etkilerini; Landsat serisi (TM, ETM+, OLI/OLI-2) görüntüleri, UA ve CBS teknikleriyle analiz etmektedir. Bulgular, göl yüzey alanının 1984 yılında 101,98 km² iken, 2020 yılında 109,17 km² ile tarihsel maksimum seviyesine ulaştığını, 2025 yılı itibarıyla 102,84 km² seviyesine gerileyerek son beş yılda %5,8'lik (6,33 km²) kadar kayıp yaşadığını ortaya koymuştur. Gölün ana su kaynağı Özalp Çayı'dır. Kapalı yapısı ve yarı kurak iklim özellikleri (380,8 mm yağış/9,5°C sıcaklık), gölü iklimsel salınımlara karşı hassas kılmaktadır. Yaz aylarındaki şiddetli buharlaşma, alansal daralmaların nedenlerindendir. Bu hidrolojik dinamikler, göl kıyısına bağlı sulak alanın barındırdığı zengin biyoçeşitliliği havzanın kırılgan ekosistemlerinden biri haline getirmiştir. Araştırma sonuçları, küresel iklim değişikliğinin yerel etkilerinin çalışma alanında belirginleştiğini kanıtlamaktadır. Saha gözlemleri, göl seviyesindeki salınımlara bağlı olarak kıyı yerleşimlerinin mekânsal yer değiştirdiğini, suyun çekildiği alanların beşerî müdahaleye maruz kaldığını göstermektedir. Azalan yağış/artan sıcaklık değerlerine hassasiyet gösteren Erçek Gölü için sürdürülebilir havza yönetimi stratejilerinin uygulanması önerilmektedir.

Spatio-Temporal Change Analysis of the Shoreline of Lake Erçek (Van) Using Remote Sensing and GIS Techniques (1984–2025)

Keywords

Remote sensing
Lake Erçek
Shoreline change
Climate change
GIS

Research Article

Received: 10.04.2026
Revised: 24.04.2026
Accepted: 27.04.2026
Published: 30.04.2026

Abstract

Lake-level fluctuations represent dynamic systems reflecting both regional hydro-climatic variations and human impacts. This study analyzes the spatiotemporal shoreline changes of Lake Erçek, a tectonic alkaline lake in the Lake Van Closed Basin, Türkiye, between 1984 and 2025. Situated at 1803 m altitude, the lake's basin was shaped by Upper Pliocene fault systems. Utilizing Landsat imagery (TM, ETM+, OLI/OLI-2) and GIS techniques, the research quantifies significant areal fluctuations. Findings reveal that the surface area increased from 101.98 km² in 1984 to a historical maximum of 109.17 km² in 2020, followed by a sharp recession to 102.84 km² by 2025—representing a 5.8% (6.33 km²) loss in just five years. Fed by the Özalp Stream, the lake's closed-basin structure and semi-arid climate (380.8 mm annual precipitation / 9.5°C average temperature) render it extremely sensitive to climatic variations, especially intense summer evaporation. These hydrological dynamics have turned the associated wetlands into highly fragile ecosystems. Results demonstrate indicate the influence of climatic variability; field observations confirm spatial shifts in settlements along the lake shore and rapid anthropogenic encroachment on receded lakebeds. Consequently, the study emphasizes that implementing sustainable basin management strategies is an imperative necessity to mitigate risks from rising temperatures and declining precipitation.

1. Giriş

Göller, yeryüzündeki su rezervlerinin önemli bir payına sahip olan ve bulundukları havzanın iklimsel, hidrolojik ve ekolojik döngüsünü yansıtan dinamik sistemlerdir [1]. Ayrıca akarsulardan farklı olarak, özellikle dışı akışı olmayan kapalı havza göllerinde su bütçelerindeki en küçük değişimleri bile göl seviyesi ve kıyı çizgisi hareketleriyle hızlı tepki verebilmektedir [2]. Göller, sadece birer su kütlesi değil, aynı zamanda havzadaki çevresel değişimlerin kaydedildiği doğal ortamlar olup bitki ve hayvan türlerine habitat ortamı oluşturarak biyoçeşitliliğe katkı sunmaktadır [3].

Göl seviyesinde meydana gelen dalgalı değişimler, sadece su miktarındaki bir artış veya azalış değil; aynı zamanda kıyı morfolojisinin, su kalitesinin ve biyolojik çeşitliliğin yeniden şekillenmesi anlamına gelmektedir. Kıyı kavramı; deniz, göl veya akarsuların kara ile temas ettiği, her iki ortamın özelliklerini bünyesinde barındıran son derece dinamik bir geçiş bölgesini ve sucul-karasal ekosistemlerin ara yüzeyini ifade etmektedir [4, 5]. Jeomorfolojik açıdan güncel ve dinamik yeryüzü şekilleri ile özgün jeomorfik birimler olan kıyı sistemleri [6] besin maddesi döngüsünün en yoğun gerçekleştiği, yüksek biyofiltrasyon kapasitesine sahip ve birçok endemik tür için kritik habitat sunan stratejik alanlardır [7,8 ve 9]. Özellikle sığ kıyı bölgelerinde kümelenen sulak alan vejetasyonu, besin tuzu döngüsünü filtrasyon süreçleriyle destekleyerek ekosistemin kendi kendini temizleme kapasitesini optimize eder. Küresel ölçekte kıyı bölgeleri, dünya nüfusunun yaklaşık %40'ını bünyesinde barındırması ve makro-ekonomik faaliyetlerin merkezi olması nedeniyle stratejik bir öneme sahiptir [10]. Hayati bir ekosistem bileşeni olan bu bölgeler, sahip oldukları zengin biyolojik çeşitliliğin yanı sıra, yüksek karbon yutağı kapasiteleri ile iklim değişikliğiyle küresel mücadelede kritik roller üstlenmektedir [9,11-14]. Ancak günümüzde bu bölgeler, iklim değişikliğinin tetiklediği deniz seviyesi yükselmesi ve değişen hava olaylarının baskısı altındadır. Kıyı alanlarındaki bu kırılganlık, özellikle düşük rakımlı yerleşim birimlerinde sosyo-ekonomik riskleri ve altyapı güvenliğini tehdit eden bir boyuta ulaşmıştır [15]. Bu durum kıyı yerleşim alanlarının sınırlarını ve sürdürülebilirliğini doğrudan etkileyen sosyo-mekânsal sonuçlar doğurmaktadır.

Türkiye’de de artan yüzey sıcaklıkları buharlaşmayı tetiklerken, yağış rejimindeki düzensizlikler gölleri besleyen yüzeysel akışları zayıflatmaktadır [16]. Göl seviyesindeki düşüş, kıyı çizgisinin yatay yönde metrelerce çekilmesine ve sulak alanların kaybına neden olacağı açıktır. Bu değişime etki eden faktörler iklim değişikliği, meteorolojik ve hidrolojik özellikler, ozon tabakasındaki değişimler ve tektonik hareketliliklerin olduğu düşünülür [17]. Tersine gelişen kontrolsüz yükselmeler, çekilme sürecinde yerleşime açılan alanları su baskını riskiyle karşı karşıya bırakmaktadır. Türkiye, yaklaşık 8.333 km’lik deniz kıyı şeridinin yanı sıra zengin iç su kaynaklarıyla da önemli bir kıyı varlığına sahiptir. Bu yönüyle dünyadaki toplam kıyı uzunluğunun %2,67’sini oluşturmaktadır [18].

Türkiye’nin en büyük kapalı havzalarından biri olan Van Gölü havzası içinde yer alan göllerden başta Van

Gölü, Erçek Gölü olmak üzere, Akgöl ve Tuz Gölü gibi kapalı sistemler, iklimsel salınımlara ve antropojenik müdahalelere karşı deniz kıyılarına oranla çok daha hızlı tepki vermektedir.

Çalışmaya konu olan Erçek Gölü, barındırdığı zengin biyoçeşitlilik ile ekolojik açıdan öneme sahiptir [19]. Ancak gölün özellikle doğu ve kuzey kıyılarındaki düşük eğim yapısı (%1-2), su seviyesindeki minimal düşüşlerin bile kıyı çizgisinin onlarca metre çekilmesine yol açmaktadır. Bu süreç, lagünlerin kurumasına, ekosistemin tahribine ve flora ve fauna habitatının bozulmasına neden olmaktadır. Bu ekolojik risklerin en somut gözlemlendiği saha, birçok kuş türü için habitat alanı sunan Karagündüz ve yakınında bulunan sulak alandır. Erçek doğu ve güneydoğusuna ait kıyı çizgisindeki kararsız yapısıyla havzadaki sulak alan kayıplarının şiddetini ölçen bir biyo-indikatör sahası olarak değerlendirilmelidir. Ancak bölge sadece iklimsel değil; nüfus baskısı, tarımsal su kullanımı ve kontrolsüz altyapı çalışmaları gibi antropojenik faktörlerin baskısı altındadır (Şekil 1).



