

SWOT Piksel Bulutu Verisiyle Eğirdir Gölü Su Seviyesi Değişimlerinin İzlenmesi: Erken Dönem Bulguları (2023-2025)

Yunus Kaya^{*1} 

^{*1} Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği, ŞANLIURFA

(Alınış / Received: 01.08.2025, Kabul / Accepted: 13.10.2025, Online Yayınlanma / Published Online: 21.12.2025)

Anahtar Kelimeler

SWOT,
Piksel Bulutu,
Eğirdir Gölü,
İç Su Seviyesi İzlenmesi,
Mevsimsel Eğilim

Öz: Bu çalışma, SWOT (Yüzey Suyu ve Okyanus Topografyası-Surface Water and Ocean Topography) uydusunun L2_HR_PIXC (Seviye-2 Yüksek Oranlı Piksel Bulutu-Level-2 High-Rate Pixel Cloud) veri ürününü kullanarak Eğirdir Gölü'nün 2023 Ağustos - 2025 Nisan dönemi su seviyesi dinamiklerini yüksek doğrulukla izlemeyi amaçlamaktadır. Göl sınırları shapefile ile tanımlanarak yalnızca ilgili su yüzeyinden gelen ölçümler seçilmiş; sınıflama kalitesi, interferogram kalitesi ve konum kalitesi bayrakları ile çok aşamalı filtreleme uygulanmış ve geriye kalan veriler üzerinde çeyrekler açıklığı (IQR) yöntemiyle uç değerler temizlenerek her geçiş için temsili medyan seviye serileri elde edilmiştir. SWOT'tan sağlanan elipsoid al yükseklikler jeoit ondülasyonu ile düzeltilerek ortometrik su seviyeleri hesaplanmıştır. Analiz edilen 150 geçişten ve yaklaşık 36 milyon piksel bulutu ölçümünden oluşturulan zaman serileri, mevsimsel eşleştirmeye yıllar arası karşılaştırılmıştır. Ön bulgular, yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar dönemlerinde önceki yıla kıyasla genel bir azalış eğilimine işaret etmektedir; ancak bu değerlendirme, resmî istatistiksel anlamlılık testleriyle doğrulanmamıştır. Bununla birlikte, 2024 sonbaharında kısa süreli ve önceki yıla göre ters yönde tekil bir yükseliş gözlenmiştir. Bu erken dönem uygulamanın sonuçları, SWOT PIXC (Piksel Bulutu-Pixel Cloud) verisinin orta ölçekli ve kıyı yapısı karmaşık iç su kütlelerinde, sürdürülebilir su kaynakları izlemeye anlamlı bir potansiyel sunduğunu göstermektedir. Çalışma, Türkiye bağlamında erken dönemli, yüksek nokta yoğunluklu bir SWOT uygulaması olarak özgün bir vaka sunmaktadır.

Observation of Lake Eğirdir's Water Surface Level Changes via SWOT Pixel Cloud: Early-Phase Findings (2023-2025)

Keywords

SWOT,
Pixel Cloud,
Lake Eğirdir,
Inland Water Surface Level
Monitoring,
Seasonal Trend

Abstract: This study aims to monitor the water-level dynamics of Lake Eğirdir between August 2023 and April 2025 using the SWOT (Surface Water and Ocean Topography) mission's Level-2 High-Rate Pixel Cloud (L2_HR_PIXC) data product. Lake boundaries were delineated via a shapefile mask to isolate relevant surface-water measurements. A multi-stage quality-filtering workflow—employing classification_qual, interferogram_qual, and geolocation_qual flags—was applied, followed by outlier removal via the Interquartile Range (IQR) method, yielding representative median water-level estimates per overpass. Ellipsoidal heights from SWOT were corrected for the corresponding geoid undulation to obtain orthometric water levels. Time series constructed from ~36 million filtered point-cloud observations across 150 overpasses were seasonally matched for year-over-year comparison. Preliminary findings indicate a general downward tendency in summer, autumn, winter, and spring relative to the preceding year; these patterns have not been formally tested for statistical significance. A short-lived, opposite-direction uptick is observed in autumn 2024. As an early-phase application, the results suggest that SWOT PIXC data provide meaningful potential—in both spatial

and temporal terms—for monitoring mid-sized, morphologically complex inland water bodies, offering supportive capabilities for sustained freshwater observation in the Turkish context.

KISALTMALAR

IQR:	Interquartile Range (Çeyrekler Açıklığı)
SWOT:	Surface Water and Ocean Topography (Yüzey Suyu ve Okyanus Topografyası)
NASA:	National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
CNES:	Centre national d'études spatiales (Ulusal Uzay Araştırmaları Merkezi)
KaRIn:	Ka-band Radar İnterferometresi
SNR:	Signal-to noise ratio (Sinyal-gürültü oranı)
PLD:	Prior Lake Database (Başlangıç Göl Veritabanı)
PIXC:	Pixel Cloud (Pıksel Bulutu)
L2_HR_PIXC:	Level-2 High-Rate Pixel Cloud (Seviye-2 Yüksek Oranlı Pıksel Bulutu)

1. Giriş

Tatlı su kaynakları hem ekosistemlerin sürdürülebilirliği hem de insan toplumlarının su yönetimi ve ekonomik kalkınması için vazgeçilmez bir rol oynamaktadır [1]. Ancak küresel iklim değişikliği, yağış rejimlerindeki belirsizlikleri artırmakta ve buharlaşma oranlarını yükselterek göl ve nehir hacimlerinde ciddi dalgalanmalara yol açmaktadır [2]. Diğer yandan nüfus artışı, tarımsal sulama taleplerinin büyümesi ve sanayi faaliyetlerinin yoğunlaşması, tatlı su rezervuarları üzerindeki beşerî baskıyı önemli ölçüde artırmaktadır [3]. Göller, nehirler ve baraj göletleri; içme suyu temini, enerji üretimi, taşkın kontrolü ve biyolojik çeşitlilik açısından kritik ekosistem hizmetleri sunmaktadır [4]. Bununla birlikte, dünya genelinde yerinde su seviyesi ölçüm istasyonlarının sayısı giderek azalmakta, mevcut ağlar ise çoğunlukla belli başlı büyük su kütleleriyle sınırlı kalmaktadır [5]. Özellikle küçük ve orta ölçekli göller hakkında elde edilen veriler yetersiz kalmakta, bu durum su kaynaklarının bütüncül izlenmesini ve afet risklerinin etkin yönetimini güçleştirmektedir [6]. Böyle bir senaryoda, uzaktan algılama teknolojileriyle sağlanacak sürekli ve yaygın gözlemler, tatlı su rejimlerinin dinamiklerini doğru şekilde ortaya koymak adına kritik bir çözüm önerisi olarak ön plana çıkmaktadır.

Radar altimetreler, 1990'lardan itibaren TOPEX/Poseidon [7], Jason-1/2/3 [8], Envisat [9] ve CryoSat-2 [10] gibi misyonlarla kara içi su kütlelerinin yükseklik ölçümlerine imkân tanımıştır; bu sayede uzaktan ve sürekli veri sağlama potansiyeli ortaya çıkmıştır. Ancak bu altimetrelerin geri dönüş ayak izleri genellikle yüzlerce metre ile kilometre ölçeğinde geniş olduğundan, küçük ve orta ölçekli göllerin tamamını haritalayamayarak yalnızca uydu izinin geçtiği dar bir kesitten veri sunmaktadır [11]. Üstelik yörünge tekrar ziyaret aralığı haftalar mertebesinde gerçekleştiği için, ani taşkınlar veya kısa süreli kuraklık gibi hızlı hidrolik değişimler izlenemebilmektedir [12]. Dalga formu yeniden izleme (*retracking*) algoritmalarındaki belirsizlikler ve kıyı şeridi etkileri, özellikle karmaşık şekilli veya küçük su kütlelerinde ölçüm hatalarını artırmakta; veri kalitesini düşürmektedir [13]. Dolayısıyla klasik radar altimetre misyonları, büyük göllerde nispeten güvenilir sonuçlar verse de daha yaygın olan küçük-orta ölçekli göl ve nehirleri mekânsal ve zamansal çözünürlük açısından yeterince kapsayamamaktadır [14].