Şekil 1. Erçek Gölü doğu kesimi kıyı çizgisi değişimi (2020 yılı sonrası, URL 1)

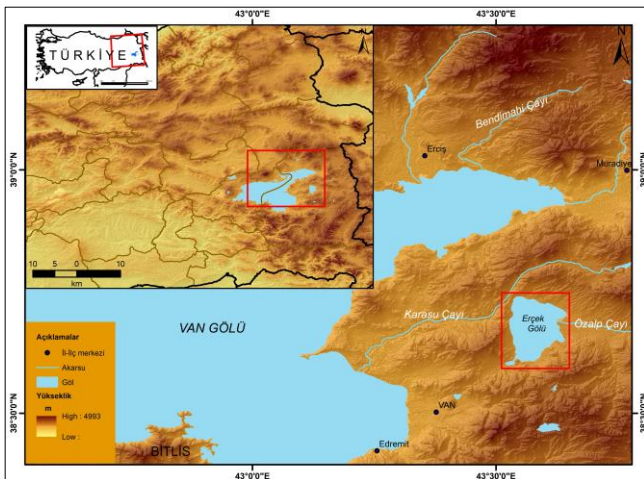
Kıyı değişimlerinin izlenmesinde Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri, sundukları zamansal süreklilik ve yüksek hassasiyetli nicel analiz imkânları sayesinde geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkin bir çözüm sunmaktadır [20]. Özellikle geleneksel izleme yöntemlerinin yüksek maliyet ve sınırlı erişilebilirlik gibi kısıtları, bu modern teknolojilerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Göl seviyesi ve kıyı çizgisi değişimlerinin analizi kapsamında, Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerinin etkinliği pek çok bilimsel çalışma ile ortaya konulmuştur [9, 21-28]. Bu literatür birikimi ışığında sunulan çalışma; 1984-2025 yıllarını kapsayan kesintisiz Landsat uydu arşivini (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) kullanarak Erçek Gölü kıyı çizgisindeki zamansal değişimleri nicel olarak analiz etmeyi amaçlamaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler, gölün ekolojik sınırlarındaki daralmayı belgeleyerek, bölgeye yönelik havza yönetimi ve sürdürülebilir koruma stratejileri için bilimsel bir altlık oluşturmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda, 40 yılı aşkın bir süreci kapsayan bu uzun dönemli analiz, Erçek Gölü’nün dinamik yapısını ve maruz kaldığı mekânsal değişimleri bütüncül bir perspektifle ortaya koyması bakımından önem arz etmektedir. Literatürde bu konu üzerine çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, Erçek Gölü

konusunda zamansal değişim hızı/mekansal dağılımın nedenleri hala tam olarak aydınlatılamamıştır. Bu durum, literatürde önemli bir bilimsel boşluk oluşturmaktadır. Bu çalışma, uydu verileri aracılığıyla Erçek Gölü kıyılarında arazi değişimi ekosistemi nasıl etkilediği sorusuna cevap aranmıştır. Çalışmanın özgünlüğü burası ile ilgili uzun vadeli kıyı değişim analizi yapılmayıdır.

1.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı, Doğu Anadolu Bölgesi'nin yüksek platosu üzerinde, Van Gölü Kapalı Havzası içerisinde yer alan ve Van Gölü kapalı havzası içindeki önemli göl ekosistemlerinden biri olan Erçek Gölü ve kıyısını kapsamaktadır (Şekil 2). Erçek Gölü, deniz seviyesinden ortalama 1803 m yükseltide yer almakta olup, yaklaşık 102,84 km²'lik bir yüzey alanına sahiptir. Göl çanağının batimetrik verileri, gölün ortalama 18,45 m derinliğe sahip olduğunu göstermektedir [29]. Havzanın endoreik (kapalı) yapısı, gölün hidrolojik bütçesi ve su kimyası üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Dışa akışı olmayan bu kapalı havza sistemi, yüksek evaporasyon (buharlaşıma) oranları ile birleşerek suyun iyonik özelliğini farklılaştırmış olup bu durum gölün, komşusu olan Van Gölü ile benzer şekilde yüksek alkaliniteye sahip sodalı bir hidrokimyasal özellik kazanmasına neden olmuştur. Havzanın ana drenaj ağı, doğu-batı doğrultusunda akış göstererek gölü besleyen Özalp (Memedik) Çayı oluşturmaktadır[29]. Ekolojik açıdan yüksek hassasiyete sahip olan bu saha, barındırdığı sulak alan ekosistemleri, doğal çevre ve bileşenleri için önemlidir.



Şekil 2. Çalışma alanı lokasyon haritası

Çalışma yeri, Jeolojik/Tektonik olarak incelendiğinde, Doğu Anadolu bölgesi, Arap ve Avrasya levhaları arasındaki kıtasal çarpışmanın yol açtığı sıkışma tektoniğinin en belirgin şekilde görüldüğü bir konumdadır. Bölgede neotektonik döneme bağlı olarak birçok farklı türde aktif fay mevcuttur. [29, 30]. Çalışma alanı bu fay sistemlerinden etkilenmektedir. Saray Formasyonu üzerinde şekillenen saha, jeomorfolojik gelişimini Ahte Dağı paleopidmontu ile birlikte tamamlamıştır. Erçek Gölü Havzası, Üst Pliyosen-Alt Plevistosen döneminden itibaren aktif tektonizmaya

bağlı olarak gelişmeye başlamış tektonik kökenli bir depresyondur. Havzanın morfogenetik evriminde tektonik hatlar belirleyici rol oynamış; havzanın genel makro-yapısı doğu-batı yönlü faylar tarafından denetlenirken, göl çanağının derinlik ve morfolojik sınırları kuzey-güney doğrultulu fay sistemleri tarafından şekillendirilmiştir. Sahanın topografik yapısı, göl seviyesinden itibaren yükselen masif kütleler, aktif birikinti yelpazeleri, flüvyal süreçlerle parçalanmış vadi sistemleri ve gölün Kuvaterner'deki paleoseviyelerini temsil eden belirgin kıyı sekileri (teraslar) ile karakterize edilen dinamik bir görünüm sunmaktadır [31]. Bu morfolojik birimler, sahanın geçmişten günümüze geçirdiği iklimsel ve tektonik değişimlerin somut göstergeleridir.

Erçek Gölü'nün kıyı çizgisi ve hidrolojik seviyesi, kapalı havza karakteri gereği yıllık yağış miktarı ve buharlaşma dengesine bağlı olarak farklı varyasyonlar göstermektedir. Gölün özellikle güney kıyı bölgesinde antropojenik müdahalelerin (liman, mahmuz vb.) bulunmaması, kıyı morfolojisinin dalga ve akıntı gibi hidrodinamik süreçlere karşı doğal bir duyarlılık göstermesine neden olmaktadır. Nitekim 2021 yılında bölgede hüküm süren şiddetli kuraklık neticesinde göl seviyesinde meydana gelen çekilme, doğal barınma alanlarının sedimentasyonla (kumlanma) sığlaşmasına yol açmıştır. Bu durum, rüzgâr ve dalga enerjisinin kıyısız morfoloji üzerindeki modifiye edici etkisini artırarak, kıyısız erişilebilirliği kısıtlayan doğal bir faktör olarak görülmektedir [32].

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma ve ilgili analizler, uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) entegrasyonu, Landsat uydu serilerinin sunduğu mekânsal çözünürlüklü Landsat uydu verilerinin (30m) birleşimi ile sağlanmıştır. Erçek Gölü gibi dinamik kapalı havza ekosistemlerinde meydana gelen kronolojik kıyı çizgisi değişimlerinin ve alansal kaymaların, bu tekniklerin kullanılmasıyla büyük olasılıkla ortaya koyan bu nicel çalışmada, Van Gölü Kapalı Havzası'nın en büyük ikinci gölü olan Erçek Gölü'nün zamansal kıyı çizgisi değişimleri analiz edilmiştir. Analizler için 1984 ile 2025 yılları arasını kapsayan çok zamanlı (multi-temporal) uydu görüntüleri kullanılmıştır. Veriler, Çalışmada kullanılan tüm optik uydu verileri, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS - United States Geological Survey) tarafından sunulan EarthExplorer (earthexplorer.usgs.gov) platformu üzerinden temin edilmiştir [33]. Veri tabanından Landsat 4-5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI ve Landsat 9 OLI sensörlerine ait görüntüler olarak temin edilmiştir. Bu veriler CBS ortamına aktarılarak görüntü işleme ve spektral kombinasyonlara tabi tutulmuştur. Verilerin işlenmesi ve mekânsal analizlerin yapılması sürecinde ArcMap 10.7.1 (ESRI) yazılımı kullanılmıştır. Görüntülerin analizinde, su kütlesi ile kıyı hattı arasındaki kontrastı maksimize etmek ve kullanılan uydu verileri arasında zamansal sürekliliği ve tutarlılığı sağlamak amacıyla, farklı sensörler için eş değer bant kombinasyonları (Composite Bands) uygulanmıştır. Bant kombinasyonları yapılırken 1984-2013 Dönemi

(Landsat 4, 5, 7) için su emiliminin yüksek olduğu kısa dalga kızılötesi (SWIR, 5), yakın kızılötesi (NIR, 4) ve kırmızı (Red,3) kanallarını içeren bantlar kullanılmıştır. Bu bantlar 4, 5 ve 3 sıralamasına uygun olarak birleştirilmiştir. 2014 - 2026 Dönemi (Landsat 8, 9) için 2014 yılından itibaren devreye giren Landsat 8 OLI ve Landsat 9 OLI verilerinde ise sensör hassasiyetindeki değişim nedeniyle, önceki dönemle aynı spektral karşılığa sahip olan 6 (SWIR 1), 5 (NIR) ve 4 (Red) bantları kullanılmıştır. Bu bantlar ise sırasıyla 5, 6 ve 4. olarak birleştirilmiştir. Araştırmacılarca her iki kombinasyon da literatürde kıyı çizgisi çıkarımı ve sulak alan izleme çalışmalarında yüksek doğruluğu veren standart olduğu için kullanılmaktadır. Hazırlanan kompozit görüntüler üzerinden göl sınırı/kıyı çizgisi çıkarımı ve alan hesaplama tespiti için kontrollü sınıflandırma (Supervised Classification) yöntemi uygulanmıştır. Sınıflandırma sürecinde, görüntüdeki spektral çeşitliliği en iyi şekilde temsil etmek amacıyla Piksel Tabanlı Eğitim Alanları (ROI - Region of Interest) seçilmiştir. Eğitim verilerinin seçiminde şu kriterler ve yöntemler izlenmiştir: Örneklem Seçim Stratejisi için görüntü üzerinde "Su" ve "Kara" (Bitki örtüsü, çıplak toprak, yerleşim) sınıflarını spektral olarak en saf (pure pixel) haliyle temsil eden bölgeler seçilmiştir. Karmaşık piksellerden (kıyı hattındaki su-kara karışımı pikseller) kaçınılarak, sınıf içi varyansı kapsayacak şekilde heterojen bir dağılım sağlanmıştır. Örneklem Sayısı: Her bir uydu görüntüsü için; Su Sınıfı: Gölün farklı derinliklerini ve sediment yükünü temsil eden yaklaşık 30 adet eğitim poligonu. Kara Sınıfı için göl çevresindeki farklı arazi örtülerini (mera, tarım, yerleşim, çıplak kayalık) temsil eden 30-35 adet eğitim poligonu belirlenmiştir. Toplamda her analiz yılı için yaklaşık 60-65 adet eğitim alanı kullanılmıştır. Eğitim verilerinin doğruluğu için uzaktan algılama verilerinden üretilen kıyı çizgisi haritalarının ve göl alanı sınıflandırmalarının doğruluğunu test etmek amacıyla kapsamlı bir hata matrisi (confusion matrix) analizi uygulanmıştır. Bu analiz, metodolojinin zamansal tutarlılığını kanıtlamak adına 1984 ile 2025 yılları arasındaki sekiz farklı dönem için ayrı ayrı yürütülmüştür. İlk olarak her bir analiz yılı için "Tabakalı Rastgele Örneklem" (Stratified Random Sampling) yöntemiyle 100 adet kontrol noktası belirlenmiştir. Toplamda 800 adet bağımsız kontrol noktası üzerinden yer gerçekliği doğrulaması yapılmıştır. Bu aşamadan sonra doğrulama sürecinde zamansal verilere uygun referans setleri kullanılmıştır. 2020 ve 2025 yıllarına ait kontrol noktaları için ArcGIS Online platformu üzerinden sunulan yüksek çözünürlüklü güncel uydu/hava fotoğrafları (Basemap/World Imagery) referans alınmıştır. 1984-2015 yılları arasındaki geçmiş dönemler için ise, o yıllara ait Landsat görüntülerini en net yansıtan bant kombinasyonlarından faydalanılarak yer gerçekliği verisi olarak kullanılmıştır. Değerlendirme aşamasında Her bir nokta için sınıflandırma sonucu (Tahmin) ile referans veri (Gerçek) karşılaştırılmış; Kullanıcı doğruluğu ve genel doğruluk (Overall Accuracy) istatistikleri hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda tüm periyotlar için genel doğruluk oranlarının %92 ile %99 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 1). Sekiz dönemin ortalama genel

doğruluğu %96 olarak hesaplanmıştır. En yüksek doğruluk oranı 2010 yılında (%99), en düşük doğruluk oranı ise 2015 yılında (%92) gözlemlenmiştir. Hataların büyük çoğunluğunun su-kara sınırındaki karmaşık piksellerden kaynaklandığı, ancak elde edilen sonuçların uluslararası literatürde kabul gören %85 eşik değerinin çok üzerinde olduğu saptanmıştır [34]. Elde edilen ayrıntılı doğruluk verileri aşağıda sunulmuştur. Kappa (κ) istatistiği, sınıflandırılmış harita ile referans veriler arasındaki uyumun, şans faktöründen ne ölçüde arındırıldığını ifade etmektedir. Genel doğruluğun aksine Kappa, hata matrisindeki sınıflar arası dağılımı da hesaba katarak güvenilirliği doğrulamaktadır [35]. Sınıflandırma performansının istatistiksel olarak anlamlılığını ölçmek amacıyla, Genel Doğruluk oranına ek olarak Kappa Katsayısı hesaplanmıştır. Kappa katsayısı, gözlenen doğruluk ile tamamen şansa bağlı oluşan beklenen doğruluk arasındaki farkı normalize ederek sınıflandırmanın güvenilirliğini belirler. Kappa Katsayısı Hesaplama Formülü: $P_o - P_e / 1 - P_e$ ile hesaplanmaktadır. Burada P_o gözlenen doğruluğu, P_e ise şans eseri beklenen doğruluğu temsil etmektedir. Literatürde kabul gören kriterlere göre Kappa değerleri şu şekilde yorumlanmaktadır: 0.81–1.00: Mükemmel Uyum, 0.61 – 0.80 arası Önemli Uyum ve 0.41 – 0.60 arası ise Orta Uyum olarak kabul edilmektedir [36].

Çalışma kapsamında 1984-2025 yılları için hesaplanan Kappa değerleri 0.84 ile 0.98 arasında değişim göstermektedir. Tüm yılların ortalama Kappa değeri 0.92 olarak bulunmuştur. Bu değerler, sınıflandırma sonuçlarının şansa bağlı olmadığını ve yer gerçekliği verileriyle "Mükemmel" düzeyde uyumlu olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Dönemsel hata matrisleri ve dönemsel genel doğruluk ve kappa istatistikleri

Yıl	Sınıf (Tahmin)	Su (Gerçek)	Kara (Gerçek)	Kullanıcı Doğruluğu	Kappa (κ)
1984	Su	49	1	%98	0.96
	Kara	1	49	%98	
1989	Su	48	2	%96	0.92
	Kara	2	48	%96	
1994	Su	47	3	%94	0.88
	Kara	3	47	%94	
2005	Su	49	1	%98	0.94
	Kara	2	48	%96	
2010	Su	50	0	%100	0.98
	Kara	1	49	%98	
2015	Su	46	4	%92	0.84
	Kara	4	46	%92	
2020	Su	47	3	%94	0.92
	Kara	1	49	%98	
2025	Su	47	3	%94	0.92
	Kara	1	49	%98	

Böylece *Maximum Likelihood* (En Çok Benzerlik Yöntemi) algoritması kullanılarak "su" ve "kara" sınıfları birbirinden ayrılmıştır. Çalışmanın zaman aralığı, bölgedeki iklimsel değişimleri/insan etkisini/su yüzeyi dinamiklerini en geniş perspektifte temsil edebilmek amacıyla uzun yılları (1984-2025) kapsayacak şekilde belirlenmiştir. Analiz periyotları seçilirken verilerin sürekliliği ve sensör uyumluluğu gözetilmiştir. Zaman aralığı seçiminde yıllar arası karşılaştırmalarda yanılma payını minimize etmek için tüm görüntüler, su seviyesinin nispeten stabil olduğu ve bitki örtüsünün

maksimum canlılığa ulaştığı Yaz mevsimi aylarına ait verilerden seçilmiştir. Seçilen yılların aşırı kurak veya aşırı yağışlı ekstrem yıllar olmamasına, bölgenin genel eğilimini (trend) yansıtmamasına dikkat edilmiştir. Bu işlemlerin gerçekleştirildiği uydu görüntülerinin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir (Tablo 2).