SWOT misyonunun kalbini, NASA ve CNES ortaklığında geliştirilen KaRIn oluşturur; iki ayrı anten dizisi arasında yaklaşık 10 m'lik interferometrik bazelin kullanıldığı bu sistem, radar sinyallerini uydu izinin her iki yanında ~50 km'lik geniş bantlar halinde gönderip yansımaları eşzamanlı olarak kaydetmektedir [15]. KaRIn'in "geniş şeritli" tarama yeteneği, eski nesil nadir altimetrelerin dar bir izle sınırlı kalmasının aksine, SWOT'un hem okyanus hem de iç su kütlelerinin %90'dan fazlasını 21 günlük döngülerle kapsamasını mümkün kılar; böylece, Türkiye'de Eğirdir Gölü gibi orta ölçekli kara suyu sistemleri düzenli ve ayrıntılı biçimde izlenebilmektedir [16]. Veri işleme aşamasında, L2_HR_PIXC ürünüyle sağlanan pıksel bulutu (PIXC) ham ölçümleri önce azimut doğrultusunda çoklu bakış (*multilooking*) ile yaklaşık 22 m yer çözünürlüğüne indirgenmekte, ardından adaptif mekânsal ortalama

uygulanmaktadır; böylece gürültü azaltılırken yüksek frekanslı sinyal bileşenleri korunur. İkili katmanlı bu yaklaşım, göl yüzeyi için ham interferogram bilgisinin yanı sıra yüksek güvenilirlikte konum ve yükseklik verisi sunar. Ayrıca kuru/ıslak troposfer ve iyonosfer kaynaklı gecikmeler ile yük gelgiti etkileri düzeltilmekte; küresel yerçekimi modelinden türetilen jeoit ondülasyonu kullanılarak elipsoidale yükseklikler ortometrik yüksekliğe dönüştürülmektedir. Bu bütünsel işlem hattı yüksek doğruluk sağlar [17]. Her bir piksel örneği; faz, genlik, su-fraaksiyon, belirsizlik ölçütleri, kalite bayrakları ve zaman etiketleriyle birlikte sayısal bir nokta bulutu biçiminde sunulur; bu sayede uzman kullanıcılar veri penceresini ve kalite kriterlerini istedikleri ölçüde daraltarak kendi analiz hatlarını oluşturabilir. SWOT'un bu yenilikçi altimetre teknolojisi, klasik radar altimetrelere göre kapasitesini aşan mekânsal ve zamansal kapsama alanı, yüksek SNR ve interferometri hassasiyetiyle tatlı su rezervuarlarının dinamiklerini ayrıntılı biçimde ortaya koymada önemli bir araçtır [17].

SWOT uygulamalarına yönelik literatürde son yıllarda bir dizi kalibrasyon ve doğrulama çalışması yayımlanmıştır. Zhu vd. [18], Çin'deki Güney Çin Denizi üzerinde geliştirdikleri "hareketli jeoit gradyan" yöntemiyle SWOT'un KaRIn interferometri ölçümlerinden türettikleri jeoit eğimlerinin doğruluğunu %12'den fazla artırdıklarını ve çözünürlüğü %20'den fazla geliştirdiklerini göstermiştir. Sahel bölgesinde Grippa vd. [19], SWOT simülatörü verileriyle ürettikleri sentetik su seviyesi zaman serilerinin Agoufou gölünde 4 cm'den daha iyi bir doğrulukla su seviyesi tahmini sağlayabildiğini raporlamış, Zalam-Zalam gölündeki daha eliptik şekle bağlı olarak biraz daha düşük (yaklaşık 5–6 cm) performans elde etmişlerdir. Buna paralel olarak Girard vd. [20], Batı Afrika'daki 16 küçük-orta ölçekli gölde SWOT'un PIXC ürününü Sentinel-3 ve yer ölçümleriyle karşılaştırmış, su seviyesi yüksekliği doğruluğunu 6–11 cm arasında tespit etmiş; LakeSP ürününün ise 32 cm'ye varan sapmalar gösterdiğini ortaya koymuştur. Avustralya'daki su kütleleri üzerine çalışan Maubant vd. [21] ise SWOT Raster ve LakeSP ürünlerinin küçük akarsu kesitlerinde dahi 5 cm düzeyinde doğruluk sağladığını; PIXC verisiyle ~40 m'lik nehir ve 0,1 km²'lik rezervuarlarda bile güvenilir su seviyesi ölçümleri sunulabileceğini göstermiştir. Ayrıca Bergeron vd. [22], Kanada'daki Mamawi Gölü'nde hidrodinamik model verileriyle SWOT simülatöründen üretilen su yüksekliklerini karşılaştırmış, rüzgâr şartlarına göre ortalama hata 2 ila 5 cm, RMSE ise 30–70 cm arasında değiştiğini raporlamışlar; gölün %100 alansal kapsama eriştiği durumlarda uydu verilerinin yer ölçümlerine göre daha güvenilir sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. İç su kütlelerinin küresel envanterini oluşturma amacıyla oluşturulan SWOT Başlangıç-Göl Veritabanı (PLD) ise Wang vd. [23] tarafından sunulmuş, 1 ha'dan büyük yaklaşık 6 milyon gölün %97'sinin her 21 günlük yörünge döngüsünde en az bir kez gözlemlendiğinin altı çizilmiştir. Son olarak, Hint Yarımadası'nda Pookode Gölü üzerine yapılan ön analizde Nair vd. [24], SWOT simülatöründen elde edilen sentetik yüzey kotlarının dört aylık test döneminde bölgedeki sıcaklık artışıyla tutarlı su seviyesi değişimlerini başarılı biçimde yansıttığını göstermiştir. Tüm bu çalışmalar, SWOT'un hem nehir hem de göl izleme kapasitesinde önceki nesil altimetrelere kıyasla santimetre düzeyinde doğruluk ve yüksek mekânsal kapsama sunduğunu; özellikle PIXC ürününün küçük su kütlelerinde bile güvenilir performans sergilediğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın amacı SWOT L2_HR_PIXC verisinin Eğirdir Gölü'nde erken dönem uygulanabilirliğini sınamak; kalite bayrakları ve IQR temelli bir işlem hattı ile geçiş-bazlı medyan ortometrik su seviyelerini türetmek; 2023 Ağustos–2025 Nisan aralığında mevsimsel eşleştirme yoluyla yıllar arası değişimleri nitel olarak ortaya koymak ve gözlenen tekil anomalileri (ör. 2024 sonbaharı) olanaklar ve kısıtlarla birlikte tartışarak Türkiye bağlamında iç suların uydu tabanlı izlenmesine yönetsel bir örnek sunmaktır.