Tablo 2. Çalışmada kullanılan Landsat uydu görüntülerinin teknik özellikleri ve bant kombinasyonları

Uydu Serisi	Sensör	Analiz Periyodu	Bantlar (R-G-B)	Spektral (Dalga Boyu)
Landsat 4-5	TM	1984 – 2011	4 - 5 - 3	NIR / SWIR 1 / Red
Landsat 7	ETM+	1999 – 2013	4 - 5 - 3	NIR / SWIR 1 / Red
Landsat 8	OLI	2013 – 2021	6 - 5 - 4	NIR / SWIR 1 / Red
Landsat 9	OLI-2	2021 – 2026	6 - 5 - 4	NIR / SWIR 1 / Red

Sınıflandırma sonrası elde edilen raster veriler, daha hassas mekânsal analizler yapabilmek adına vektörel (Polygon) formata dönüştürülmüştür. Alan hesaplamalarında hata payını minimize etmek ve doğruluğu sağlamak için tüm veriler WGS 1984 UTM Zone 38N projeksiyon sistemine dönüştürülmüştür. Her döneme ait göl yüzey alanı (km²) öznitelik tabloları üzerinden otomatik olarak hesaplanmış ve yıllar içindeki net alan değişimleri (km²) belirlenerek tematik değişim haritaları üretilmiştir. Bu işlemin ardından vektörel analiz (Intersect/Erase) işlemiyle farklı yıllara ait poligonlar çakıştırılarak gölün hangi bölgelerde çekildiği veya genişlediği (kıyı çizgisi öteleme) mekânsal olarak tespit edilmiştir. Bu ifadeyle çalışmanın başlangıç aşamasından haritalandırma aşamasına kadar izlenen sistematik süreç aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Erçek gölü kıyı çizgisi değişimi ve alansal analiz süreçlerine ait iş akış tablosu.

Aşama	İşlem Adımı	Uygulama / Araç (ArcMap 10.7.1)	Çıktı / Ürün
I. Veri Hazırlama	Uydu Görüntüsü İndirilmesi	USGS EarthExplorer (Landsat Serisi)	Ham Uydu Verisi
II. Ön İşleme	Katman İstifleme (Composite)	Data Manag. > Raster > Composite Bands	Multispektral Görüntü
III. Spektral Analiz	Bant Kombinasyonu	5-4-3 (L5/7) & 6-5-4 (L8/9)	Tematik Kompozit Görüntü
IV. Sınıflandırma	Su-Kara Ayrımı (Classification)	Spatial Analyst > Maximum Likelihood	Raster Sınıflandırma
V. Vektör	Göl Sınırı Çıkarımı	Conversion Tools > Raster to Polygon	Göl Poligon Katmanı (Shapefile)
VI. Geometrik Analiz	Alan Hesaplama	Attribute Table > Calculate Geometry	Yıllık Yüzey Alan Verisi
VII. Kartografya	Değişim Haritalarının Çizimi	Layout View > Map Elements & Legend	Kıyı Çizgisi Değişim Haritası

Uydu verilerinin işlenerek harita üretimi aşamasından sonra Erçek Gölü'nün yüzey alanında gözlemlenen zamansal değişimlerin iklimsel parametrelerle olan ilişkisini analiz edebilmek amacıyla, havzayı temsil eden uzun süreli meteorolojik veriler kullanılmıştır (Tablo 4). Bu kapsamda; Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) veri tabanından, çalışma sahasına en yakın ve en uzun veri serisine sahip olan Van Merkez Meteoroloji İstasyonu'nun 1938-2024 yılları arasındaki yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri temin edilmiştir [37].

Tablo 4. Van İli Uzun Yıllar İklim Verileri (1938-2024).

Parametre	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıl
Ort. Sic. (°C)	-3.3	-2.6	1.8	7.9	13.3	18.5	22.4	22.3	18.0	11.4	4.6	-0.6	9.5
Maks Sic. (°C)	0.8	1.7	6.1	12.6	18.3	23.9	28.3	28.5	24.1	17.1	9.7	3.5	14.5
Yağış (mm)	32.3	32.8	44.7	56.4	46.5	17.6	5.3	3.5	14.8	44.1	46.0	36.8	380.8

Temin edilen iklim verileri, uydu görüntülerinden elde edilen göl yüzey alanı verileri ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yağış verilerindeki trend analizi, göl seviyesindeki salınımların ve kıyı çizgisindeki ötelemelerin meteorolojik kuraklık veya ekstrem yağış dönemleri ile olan betimsel korelasyonunu ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır. Çalışma alanındaki arazi örtüsü sınıfları belirlenirken, Avrupa Çevre Ajansı tarafından sunulan ve uluslararası standartlara sahip olan CORINE (2018) arazi örtüsü sınıflandırma sistemi referans alınmıştır.

3. Bulgular

1984-2025 yılları arasında yapılan uzaktan algılama analizleri, Erçek Gölü yüzey alanının statik bir yapı olmadığını, aksine periyodik genişleme ve daralma eğilimleri sergilediğini ortaya koymuştur. Analiz edilen 41 yıllık süreçte göl yüzey alanı en düşük değerine 1984 yılında (101,98 km²) en yüksek değerine ise 2020 yılında (109,17 km²) ulaşmıştır (Şekil 3).

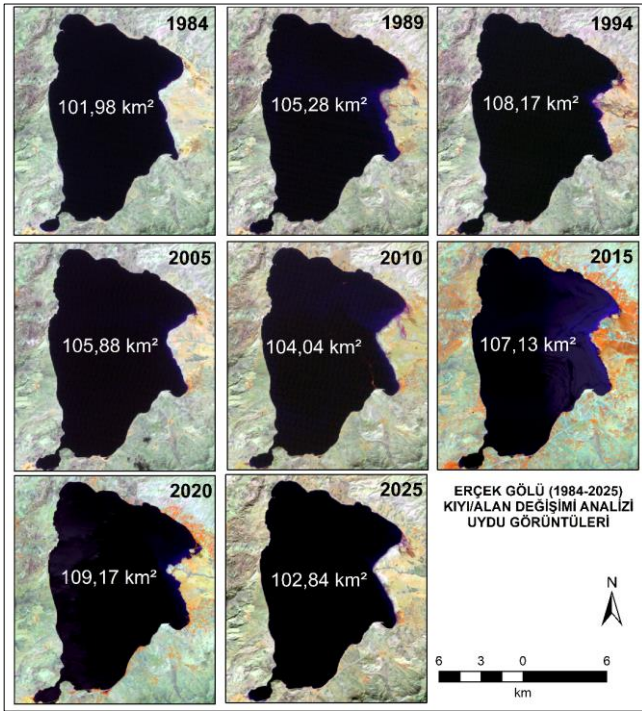


Şekil 3. Erçek gölü yüzey alanının yıllara göre değişimi

Veriler incelendiğinde, 1984'ten 1994'e kadar sürekli bir artış trendi (toplam +6,19 km²) izlenmiş, 2005-2010 döneminde bir daralma evresine girilmiş, ancak 2020 yılında göl alanı tarihsel zirvesine ulaşmıştır. En dikkat çekici bulgu ise, 2020-2025 yılları arasındaki beş yıllık kısa sürede yaşanan %5,8'lik (6,33 km²) keskin daralmadır.