2. Materyal ve Metot

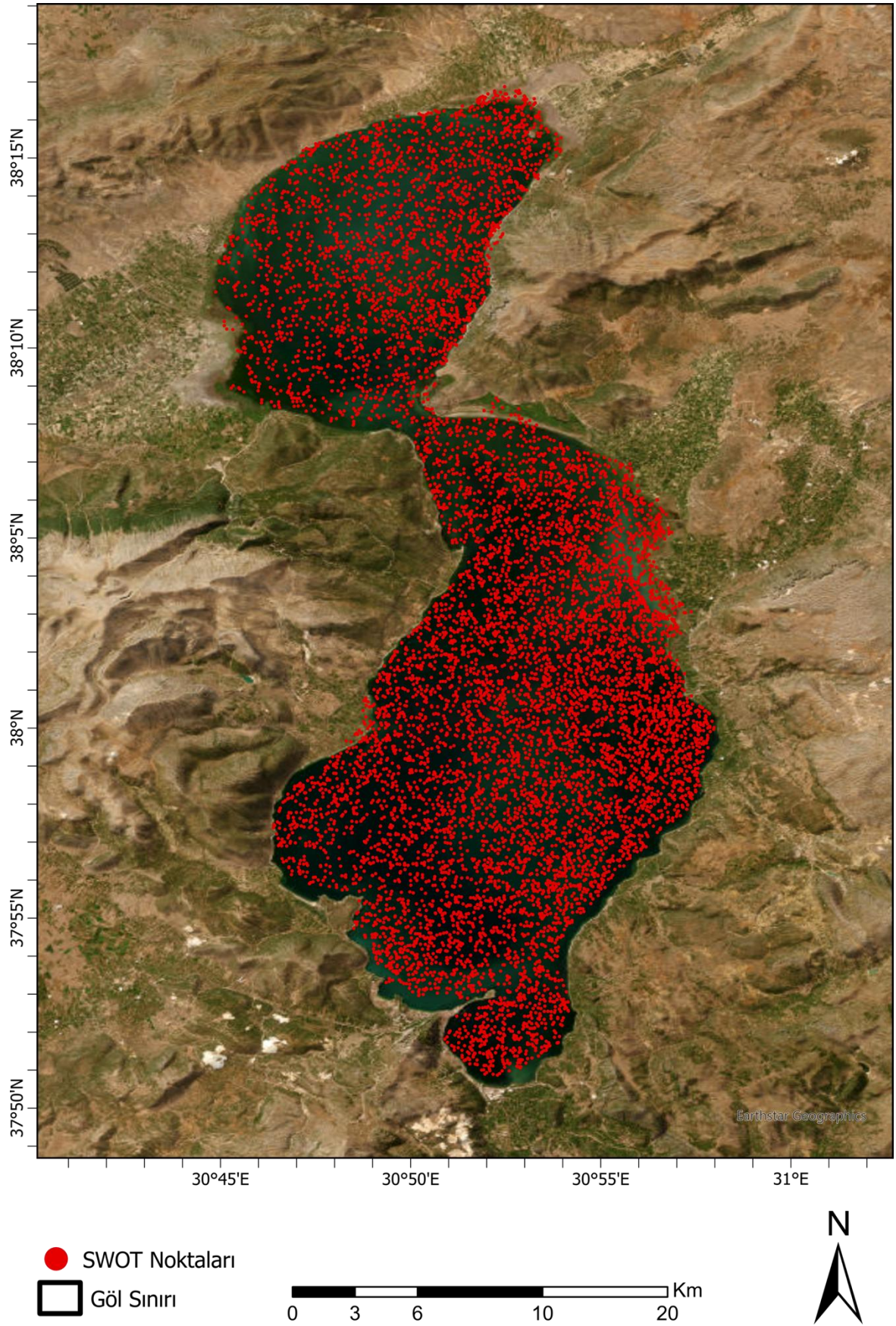
2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı Türkiye'nin "Göller Yöresi" içinde yer alan ve hem hidrolik hem de sosyo-ekonomik açıdan bölgesel düzeyde kritik öneme sahip olan Eğirdir Gölü'dür (Şekil 1). Türkiye'nin ikinci en büyük tatlı su gölü olan Eğirdir, içme suyu temini, tarımsal sulama ve balıkçılık açısından hidrolik bir öneme sahip olmasının yanı sıra, turizm ve bölgesel ekonomiye sağladığı katkılar nedeniyle sosyo-ekonomik açıdan da kritik bir kaynak niteliğindedir. Eğirdir Gölü, Türkiye'nin güneybatısında, 37°50'41"–38°16'55" K ve 30°44'39"–30°57'43" D coğrafi koordinatları arasında konumlanan tektonik kökenli bir tatlı su gölüdür; oluşumu rift tektoniğiyle (yerkabuğunun ayrılarak çökmesiyle oluşan graben yapısı) ilişkilidir ve jeolojik olarak iki ana havzadan (kuzeyde Hoyran/Küçük Eğirdir, güneyde esas Eğirdir) meydana gelir [25, 26]. Göl deniz seviyesinden yaklaşık 915 m yükseklikte bulunur ve kuzey-güney doğrultusunda ~50 km uzunluğa, maksimum 16 km ve minimum 3 km genişliğe sahiptir; kıyı uzunluğu yaklaşık 150 km'dir. Maksimum derinliği 13–14 m civarında olmakla birlikte güncel ölçümler ortalama derinliğin 5 m'nin altına düştüğünü göstermektedir [27]. Bu özellikleriyle Eğirdir, nispeten sığ bir sistem olup su seviyesi değişimlerine karşı yüksek duyarlılık sergiler. Gölün yüzölçümü tarihsel büyük değerlerden başlayarak son yıllarda düşüş göstererek yaklaşık 450 km²'ye gerilemiş durumdadır; bu küçülme, bölgedeki su bütçesindeki dengesizliklerin ve artan çekim taleplerinin bir göstergesidir [28]. Bu morfometrik ve hidrografik özellikler göl

suju dinamiklerinin hem mekânsal hem zamansal olarak heterojen olmasına neden olmakta, dolayısıyla tekil yer ölçümleri gölün tamamını temsil etmekte yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle uzaktan algılama ile bütüncül izleme ihtiyacı doğmaktadır.

Eğirdir Gölü, yağış, yüzey akışı ve çevrelediği akiferlerden beslenmektedir. Bölgeye özgü önemli yüzey suyu girdileri arasında Pupa Deresi, Hoyran Deresi, Yalvaç Deresi ve Çay Deresi yer almakta olup bu kollar sırasıyla göle önemli hacimlerde su taşımaktadır [29]. Göl havzasındaki yıllık ortalama yağış yaklaşık 581 mm, ortalama yıllık sıcaklık 12 °C, bağıl nem %61 ve gölden yıllık buharlaşma ~1221,9 mm civarındadır; bu dengesizlik özellikle kurak dönemlerde net su kaybına yol açmaktadır. Ayrıca, gölden içme suyu çekimi, tarımsal sulama ve Kovada Kanalı'na deşarj gibi insan kaynaklı su çıkışları ile buharlaşma birlikte değerlendirildiğinde gölde sürekli bir su kaybı gözlenmekte, batı sınırlarında karstik çökeltme alanları üzerinden de ek su kaçakları meydana gelmektedir [30]. Bu çok boyutlu su bütçesi baskısı, göl seviyesinde gözlemlenen düşüş trendinin temel itici unsurlarından biridir.

Eğirdir Gölü hem yerel nüfusun içme suyu ihtiyacını karşılaması hem de tarımsal sulama, balıkçılık, enerji ve turizm gibi çoklu kullanım değerleri nedeniyle bölge ekonomisi açısından stratejik bir kaynaktır. Bununla birlikte son yıllarda artan nüfus ve tarımsal baskı ile yağış rejimindeki değişimler su çekimlerini artırmış; kıyı şeritlerinde geniş çekilmeler, sık tekrarlanan alg patlamaları ve ekolojik dengenin bozulduğuna dair işaretler ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda göl hem su kaynakları yönetimi hem de ekosistem koruma açısından “acil izleme” ihtiyacı olan bir sistem olarak öne çıkmaktadır. Mevcut geleneksel yer tabanlı su seviyesi gözlem istasyonları sürekli veri sağlasa da gölün tüm mekânsal heterojenliğini yakalamada ve verilerin anlık, karşılaştırılabilir şekilde ulaşılabilirliğinde sınırlılıklar vardır. Bu eksiklikleri gidermek ve gölün bütüncül seviyesini ve yayılımını izlemek üzere SWOT uydusunun geniş şeritli, yüksek çözünürlüklü su seviyesi ölçümleri, bu çalışmada merkezi bir rol oynamaktadır. Eğirdir Gölü'nün jeolojik kökeni ve içme suyu temini açısından önemi daha önce Şener ve Davraz [28] tarafından vurgulanmış olup, bu çalışmada hem gölün hidrodinamik davranışının uzaktan algılama ile izlenmesi hem de yer ölçümleriyle karşılaştırmalı doğrulaması hedeflenmektedir.



2.2. SWOT PIXC verisi

SWOT misyonu, NASA ile Fransa'nın CNES iş birliğinde geliştirilmiş ve 16 Aralık 2022'de fırlatılmış olup dünya üzerindeki okyanus, nehir ve gölleri daha önceki altimetrelere göre çok daha yüksek mekânsal çözünürlükte ve geniş şeritli interferometri ölçümleriyle izlemeyi amaçlamaktadır. SWOT, KaRIn sistemi ile hem uydu izinin her iki tarafında yaklaşık 50 km genişliğinde "geniş şerit" boyunca su yüksekliği ölçümleri elde edebilmekte; bu, daha önce nadir geçişli altimetrelere erişemediği küçük ölçekli iç su cisimlerinde bile ayrıntılı su seviyesi bilgisi sunmaktadır. SWOT'un bu konsepti ve teknoloji altyapısı, büyük sistematik alanlar yerine tekil noktasal ölçümlere dayanan geleneksel altimetrelere farkını ortaya koymakta ve iç suların hem mekânsal dağılımı hem de yükseklik zaman serileri açısından yeni bir gözlem çağı başlatmaktadır. Bu misyonun sunduğu veri ürünleri arasında yer alan L2_HR_PIXC, KaRIn interferometri ölçümlerinden türetilen su yüzeyi yüksekliği yansımalarının nokta-bazlı yapıda ham detayını sunar; her biri yaklaşık 20 m yatay çözünürlük düzeyinde göl yüzeyinin birçok konumundan bağımsız yükseklik ölçümleri içerir. PIXC veri seti, iki boyutlu su yüzeyi topografyasının detaylı şekilde incelenmesine imkân veren ham ve yüksek yoğunluklu nokta bulutu yapısı taşımakta olup, bu özelliği sayesinde hem lokal varyasyonların hem de bütüncül zaman serilerinin türetilmesine imkân vermektedir [17].

PIXC verileri doğrudan kullanım öncesinde bir dizi kalite kontrol ve ön işleme tabii tutulmalıdır. Veri ürününde her nokta için sunulan kalite bayrakları (*quality flags*) üzerinden güvenilirliği düşük gözlemler elenir; bunun ardından gölün öngörülen fiziksel sınırları dışına çıkan uç değerler istatistiksel filtrelerle uzaklaştırılarak ham nokta bulutunun temiz bir temsilcisi elde edilir. Bu sürecin amacı, özellikle göl kıyısı geçiş bölgelerinde ortaya çıkan kara-su karışımı etkileri, dalga etkisi ya da geri saçılımı bozabilecek biyofiziksel girdilerin yol açabileceği bozulmaları minimize etmektir.

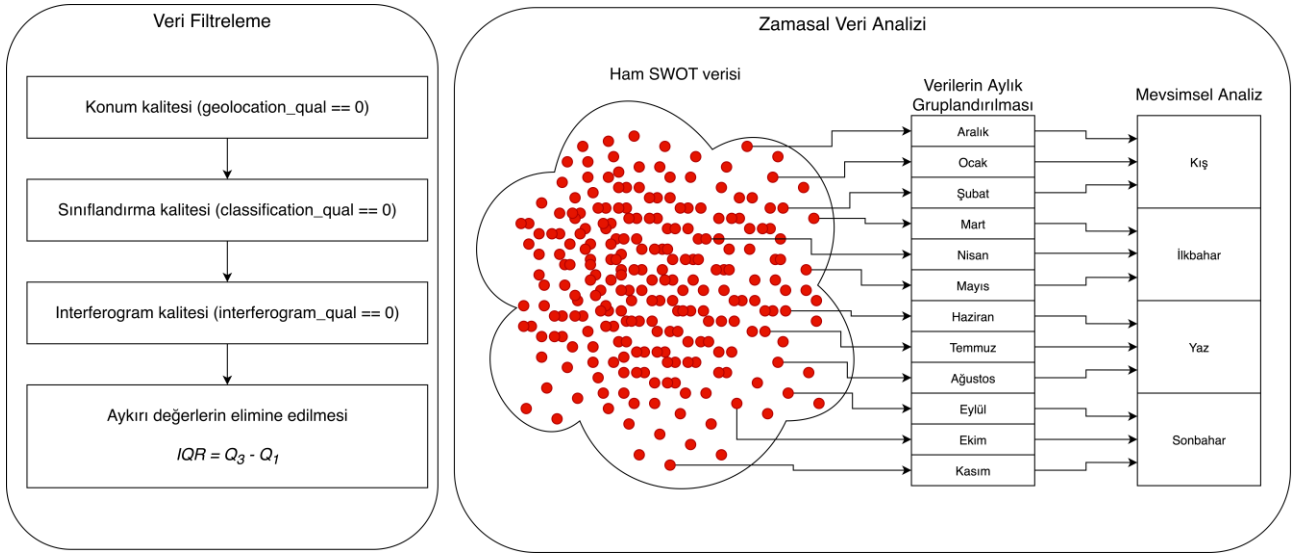
Çalışmada SWOT'un L2_HR_PIXC ürünü kullanılarak Eğirdir Gölü için 2023 Ağustos – 2025 Nisan dönemi arasında toplam 150 adet uydu geçişi verisi analiz edilmiştir. Bu periyot, SWOT'un erken operasyonel veri arzı ile örtüşmekte olup, göl yüzeyinden bu geçişlerde elde edilen toplam yaklaşık 36 milyondan oluşan nokta bulutu ölçümü üzerinden su seviyesi zaman serisi türetilmiştir. Her bir geçişte, göl yüzeyine düşen geçerli piksel bulutu noktalarının medyanı alınarak gölün o geçişe ait temsili su seviyesi elde edilmiş; böylece zamansal örtüşen yer tabanlı ölçümlerle istatistiksel karşılaştırmaya uygun, gürültüden arındırılmış bir zaman serisi kurulmuştur. SWOT verilerinin referans sistemi elipsoit yükseklik cinsinden ifade edildiğinden, suyun akış yönünü belirleyebilmek ve su seviyesi ölçümünü doğru bir şekilde yapabilmek için tüm ölçümler ortometrik yüksekliğe dönüştürülmüştür.

SWOT PIXC tarafından sunulan geniş mekânsal kapsama, piksel yoğunluğu ve interferometri yükseklik hassasiyeti sayesinde, Eğirdir Gölü gibi orta ölçekli ve kıyı yapısı karmaşık iç su kütlelerinde hem mevsimsel hem uzun dönemli su seviyesi eğilimleri güvenilir biçimde izlenebilmiştir. Bu veri ürününün sağladığı avantajlar arasında tekil noktasal hatalardan arındırılmış, gölün tamamını temsil eden bir ortalama seviye çıkarımı; farklı göl kesimlerinin karşılaştırılmasına imkân veren mekânsal ayrıştırma ve uydu geçişleri arasındaki düzensizlikleri yumuşatacak şekilde zaman serisi sentezleme yer almaktadır. SWOT misyonunun genel teknik çerçevesi, KaRIn interferometresinin prensipleri, veri ürünlerinin tanımı ve kalite kontrol önerileri temel olarak SWOT kullanıcı kılavuzu ve L2_HR_PIXEL CLOUD ürün tanımlama belgelerinde detaylı olarak verilmektedir [17]. Bu çalışma, belirtilen veri ürününü Türkiye'de iç su izleme bağlamında uygulayan yüksek nokta yoğunluklu bir analiz sunması bakımından yenilikçidir.

2.3. Uydu verilerinin indirilmesi ve işleme aşamaları

SWOT L2_HR_PIXC ürünleri NASA Earthdata portalı üzerinden edinilmiş; veriler netCDF (.nc) formatında indirilmiş ve Python ortamında netCDF4 (v1.7.2) ile pandas (v2.3.1) kütüphaneleri kullanılarak pandas DataFrame'e dönüştürülerek ikili serileştirme formatında (.pkl) saklanmıştır. Bu dönüşüm, ham interferometrik ölçümlerin tablo-benzeri yapı üzerinde sistematik olarak işlenebilmesini sağlamıştır.

SWOT'un ham PIXC çıktıları, doğrudan göl su seviyesi göstergesi olarak kullanılmaya uygun değildir. Eğirdir Gölü'ne ait ölçümleri ayırmak için öncelikle gölün mekânsal sınırlarını tanımlayan shapefile kullanılarak sadece göl içindeki piksel bulutu noktaları seçilmiştir. Göl sınırı shapefile'i, HydroLAKES veri tabanından alınmış, yerel kıyı çizgisine uyum için Sentinel-2 görüntüleriyle görsel kontrol edilerek küçük topolojik düzeltmeler uygulanmıştır (WGS84 / EPSG:4326). Bu adım, su-kara sınıflamasına doğrudan dayanmak yerine mekânsal maskeleye ile çalışma alanı içindeki gözlemlere odaklanmayı mümkün kılmıştır. Ardından su seviyesinin güvenilir şekilde temsil edilmesi için üç temel kalite bayrağı üzerinden ardışık filtreleme uygulanmıştır (Şekil 2):



Şekil 2. İş akış diyagramı

Konum kalitesi (*geolocation_qual*): Yükseklik ölçümlerinin enlem-boylam-yükseklik koordinatlarının doğruluğunu sağlamak amacıyla sadece *geolocation_qual* == 0 olan noktalar tutulmuştur. Bu filtre, *layover*, koordinat çözümü hataları veya diğer konumsal bozulmaların neden olabileceği sistematik sapmaları bertaraf etmektedir.