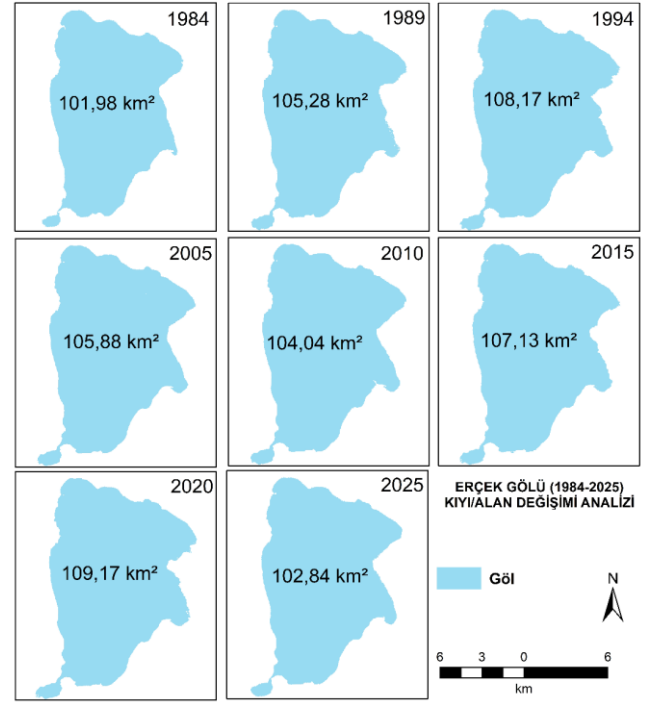
Alansal salınımların ve 2020-2025 keskin çekilmesinin analizi detaylı irdelendiğinde Erçek Gölü

yüzey alanı verileri son 41 yılda gölün iki farklı hidrolojik karakter sergilediği görülmektedir. 1984-2020 periyodu, gölün genel bir genişleme eğiliminde olduğu ve 109,17 km² ile tarihsel zirvesine ulaştığı "yükselim evresi" olarak tanımlanabilir. Ancak, 2020-2025 yılları arasındaki beş yıllık süreçte meydana gelen 6,33 km²'lik kayıp, çalışmanın en kritik bulgusudur. Bu daralma, yalnızca yağıştaki azalışla açıklanamayacak ölçüdedir. Sıcaklık artışı, buharlaşma, yeraltı suyu beslenmesindeki değişim ve tarımsal su kullanımı gibi etkenlerin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Kıyı çizgisindeki bu kararsızlık (Şekil 4), özellikle sığ kıyı bölgelerinde ekosistem kaybı ve jeomorfolojik değişimlerin hızlandığını göstermektedir.



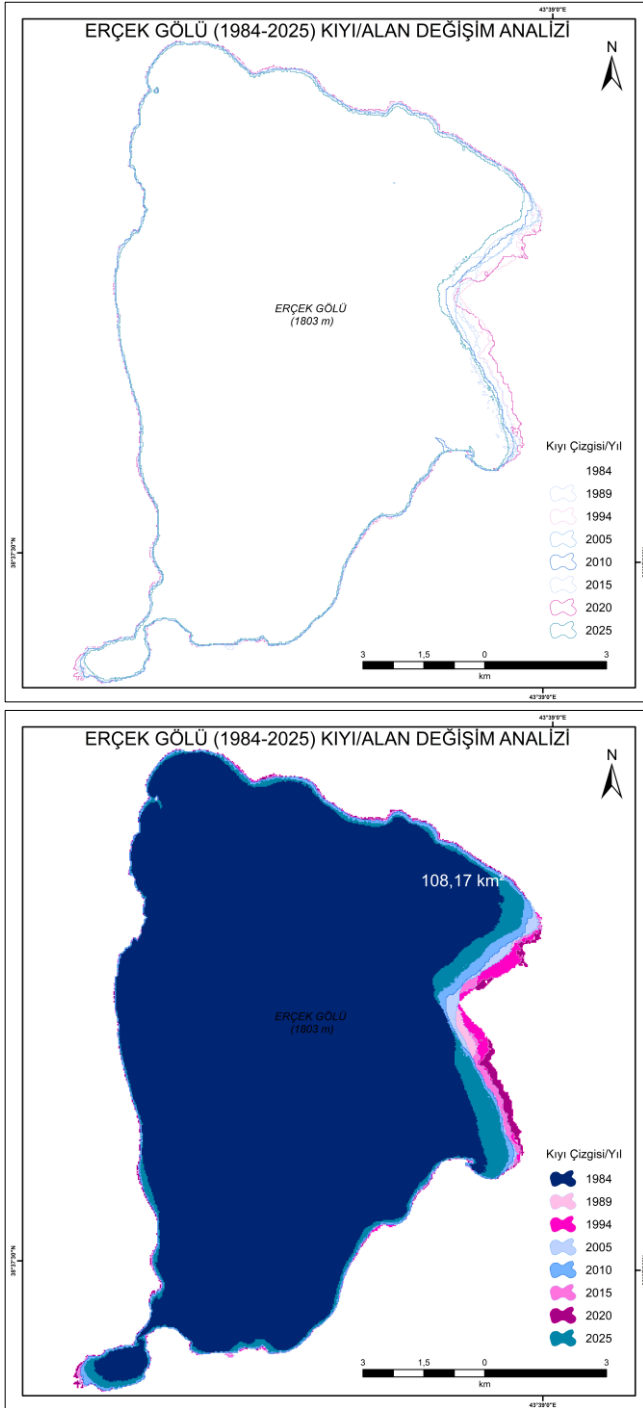
Şekil 4. Erçek Gölü kıyı/alan değişim analizi (1984-2025, [33])

Göldeki kıyı değişim yönlerine bakıldığında gölün 1984-2025 yıllarını kapsayan uydu görüntüsü analizleri, Erçek Gölü'nün kıyı morfolojisindeki en dramatik değişimin gölün doğu kıyılarındaki gerçekleştiğini ortaya koymaktadır (Şekil 5). Bu alanda gözlemlenen belirgin regresyon (çekilme) süreci, sadece klimatolojik faktörlerle değil, aynı zamanda sahanın jeomorfolojik ve antropojenik karakteristiği ile de yakından ilişkilidir.



Şekil 5. Erçek Gölü (1984-2025) kıyı/alan değişim analizi

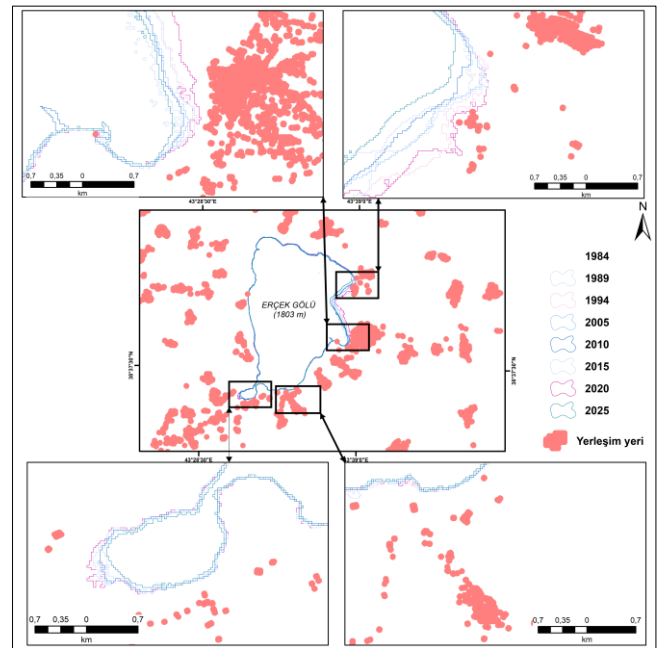
Doğu kıyıları, havzanın ana drenaj ağını oluşturan Özalp (Memedik) Çayı'nın göle ulaştığı ağız kısmını kapsamaktadır. Bu bölgedeki şiddetli çekilme, göl su seviyesindeki dikey düşüşün yanı sıra, akarsuyun taşıdığı yüksek sediment yükünün sığ kıyı kuşağında birikmesiyle oluşan deltasal progradasyon (ilerleme) sonucudur. Sığ bir özelliğe sahip olan doğu kesimi, su seviyesindeki en küçük hacimsel azalmaların bile yatayda çok geniş bir alanın karalaşmasına (terrestrialization) neden olduğu bir topoğrafyaya sahiptir (Şekil 6).