Sınıflandırma kalitesi (*classification_qual*): Her ne kadar su-kara sınıflaması doğrudan kullanılmamış ve gölün sınırları *shapefile* ile belirlenmiş olsa da bir ölçümün gerçekten su yüzeyinden alındığını destekleyen kalite göstergesi olarak sadece *classification_qual* == 0 olan noktalar korunmuştur. Bu, kıyı geçişleri veya geri saçılım değişikliklerinden kaynaklanan muhtemel yanlış su etiketlemelerini azaltmaya yardımcı olur.

Interferogram kalitesi (*interferogram_qual*): KaRIn interferogramından türetilen faz ve kanal gücü bileşenlerinin güvenilirliğini sağlamak amacıyla yalnızca *interferogram_qual* == 0 olan ölçümler kabul edilmiştir. Bu adım, nadir faz anomalileri, atmosferik bozulmalar veya yörünge kaynaklı interferogram tutarsızlıklarının yükseklik hesaplamasına sızmasını engellemektedir.

Bu üç kalite filtresinin ardışık uygulanması sonucunda elde edilen alt küme; Eğirdir Gölü sınırları içinde yer alan, su yüzeyine ait, konumu güvenilir ve interferometrik faz verisi tutarlı yükseklik ölçümlerinden oluşmaktadır. Filtreleme sonrası hâlâ gözlemlenebilen uç değerleri elemek için geçiş bazlı olarak IQR yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde her geçişte yükseklik dağılımına ilişkin birinci çeyrek (Q_1) ve üçüncü çeyrek (Q_3) hesaplanır; IQR Eşitlik 1 ile ifade edilir [5, 6].

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (1)$$

Aykırı değerler, Eşitlik 2'deki aralığın dışında kalan ölçümler olarak tanımlanır.

$$[Q_1 - 1.5 \times IQR, Q_3 + 1.5 \times IQR] \quad (2)$$

Bu sınırların dışındaki yükseklik değerleri, geçici radar bozulmaları, kıyı karışımları veya anomali kaynaklı sapmalar olarak kabul edilip çıkarılmıştır. Kalan güvenilir gözlemler üzerinden, her bir SWOT geçişi için medyan su seviyesi hesaplanmıştır; medyan kullanımı, geriye kalan veri kümesindeki asimetrik dağılımların etkisini azaltmak ve temsili bir seviye elde etmek amacıyla tercih edilmiştir.

Analiz döneminde (2023 Ağustos – 2025 Nisan) toplamda 150 SWOT geçişi değerlendirilmiş; bu geçişlerden göl üzerinde biriktirilen filtrelenmiş ve temizlenmiş piksel bulutu toplamda yaklaşık 36 milyon nokta içermektedir. Böylece, her bir geçiş için yeterli sayıda güvenli yükseklik gözlemiyle temsili zaman serileri inşa edilmiştir. Elde edilen bu veri kümesi, yer tabanlı ölçümlerle karşılaştırma ve eğilim analizlerine temel teşkil edecek biçimde, sistematik önyargılar giderilerek (örneğin geçiş bazlı referans hizalamaları veya başlangıç ofset düzeltmeleriyle) kullanılmıştır.

Bu çok katmanlı kalite kontrol ve aykırı değer eliminasyonu yaklaşımı, SWOT PIXC verilerinin sunduğu yüksek mekânsal çözünürlükten ödün vermeden, su seviyesi analizlerine uygun, tekrarlanabilir ve doğruluklu zaman serileri üretmeyi mümkün kılmıştır.

2.4. Zamansal sınıflandırma ve su seviyesi değişimlerinin analizi

SWOT piksel bulutu verilerinden elde edilen ve kalite filtreleri ile IQR yöntemiyle aykırı değerlerden arındırılmış su seviyesi ölçümleri, elde edildikleri tarihlere göre zamansal olarak sınıflandırılmış ve bu sınıflandırma üzerinden Eğirdir Gölü'ndeki su seviyesi dinamikleri sistematik biçimde incelenmiştir. Çalışma kapsamında 150 farklı geçiş dosyasında toplam 44 farklı geçiş tarihine ait veri kullanılmıştır. SWOT'tan elde edilen elipsoidal yükseklikler, aynı veri setinden temin edilen jeoit ondülasyonu ile düzeltilerek ortometrik su seviyesi elde edilmiş ve zamana bağlı analizler bu ortometrik yükseklikler üzerinden yürütülmüştür.

Her bir uydu geçişi için, filtreleme ve IQR tabanlı uç değer temizleme sonrasında kalan su yüzeyi yüksekliği ölçümlerinin medyanı alınarak geçiş bazlı bir su seviyesi zaman serisi oluşturulmuştur. Medyanın tercih edilmesinde, mekânsal dağılımdaki asimetric sapmalar ve kalan lokal uç değerlerin etkisinin yumuşatılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda her bir geçiş, gölün o zamandaki temsili su seviyesi gözlemi olarak kullanılmıştır.

Zaman serisi, mevsimsel bileşenleri ayırt edebilmek üzere yaz (Haziran–Ağustos), sonbahar (Eylül–Kasım), kış (Aralık–Şubat) ve ilkbahar (Mart–Mayıs) dönemlerine göre gruplanmış; bu sınıflandırma, ardışık sezonlar arasındaki seviye değişimlerinin ve mevsimsellik içindeki örüntülerin tanımlanmasına olanak vermiştir. Mevsimsel pikler ve çukurlar karşılaştırılarak göldeki genel düşüş eğiliminin mevsimsel salınımlarla ilişkisi nitel olarak değerlendirilmiştir.

Kısa vadeli dalgalanmalar ve mevsimsel bileşenlerin görsel vurgulanması amacıyla doğrudan geçiş bazlı medyan su seviyesi değerleri üzerine kurulmuştur. SWOT'un geçiş tarihlerinin ideal sabit aralıklı olmaması (ortalama ~21 günlük döngüye rağmen değişken boşluklar gözlenmesi) nedeniyle her bir gözlemin gerçek zaman damgası korunmuş ve zamansal düzensizlikler analiz ve sunumda açıkça belirtildi. Kısa vadeli interpolasyonlar yalnızca görselleştirme amaçlı kullanılmış, analitik karşılaştırmalar doğrudan gözlemlenen geçiş verileri üzerinden yapılmıştır.

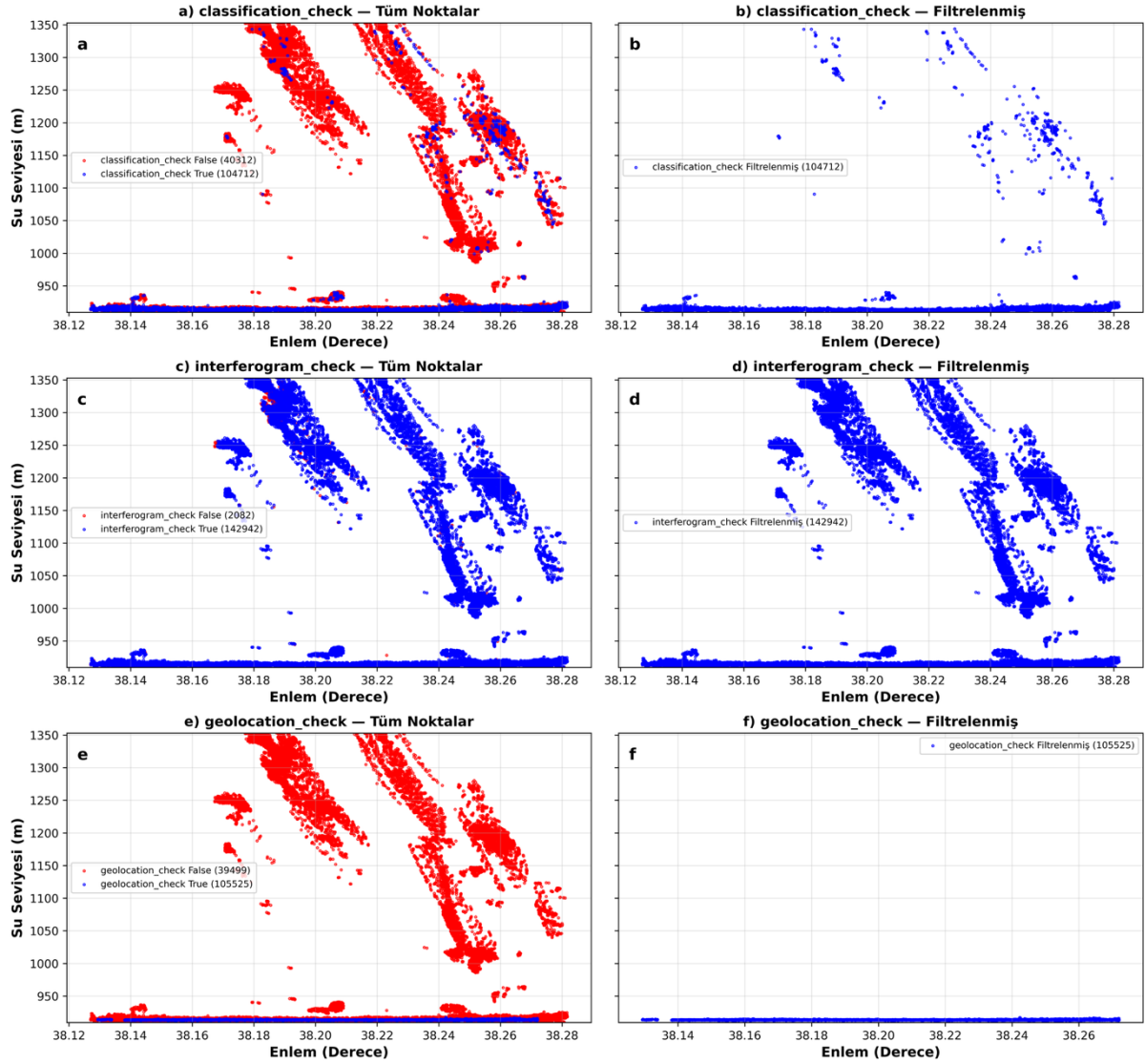
Bu yöntemsel yaklaşım, 2023 Ağustos–2025 Nisan dönemine ait su seviyesi zaman serisinin mevsimsel dalgalanmalar üzerindeki net davranışını ortaya koymuş; sonraki bulgular bölümünde, bu sınıflandırılmış zaman serisi temel alınarak mevsimsellik, toparlanma–düşüş örüntüleri ve dönem içindeki genel seviye değişimleri daha ayrıntılı biçimde tartışılacaktır.

3. Bulgular

Bu çalışmada SWOT PIXC'den türetilen su seviyesi ölçümlerine uygulanan kalite süzgeci ve dağılım temelli ayıklama, veri bütünlüğü ve temsil gücünü belirgin biçimde artırmıştır. *Shapefile* tabanlı maskelemenin ardından kalite bayraklarına dayalı ardışık filtreler uygulanmış; bu süreç veri yoğunluğunu azaltırken yükseklik dağılımlarında yayılımın daralmasına ve medyan etrafında belirgin bir sıkılaşmaya yol açmıştır (Şekil 3). Devamında IQR temelli aykırı değer temizliği, uzun kuyruklu sapmaları büyük ölçüde ortadan kaldırmış ve iç tutarlılığı yüksek geçiş-bazlı medyan seviye kestirimleri elde edilmesini sağlamıştır (Şekil 4). Son aşamada, elipsoidal yüksekliklerin jeoit ondülasyonu ile dönüştürülmesiyle ortometrik seviye zaman serisi oluşturulmuş; böylece, Eğirdir Gölü için gürültüsü bastırılmış ve temsili su seviyesi gözlemleri, sonraki mevsimsel karşılaştırmaların temelini meydana getirmiştir.

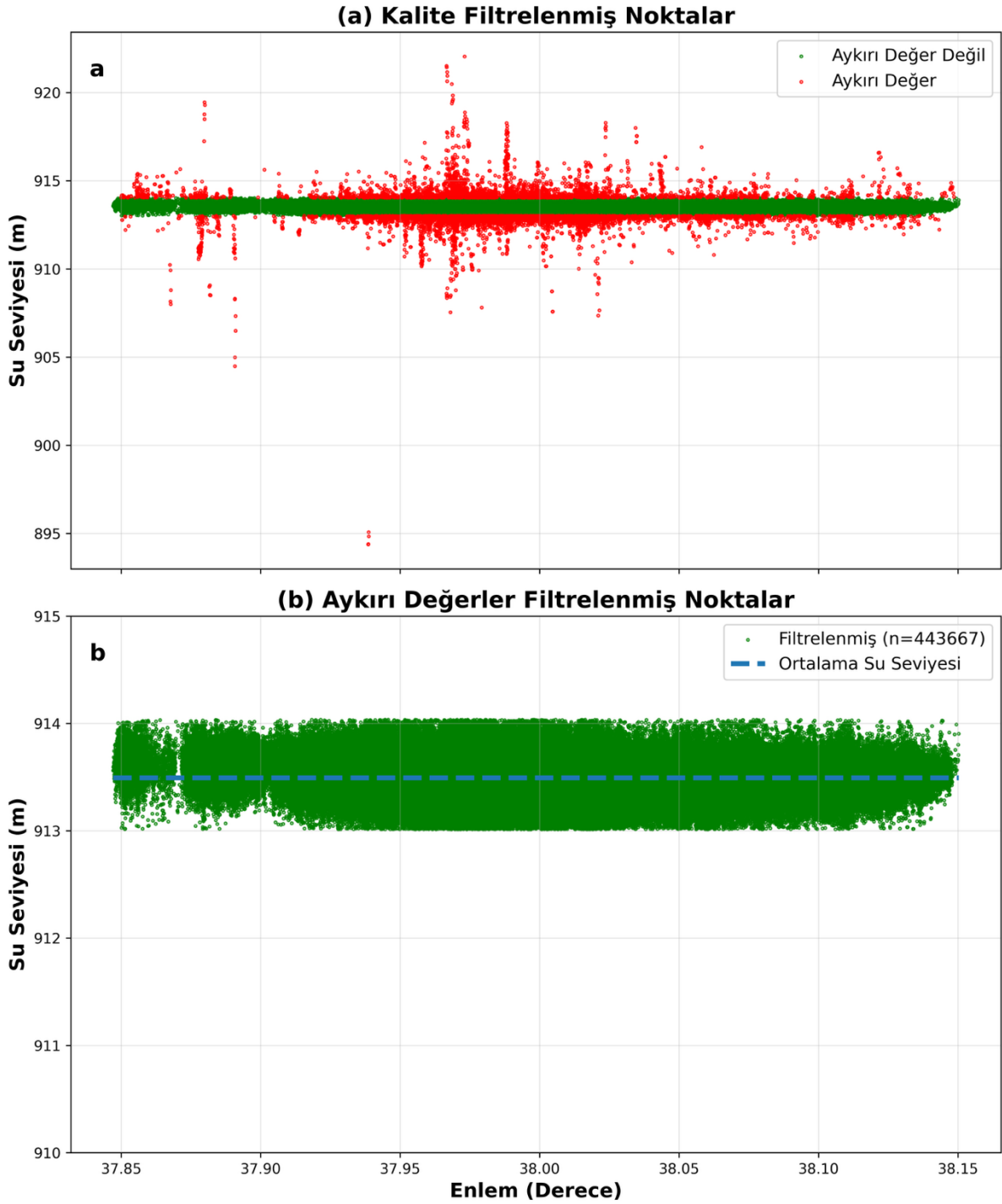
SWOT PIXC su seviyesi ölçümlerine uygulanan ardışık kalite filtreleme süreci Şekil 3'te sunulmaktadır. Şekil 3a ve 3b'de *classification_qual* kriterine göre güvenilir ve elenen sınıflandırmaların ayrımı ile sadece güvenilir sınıflandırmaya sahip noktaların mekânsal dağılımı ve yükseklik davranışı gösterilmektedir. Şekil 3c ve 3d'de *interferogram_qual* == 0 filtresi eklendikten sonra veri yoğunluğundaki değişim ve yükseklik dağılımında gözlenen daralma sergilenirken, Şekil 3e ve 3f'de *geolocation_qual* == 0 koşulunu sağlayan noktaların mekânsal bozulmalardan arındırılmış halleri ile medyan etrafındaki tutarlılık ortaya konmaktadır. Her bir filtreleme adımında nokta sayısında azalma ile yükseklik değerleri etrafındaki yayılımın sıkışması, ölçümlerin güvenilirliğinde artışa işaret etmektedir. Bu çok katmanlı temizleme yaklaşımı; su-kara karışıklıkları, interferogram bozulmaları ve konum hatalarını eşzamanlı olarak bastırarak sonraki su seviyesi zaman serisi analizleri için sağlam bir temel oluşturur.