Şekil 6. Erçek Gölü kıyı değişimi: bindirilmiş zaman serisi haritası (1984-2025)

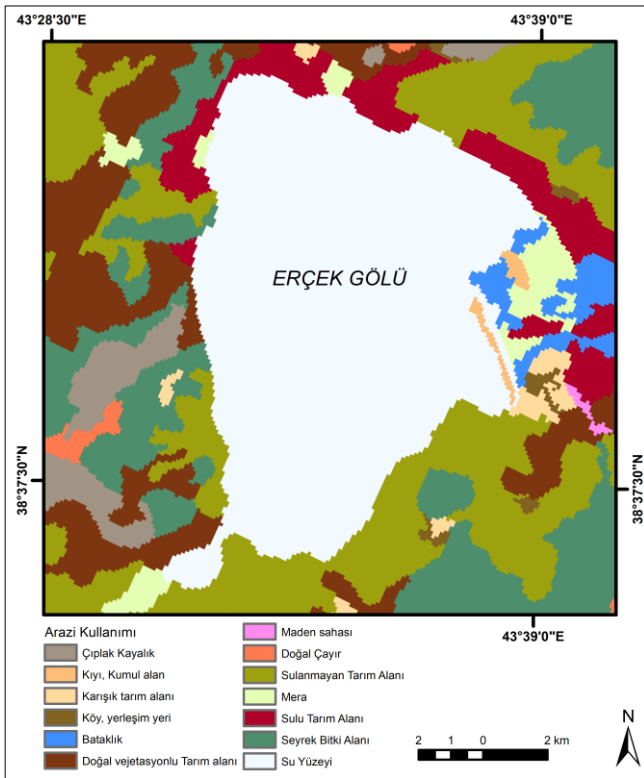
Erçek Gölü kıyı çizgisindeki dikey ve yatay salınımların, havzadaki beşerî faaliyetler ve yerleşim dokusu üzerinde doğrudan belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu süreçte arazi çalışmalarında elde edilen bulgular şu şekildedir: Çalışma alanının kuzeydoğusunda yer alan eski Karagündüz Köyü ve yakınında yer alan yerleşim yerleri göl seviye değişimlerinin beşerî coğrafya üzerindeki etkisini gösteren en somut örnektir. Geçmiş dönemlerde yaşanan göl ilerlemesi safhasında, yerleşkenin orijinal dokusu sular altında kalarak tahliye edilmiş ve köy daha yüksek kotlara nakledilmiştir. Ancak 1984'ten 2025'e kadar izlenen göl gerilemesi, bu süreci radikal bir biçimde tersine çevirmiştir. Göl kıyısında gelişen süreçlerin etkisiyle örtülen eski yerleşim alanları,

güncel hidrolojik dengesizlik ve kuraklık neticesinde yeniden açığa çıkarak su üstü yüzeylere dönüşmüştür. Bu durum, su altında kalan eski yerleşim kalıntılarının gün yüzüne çıkmasına neden olmuştur. Gölün doğu kesiminde yer alan ve havzanın en yoğun nüfuslu merkezi olan Erçek yerleşkesi, kıyı çizgisi değişiminden en fazla etkilenen alandır. Gölün geri çekilmesiyle açığa çıkan sahalara, günümüzde karasal bir görünüm kazanmıştır. Bu durum, yöre halkı üzerinde cezbedici bir etki üreterek, antropojenik baskının (tarımsal faaliyetler ve yerleşim yayılımı) bu yeni kazanılan düşük eğimli sahalara doğru kaymasına yol açmıştır. 2025 yılı sonu yapılan arazi çalışmaları neticesinde bu alanların insan faaliyetlerine açıldığı ve ekolojik olarak risk altında olduğu görülmüştür (Şekil 7). Ancak havzanın kapalı karakteri ve iklimsel salınımların öngörülemezliği dikkate alındığında, yeni açılan bu sahalara "Yüksek Riskli Kıyı Kuşağı" kategorisinde değerlendirilmektedir.



Şekil 7. Kıyı çizgisi değişimi (1984-2025) – Güncel yerleşim yeri ilişkisi haritası

Erçek Gölü çevresinde gerçekleştirilen arazi kullanımı analizleri, gölün dinamik kıyı çizgisinin hem doğal vejetasyon hem de antropojenik faaliyetler tarafından kuşatıldığını göstermektedir. Haritaya göre (Şekil 8), havzada baskın olan sulanmayan tarım alanları ve çayır-mera habitatları, gölün çekildiği sıg doğu kıyılarında yerini kuruyan iç su bataklıklarına bırakmıştır. Özellikle su seviyesindeki regresyona bağlı olarak kuruyan bataklık sahalara, ekolojik özelliğini yitirerek yerleşim birimlerinin fiziksel genişleme alanı haline gelmiştir. Kıyı şeridi boyunca gözlemlenen bu yerleşim artışı, gölün ekolojik eşğine doğru ilerleyen bir yapılaşma baskısı oluşturmaktadır.



Şekil 8. Çalışma alanı arazi kullanımı haritası [38].

Sonuç olarak kıyı şeridinin regresif karakter sergilemesi, kıyı ekosisteminde habitat kaybına yol açarken; kazanılan alanların plansız kullanımı, gelecekteki olası bir su yükselmesinde can ve mal güvenliği açısından ciddi riskler barındırmaktadır. Yerleşim yoğunluğunun en fazla olduğu doğu kıyılarında, kıyı çizgisi ile yerleşim sınırı arasındaki tampon bölgenin daralması, havza yönetimi açısından acil müdahale ve planlama gerektiren bir bulgudur.

4. Tartışma

Klim verileriyle yapılan karşılaştırmalar, göl alanındaki artışların (1989, 1994, 2015, 2020) havzaya düşen kar ve yağmur miktarındaki artışla paralellik gösterdiğini buna mukabil, 2020-2025 periyodundaki sert düşüş, sadece yağış azlığı ile değil, artan sıcaklık değerlerine bağlı gelişen şiddetli evaporasyon (buharlaşıma) ile açıklanabilir [39]. 2025 yılı verisi (102,84 km²) gölün neredeyse 1984 yılındaki sınırlarına geri döndüğünü göstermektedir. Gölün kapalı havza niteliğinde olması, dışa akışın olmaması su bütçesini meteorolojik verilere karşı aşırı duyarlı hale getirmiştir. Kıyı çizgisindeki değişkenlik, gölün özellikle sığ olduğu kuzeydoğu ve doğu kesimlerinde daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu alanlarda kıyı çizgisinin yatay yönde onlarca metre yer değiştirdiği saptanmıştır. Bu durum sulak alan habitatının hızla bozulmasına yol açmaktadır. Ayrıca, havzayı besleyen akarsular üzerindeki tarımsal sulama baskısı, yağışlı dönemlerde bile göle ulaşan su miktarını kısıtlayan bir diğer unsur olarak değerlendirilmektedir. Keza Elde edilen bulgular, Erçek Gölü Kapalı Havzası'ndaki (EGKH) kıyı çizgisi değişimlerinin yalnızca hidro-klimatik faktörlere bağlı olmadığını, aynı zamanda yoğun bir antropojenik baskı altında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, Dişli ve Şapcı Ayas

(2024) tarafından yapılan ve havzadaki arazi kullanımı/örtüsü (AK/AÖ) değişimlerini inceleyen çalışma ile büyük ölçüde örtüşmektedir. Dişli ve Şapcı Ayaş (2024), göl alanının 2020 yılında maksimum genişliğe ulaştığını ancak 2022 itibarıyla hızlı bir çekilme sürecine girdiğini belirtmiştir [9]. Bu çalışmada elde edilen 1984-2025 zaman serisi verileri, söz konusu çekilmenin münferit bir olay olmadığını, havzanın kapalı karakterinden kaynaklanan hassasiyetin günümüzdeki kuraklık ve insan müdahalesiyle birleşerek regresif (çekilme) yönlü bir eğilime dönüştüğünü doğrulamaktadır. 2026 yılına ait güncel verilerimiz, Dişli ve Şapcı Ayaş'ın 2022 için öngördüğü azalışın devam ettiğini ve göl yüzey alanındaki daralmanın ekolojik bir eşiğe yaklaştığını göstermektedir. Araştırmacıların havzayı bir "su-toprak eko-kırılgan bölgesi" olarak tanımlaması, bu çalışmada yapılan Karagündüz ve Erçek yerleşkeleri üzerindeki gözlemler ve analiz sonuçlarını doğrudan desteklemektedir. Dişli ve Şapcı Ayaş'ın vurguladığı "çarpık yapılaşma ve artan çıplak arazi" olgusu, bu çalışmanın analizinde gölün çekilmesiyle açığa çıkan sahaların hızla tarım ve yerleşime açılması şeklinde gerçekleştiğini göstermektedir. Karagündüz Köyü örneğinde görülen; geçmişteki transgresyon (su basması) riskinin yerini günümüzde regresyon ve habitat kaybına bırakması, havzadaki sosyo-ekonomik faaliyetlerin hidrolojik dengeyle nasıl bir "risk-kazanç" çatışması içinde olduğunu kanıtlamaktadır. Sonuç olarak, Dişli ve Şapcı Ayaş'ın (2024) dikkat çektiği plansız nüfus artışı ve sosyoekonomik kalkınma baskısı, Erçek Gölü'nün kıyı şeridini bir tampon bölge olmaktan çıkarıp doğrudan bir müdahale alanı haline getirmiştir. Bu alana ait kıyı kuşağının tehdit altında olduğu planlayıcılarca bilinmesi ve tarımsal genişlemenin kontrol altına alınması gerektiğini, aksi takdirde havzadaki ekolojik habitat kaybının geri döndürülemez bir noktaya ulaşacağını işaret etmektedir.

Çalışma alanının doğu kesiminde yer alan başka bir mikro havzada Matpay (2022)'ın Akgöl ve çevresinde yaptığı göl seviye değişimi ve ekosisteminin öneminin konu alan çalışmasında Erçek Gölü ve Akgöl üzerine yürütülen çalışmaların korelasyonu yapıldığında, Van Gölü Doğu Havzası'ndaki kapalı havza ekosistemlerinin "regresif (çekilme) trendi" ve antropojenik kuşatma altında olduğunu kanıtlamaktadır. Matpay (2022) tarafından Akgöl için saptanan ekstrem buharlaşma ve hidro-klimatik duyarlılık bulguları [40], her iki havzada da sığ morfolojik yapının kıyı çizgisini meteorolojik salınımlara karşı aşırı hassas kılması, besleyici akarsular üzerindeki tarımsal sulama baskısı ve çekilen göl tabanlarının hızla yerleşime/tarıma açılması gibi ortak "insani müdahale" süreçleri, ekolojik yıkımı hızlandıran ana faktörler olarak öne çıkmaktadır. Akgöl'ün Urmiye ve Erçek gölleri arasındaki kuş göç yolları üzerinde kritik bir istasyon olma özelliği, bu iki havzadaki habitat kaybının yerel bir sorun olmaktan çıkıp bölgesel bir ekosistem kırılganlığına dönüştüğünü göstermektedir. Sonuç olarak, Son zamanlarda kıyılar, küresel ısınma ve antropojenik etkilerden dolayı stres altında kalmıştır [41]. Demografik değişimler, ekonomik zorunluluklar ve çevresel baskıların etkisiyle giderek dışa doğru yayılan genişleyen yerleşkeler [42, 43 ve 44] doğal ortamı etkiler. Bu alanların araştırmacıların ortak kanaatiyle "su-toprak

eko-kırılğan bölgesi" olarak tanımlanması ve su bütçesini korumak adına tarımsal genişlemenin havza bazlı planlamalarla kontrol altına alınması gerektiği noktasında birleşmektedir. 21. Yüzyılda su kaynakları yönetiminin gitgide zorlu bir hal alacağı ve bu endişe verici durum, iklim değışikliği ve antropojenik (insan kaynaklı) baskı ile ilişkili olduđu [45] dikkate alınırsa bu çalışmaların çoğunda havza bazlı kıyı yönetimlerinin de zor olacağı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan Çalışma alanının doğu kesiminde İran sınırında kalan alanda Alesheikh vd. (2007) tarafından Urmiye Gölü'nde gerçekleştirilen çalışma [46] ile Erçek Gölü üzerine yapılan bu çalışma karşılaştırıldığında, kapalı havza ekosistemlerinin hidro-iklimsel hassasiyetini ve uzaktan algılama metodolojilerinin bu süreçteki belirleyici rolünü ortak bir paydada sunmaktadır. Çalışma Urmiye Gölü'nde 1998-2001 yılları arasında yaşanan 3 metrelik seviye düşüşünü ve 1040 km² lik alansal kaybı yüksek bir doğrulukla (1.3 piksel) tespit etmiştir; bu durum, Erçek Gölü'nün 1984-2025 arasındaki kıyı çizgisi değışimlerini analiz etmek için kullanılan Landsat tabanlı metodoloji ile bilimsel bir tutarlılık sergilemektedir. Her iki gölün de gelgit etkisinden bağımsız, su dengesine dayalı dinamik yapısı, Erçek Gölü'nün 2020'deki tarihsel maksimumundan (109,17 km²) 2025'teki gerilemesine (102,84 km²) kadar geçen süreçteki %5,8'lik kaybın, Urmiye Gölü'nde gözlemlenen ekosistem üzerindeki etkinin yerel bir yansıması ile ilişkilendirilebilir. Sonuç olarak, Alesheikh vd. tarafından geliştirilen yaklaşımlar, Erçek Gölü gibi göllerin sürdürülebilir havza yönetimi için uydu verilerinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca Yakar ve Erener (2012) tarafından Meke Gölü'nde yürütölen çalışma [47], Landsat tabanlı değışim matrisleri üzerinden gölün alansal kaybını metodolojik olarak somutlaştırarak Erçek Gölü'ndeki benzer regresyon (çekilme) eğilimini desteklemektedir. Meke Gölü'nün tarımsal sulama ve kuraklık baskısıyla yaşadığı daralma süreciyle paralel olarak, Erçek Gölü'nün son beş yıldaki %5,8'lik alan kaybı, kapalı havza ekosistemlerinin hidro-iklimsel değışimlere karşı sergilediğı yüksek hassasiyeti ve kıyı çizgisi değışimlerdeki ortak dinamikleri teyit etmektedir.

Özetle güncel literatür incelendiğinde, su yönetimi ve hidrolojik değışimler üzerine yoğunlaşan CBS tabanlı çalışmaların artış gösterdiği görölmektedir. Bu durum, su kaynaklarının sürdürülebilirliği konusuna verilen önemin akademik bir yansımasıdır [48-50].

5. Sonuçlar

Bu çalışma, Van Gölü Kapalı Havzası'nın kritik ekosistemlerinden biri olan Erçek Gölü'nün 1984-2025 yılları arasındaki kıyı çizgisi ve alansal değışimlerini uzaktan algılama ve CBS teknikleriyle bütöncöl bir şekilde analiz etmiştir. 41 yıllık süreci kapsayan analizler sonucunda elde edilen temel bulgular ışığında Erçek Gölü'nün dinamik bir su kütlesi olduđu, 1984 (101,98 km²) ile 2020 (109,17 km²) yılları arasında genel bir genişleme eğilimi gösterdiği, ancak 2025 yılı itibarıyla (102,84 km²) bu kazanımların büyük bir kısmını kaybederek başlangıç seviyelerine geri döndüğü saptanmıştır. Çalışmanın en çarpıcı bulgusu, 2020-2025

yılları arasındaki sadece beş yıllık kısa sürede meydana gelen %5,8'lik (6,33 km²) keskin daralmadır. Bu durum, gölün iklime karşı ne kadar kırılğan bir yapıda olduğunu göstermektedir. Göl seviyesindeki bu fazla düşüşün, yalnızca yağış miktarındaki azalma ile değil; artan yüzey sıcaklıklarına bağılı şiddetli evaporasyon, havzayı besleyen Özalp Çayı üzerindeki tarımsal sulama baskısı ve yeraltı suyu beslenmesindeki zayıflamanın birleşik bir sonucu olduđu düşünülmektedir. Özellikle kuzeydoğ u ve doğ u kıyılarındaki düşük eğimli topoğrafya, suyun çekilmesiyle birlikte Karagündüz sulak alanı gibi biyoçeşitlilik merkezlerinin habitatı üzerinde baskı kurmaktadır. Kıyı çizgisindeki yatay yönde gerçekleş en onlarca metrelik ötelenme, kıyı morfolojisini değıştirmekte ve ekolojik hassasiyeti artırmaktadır. Saha gözlemleri, çekilen göl yataklarının hızla beşerî müdahaleye (tarım ve yerleşim) maruz kaldığını göstermektedir. Ancak gölün tarihsel süreçteki seviye değışimleri, bu alanların gelecekteki olası bir yükselme evresinde ciddi su baskını ve mülkiyet riskleri taşıdığını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, Erçek Gölü'nün gelecekteki sürdürülebilirliği için iklim değışikliğinin yerel etkilerini ve antropojenik su kullanımını temel alan dinamik bir havza koruma ve yönetim planının hayata geçirilmesi önerilir. Kıyı kenar çizgisi tespitlerinde gölün tarihsel maksimum seviyeleri dikkate alınarak sulak alanların korunması için su bütçesi yönetimi sağlanabilir.