Farklı Güvenirlik Durumlarına Göre Noktaların Filtrelenmesi (04.02.2025 Verisi)



Şekil 3. SWOT PIXC su seviyesi ölçümlerine uygulanan kalite filtrelerinin (*classification_qual*, *interferogram_qual*, *geolocation_qual*) mekânsal dağılım ve yükseklik tutarlılığı üzerindeki etkisi; 3a/3b, 3c/3d ve 3e/3f ikilileri sırasıyla her bir filtrenin uygulanmasından önce ve sonra değişimi göstermektedir.

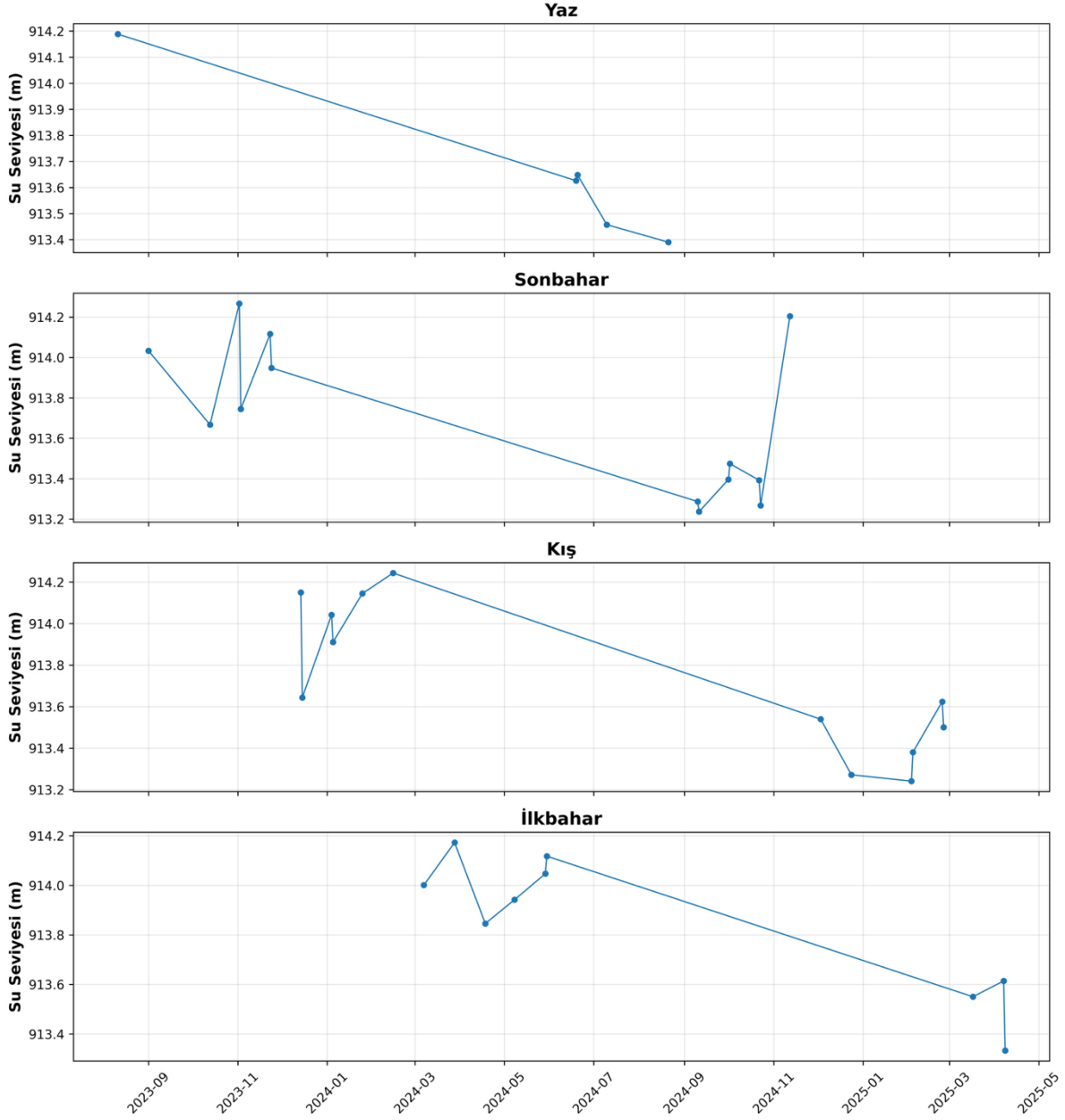
Çok katmanlı kalite temelli temizleme sürecinin ardından aykırı değerlerin tespitine ve bu değerlerin elenmesinin yükseklik dağılımına etkisine odaklanılmaktadır (Şekil 4). Şekil 4a'da *classification_qual*, *interferogram_qual* ve *geolocation_qual* kriterlerine uyan ölçümler ile bu kriterlere uymakla birlikte IQR yöntemiyle aykırı değer olarak tanımlanan noktalar birlikte gösterilmiştir; kırmızı ile işaretlenenler IQR ile belirlenen uç değerler, yeşil ile ise geçerli kabul edilen (filtrelenmiş fakat uç değer olmayan) noktalar sunulmaktadır. Bu görselleştirme, kalan ham yükseklik ölçümleri içindeki uç sapmaların ne ölçüde veri dağılımını bozduğunu ortaya koymakta ve istatistiksel ayıklamanın gerekliliğini vurgulamaktadır. Şekil 4b'de ise IQR tabanlı aykırı değerler çıkarıldıktan sonra geriye kalan veri kümesinin yükseklik dağılımı gösterilmekte; medyan etrafındaki sıkışma artmış, uzun kuyruklu sapmalar büyük oranda yok olmuş ve gözlemlenen su seviyesi ölçümlerinin içsel tutarlılığı yükselmiştir. Bu iki aşamalı süreç—önce çoklu kalite bayrağına dayalı temizleme, ardından dağılım bazlı aykırı değer eliminasyonu—sonraki geçiş bazlı su seviyesi tahminlerinin hem doğruluk hem de temsil gücünü artırmak için temel oluşturur.



Şekil 4. (a) classification_qual, interferogram_qual ve geolocation_qual filtrelerine uyan yükseklik ölçümleri içinde IQR ile tespit edilen uç değerler (kırmızı) ve kalan geçerli noktalar (yeşil); (b) IQR ayıklamasından sonra kalan, filtrelenmiş su seviyesi ölçümlerinin yükseklik dağılımı.

Eğirdir Gölü için SWOT PIXC verilerinden elde edilen medyan su seviyesi değerleri mevsimsel dönemlere (yaz, sonbahar, kış, ilkbahar) göre ayrıştırılarak ardışık yıllar bazında karşılaştırılmıştır (Şekil 5). Her panelde aynı mevsime karşılık gelen iki yılın (örneğin 2023 sonbaharı vs. 2024 sonbaharı) medyan su seviyesi geçişleri çizgiyle gösterilmekte; böylece mevsimsel salınımların üzerine binen yıllık değişim örüntüleri öne çıkarılmaktadır. Veri seti yalnızca iki yıllık bir dönemi kapsadığından, mevsimsel eşleştirme, göldeki su seviyesi eğilimlerini kısa vadeli doğal döngülerden ayırmak açısından daha güvenilir bir çerçeve sunmaktadır.