Kaynakça

1. İzbirak, R. (1986). *Coğrafya terimleri sözlüğü*. Milli Eğitim Basımevi.
2. Erinc, S. (2015). *Jeomorfoloji II* (Güncelleştirilmiş Yeni Basım). Der Yayınları.
3. Lake, P. S., Palmer, M. A., Biro, P., Cole, J., Covich, A. P., Dahm, C., Gibert, J., Goedkoop, W., Martens, K., & Verhoeven, J. (2000). Global change and the biodiversity of freshwater ecosystems: Impacts on linkages between above-sediment and sediment biota. *BioScience*, 50(12), 1099–1107. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050)
4. Erkal, T. (2015). Kıyı yönetimi açısından Türkiye'de yapılan kıyı jeomorfolojisi çalışmalarının değ erlendirilmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 65, 23–34. <https://doi.org/10.17211/tcd.41995>
5. Turoğlu, H. (2017). Kıyı mevzuatı ve jeomorfolojik değ erlendirmesi. H. Turoğlu & H. Yiğitbaşıoğlu (Ed.), *Yasal ve bilimsel boyutlarıyla kıyı içinde* (ss. 45-62). Jeomorfoloji Derneğı Yayınları.
6. Turoğlu, H. (2023). Jeomorfolojik açıdan akarsu kıyıları ve kıyı kanunu. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (10), 34–48. <https://doi.org/10.46453/jader.1207711>
7. Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems* (3. bs.). Academic Press.
8. Ballut-Dajud, G. A., Sandoval Herazo, L. C., Fernández-Lambert, G., Marín-Muñiz, J. L., López Méndez, M. C., & Betanzo-Torres, E. A. (2022). Factors affecting wetland loss: A review. *Land*,

- 11(3), 434.
<https://doi.org/10.3390/land11030434>
9. Dişli, E., & Şapcı Ayaş, Z. (2024). Erçek Gölü (Van) Kapalı Havzası arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliklerinin uzaktan algılama yöntemi kullanılarak belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(2), 514–529.
<https://doi.org/10.53433/yyufbed.1440273>
 10. UN-Habitat. (2020). *World cities report 2020: The value of sustainable urbanization*. United Nations Human Settlements Programme.
 11. Barbier, E. B. (2011). *Capitalizing on nature: Ecosystems as natural assets*. Cambridge University Press.
 12. Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152–158.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
 13. Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5. bs.). John Wiley & Sons.
 14. Kundu, S., Kundu, B., Rana, N. K., & Mahato, S. (2024). Wetland degradation and its impacts on livelihoods and sustainable development goals: An overview. *Sustainable Production and Consumption*, 48, 419–434.
 15. Nicholls, R. J., Wong, P. P., Burkett, V. R., Woodroffe, C. D., & Hay, J. E. (2007). Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
 16. IPCC. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
 17. Yakar, M., Yıldız, F., Uray, F., & Metin, A. (2010). Photogrammetric Measurement of The Meke Lake and Its Environment with Kite Photographs to Monitoring of Water Level to Clidemate Change. In ISPRS Commission V Mid-Term Symposium (pp. 613-616).
 18. Uçlar, S. (2012). *Bütünleşik kıyı alanları yönetimi ve İstanbul örneği* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
 19. Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., & Kazancı, N. (2019). *The geomorphology of Turkey: From the terrains to the landscapes*. Springer Nature.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-03515-0>
 20. Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change* (Open-File Report 2008-1278). U.S. Geological Survey.
 21. Dörnhöfer, K., & Oppelt, N. (2016). Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances. *Ecological Indicators*, 64, 105–122.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.009>
 22. 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.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
 23. Bitek, D., Uludağ, M., & Kurban, E. A. (2024). Gala ve Pamuklu gölleri su yüzeyi değişim alanlarının uzaktan algılama teknikleri ile belirlenmesi ve çevresel etkilerinin izlenmesi. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 26(2), 461–486.
<https://doi.org/10.26468/trakyasobed.1479079>
 24. Alyılmaz, C., Alyılmaz, S., & Yakar, M. (2010). Measurement of petroglyphs (rock of arts) of Qobustan with close range photogrammetry. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(Part 5), 29-32.
 25. 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.
<https://doi.org/10.3390/rs6065067>
 26. Kalkan, K., Maktav, D., & Bayram, B. (2019). Shoreline extraction from cloud removed Landsat 8 image: Case study Lake Ercek, Turkey. *Mathematical Modeling of Real World Problems, Interdisciplinary Studies in Applied Mathematics*, 37–54.
 27. Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2025). The Use of Unmanned Aerial Vehicles in Cultural Heritage Documentation. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 11(2), 496-509.
<https://doi.org/10.26833/ijeg.1801614>
 28. Sabuncu, A. (2020). Burdur Gölü kıyı şeridindeki değişiminin uzaktan algılama ile haritalanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 623–633.
<https://doi.org/10.35414/akufemubid.711653>
 29. Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Yurt, K. (2010). The effect of grid resolution in defining terrain surface. *Experimental Techniques*, 34(6), 23-29.
 30. Mutlu, S., & Günday, U. (2024). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile Çaldıran (Van) İlçe Merkezi Deprem Risk Haritasının Oluşturulması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(3), 967-984.
<https://doi.org/10.53433/yyufbed.1541330>
 31. Duman, N., & Çiçek, İ. (2011). Erçek Gölü Yakın Çevresinin Jeomorfolojik Özellikleri. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 6(4), 169–188.
 32. Demir, M. (2023). Van (Türkiye)'daki kıyı yapıları ve mevcut durumu. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 22–36.

33. U.S. Geological Survey (USGS). (2026). EarthExplorer. 2 Şubat 2026 tarihinde <https://earthexplorer.usgs.gov/> adresinden erişildi.
34. Alyılmaz, C., Yakar, M., & Yilmaz, H. M. (2010). Drawing of petroglyphs in Mongolia by close range photogrammetry. *Scientific Research and Essays*, 5(11), 1216-1222.
35. Congalton, R.G. and Green, K., 2008. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC press. 200
36. Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159-174.
37. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (2026). *İl ve ilçeler istatistik: Van*. 2 Mart 2026 tarihinde <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=VAN> adresinden erişildi.
38. CORINE, (2018). Corine land cover. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> Erişim Tarihi: 10.10.2021
39. Orhan, O., & Yakar, M. (2016). Investigating land surface temperature changes using Landsat data in Konya, Turkey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 285-289.
40. Matpay, B. (2022). Akgöl (Özalp-Van) ve çevresinin doğal ortam özellikleri, ekosistem içindeki önemi ve korunması. *Van İnsani ve Sosyal Bilimler Dergisi*, (4), 74–96.
41. Ateş, E., Gül, M., Sarıman, G., & Danladi, I. B. (2024). Akarsular üzerindeki antropojenik yapıların kıyı çizgisi üzerindeki etkisi: Dalaman Çayı. *Geomatik*, 9(2), 245–258. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1434927>
42. Demirdağ, G. E., & Cubukcu, K. M. (2025). Mapping Urban Growth Through Landscape Expansion Index and Land Use Analysis: Evidence from Western Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 11(2), 252-262. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1659422>
43. Gupta, R. (2025). GIS-Based Analysis of Land Surface Characteristics and Urban Heat Islands in Metropolitan Cities of India. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(3), 440-455. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1638818>
44. Baytar, İ. (2025). Arazi Kullanımının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Haritalanması ve Analizi: Van Şehri Örneği. *Geomatik*, 11(1), 1-16. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1673220>
45. El- Bouhali, A., Amyay, M., & El Ouazani Ech-Chahdi, K. (2024). Changes in water surface area of the Middle Atlas-Morocco lakes: A response to climate and human effects. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9(2), 221-232. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1391957>
46. Karataş, L., Alptekin, A., Karabacak, A., & Yakar, M. (2022). Detection and documentation of stone material deterioration in historical masonry buildings using UAV photogrammetry: A case study of Mersin Sarisih Inn. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 53-61..
47. Erener, A., & Yakar, M. (2012). Monitoring coastline change using remote sensing and GIS technologies. *Lecture Notes in Information Technology*, 30, 310-314.
48. Erener, A., ve Sarp, G. (2017). Barajların Çevresel Etkilerinin Zamansal Ve Mekansal Olarak Uzaktan Algılama İle Değerlendirilmesi: Atatürk Barajı Örneği. *Geomatik* 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.29128/geomatik.300012>.
49. Kaynarca, M., Demir, N., & San, B. T. (2020). Yeraltı Suyu Kaynaklarının Uzaktan Algılama ve CBS Teknikleri Kullanarak Modellenmesine Yönelik bir Yaklaşım: Kırkgöz Havzası (Antalya). *Geomatik*, 5(3), 241-245. <https://doi.org/10.29128/geomatik.649221>
50. Rahman, M. M., Islam, M. T., Roknuzzaman, M., Ansari, S., & Hossain, M. N. (2025). GIS-Based Physiochemical and Regression Analysis of Drinking Water Quality in Dhaka South City Corporation, Bangladesh. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 11(2), 321-335. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1705195>



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>