Mevsimsel Ayrıştırma: Filtrelenmiş Ortalama Su Seviyesi Zaman Serisi
(Yaz: Haziran-Ağustos, Sonbahar: Eylül-Kasım, Kış: Aralık-Şubat, İlkbahar: Mart-Mayıs)



Şekil 5. Mevsimsel bazda filtrelenmiş medyan SWOT su seviyesi zaman serileri

Şekil 5'te görüldüğü üzere, her mevsimde bir önceki yılın karşılığına kıyasla su seviyelerinde genel bir azalma eğilimi mevcuttur; bu, gölün mevsimsel döngülere rağmen net bir gerileme sergilediğini göstermektedir. Özellikle yaz, kış ve ilkbahar panellerinde zirve ve dip değerlerin ardışık yıllarda aşağı kaydığı açıkça izlenmektedir. Bununla birlikte, 2024 sonbaharına karşılık gelen dönemde (Kasım 2024) önceki yıla kıyasla belirgin bir yükseliş gözlenmekte olup bu kısa süreli sapma, bölgesel meteorolojik değişkenlikler, geçici beslenme artışları veya uydu örneklem zamanlamasındaki farklılıklardan kaynaklanmış olabilir. Bu tekil anomalinin kalıcılığına dair genelleme yapmak için daha uzun süreli gözlemler ve ilgili hidrometeorolojik verilerle çapraz inceleme yapılması gereklidir. Genel olarak, Şekil 5'teki düzenli mevsimsel düşük eğilimler, Eğirdir Gölü'nün su bütçesindeki net negatif değişimin, geçici salınımlar dışında devam ettiğine dair kuvvetli bir nitel gösterge sunmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, SWOT uydusunun L2_HR_PIXC veri ürünü kullanılarak Eğirdir Gölü'nün 2023 Ağustos – 2025 Nisan dönemi su seviyesi dinamikleri sistematik biçimde analiz edilmiştir. Göl sınırları *shapefile* ile tanımlanarak

yalnızca ilgilenilen hidrografik yüzeylerden gelen ölçümler seçilmiş; bunun ardından *classification_qual*, *interferogram_qual* ve *geolocation_qual* kalite bayrakları ile çok aşamalı bir temizlik uygulanmış ve geriye kalan veri kümesindeki istatistiksel uç değerler IQR yöntemiyle elenerek yüksek güvenilirlikte medyan bazlı geçiş serileri oluşturulmuştur. Bu çok katmanlı filtrasyon süreci, su seviyesinin uydu tabanlı temsili bozabilecek su-kara karışımları, konumsal bozulmalar ve interferogram kaynaklı anomalileri etkili şekilde bastırmış; sonuçta her geçiş için gölün temsili su seviyesi güvenilir şekilde elde edilebilmiştir.

Filtrelenmiş ve düzeltilmiş toplam ~36 milyon nokta bulutu ölçümünden türetilen 150 geçişe ait medyan su seviyesi verisi üzerinden yapılan mevsimsel sınıflandırılmış analizler (Şekil 5), Eğirdir Gölü'nün mevsimsel döngüleri üzerinde katmanlanan net bir düşüş eğilimini ortaya koymuştur. Aynı mevsimlerin ardışık yıllarındaki seviyelerin karşılaştırılması, özellikle yaz, kış ve ilkbahar dönemlerinde su seviyelerinin bir önceki yıla kıyasla sistematik olarak azaldığını göstermiştir. Bu bulgu, gölün mevcut su bütçesinin geçici osilasyonların ötesinde net negatif bir eğilimde olduğunu desteklemektedir. Bununla birlikte, 2024 sonbaharında kısa süreli, önceki yıla göre ters yönde bir yükseliş gözlenmiş olup bu anomali, geçici hidrolojik veya meteorolojik değişkenlikler ya da örnekleme zamanlamasındaki farklılıklarla açıklanabilecek bir sapma olarak kalmıştır. Bu tekil olayın kalıcılığı konusunda genelleme yapmaktan kaçınılmalı ve ileriki dönem gözlemleriyle daha derinlemesine incelenmelidir. Elde edilen bulgular, SWOT PIXC verilerinin orta ölçekli, kıyı yapısı karmaşık iç su kütlelerinde hem mekânsal hem de zamansal çözünürlük bakımından sunduğu somut avantajları doğrulamaktadır. Gölün tamamını temsil eden geçiş bazlı medyan su seviyesi çıkarımları, tekil yer ölçümlerinin sağlayamayacağı bütüncül bir görüş sağlamış; çoklu kalite bayrağı ve dağılım tabanlı ayıklama ile yüksek iç tutarlılığa sahip zaman serileri üretilmiştir. Bu çerçevede, SWOT verisi Eğirdir Gölü özelinde yer tabanlı sistemlerle uyumlu, ancak onların ötesinde kapsama ve ayrıntı sağlayan bir izleme aracı olarak konumlandırılmıştır.

Bu çalışma doğrudan yer tabanlı doğrulama içermemekle birlikte, bulgularımız SWOT'un küçük-orta ölçekli göllerdeki uygulanabilirliğine ilişkin güncel çalışmalarla nitel olarak uyumludur. Sahel ve Batı Afrika'da simülasyon/PIXC tabanlı incelemelerde santimetre ölçeğinde seviye hassasiyeti ve mevsimsel örüntülerin izlenebilirliği raporlanmıştır [19, 20]; Avustralya'da küçük kesit ve rezervuarlarda güvenilir seviye türetiminin mümkün olduğuna dair benzer sonuçlar bildirilmektedir [21]. Eğirdir için elde edilen geçiş-bazlı medyan serilerin mevsimsel eşleştirmede sergilediği düzenli düşüş/yükseliş örüntüleri, söz konusu çalışmaların vurguladığı sinyal bütünlüğü ve kapsama avantajıyla tutarlılık göstermektedir. Ayrıca rüzgâr koşulları ve örnekleme zamanlamasına duyarlılığın ölçüm kalitesini etkileyebileceği literatürde belirtilmektedir [22]; 2024 sonbaharında gözlenen kısa süreli sıçrama, bu tür etmenlerin olası etkileriyle bağdaştırılabilir. Kapsama açısından, 1 ha'dan büyük göllerin büyük bölümünün her 21 günde en az bir kez gözlemlendiğini gösteren SWOT PLD [23], bu çalışmada ~20 ayda 150 geçiş boyunca elde edilen yoğun nokta bulutu setiyle genel olarak uyum sergilemektedir. Dolayısıyla nicel doğruluk ölçütleri sunulmamakla birlikte, burada uygulanan işlem hattı ve gözlenen örüntüler, SWOT'un orta ölçekli ve kıyı morfolojisi karmaşık sistemlerdeki izleme kapasitesine işaret etmektedir; ilerleyen çalışmalarda yer ölçümleri ve Sentinel-3/ICESat-2 eş geçişleriyle nicel doğrulama planlanmaktadır.

Buna rağmen çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. SWOT'un yaklaşık 21 günlük ortalama tekrar ziyaret süresi, kısa vadeli dalgalanmaların örneklenmeden kalmasına ve olay ölçekli değişkenliğin zaman içinde ortalanmasına yol açabilir; bu durum, geçiş-bazlı medyan seriler üzerinden yapılan değerlendirmelerde örnekleme yanlılığı riski oluşturur. Bu nedenle sonuçların genellenmesinde temkinli olunması gerekir. Ayrıca analiz yaklaşık 20 aylık bir dönemi kapsamaktadır ve bu süre, uzun dönemli eğilimler hakkında kesin yargılara varmak için tek başına yeterli değildir. Bu bağlamda sunulan bulgular, uzun dönemli eğilimlere dair "erken dönem gözlem/erken gösterge" niteliğindedir; eğilimlerin dayanıklılığının sınanması ve mevsimsellikten ayrıştırılması için daha uzun periyotlara ve farklı veri kaynaklarıyla (Sentinel-3, ICESat-2 gibi) entegrasyona ihtiyaç duyulmaktadır [31, 32]. Bu sınırlamalar, elde edilen sonuçların dikkatle yorumlanmasını gerektirmektedir ancak mevcut veri kümesi bile eğitimsel ve uygulamalı açıdan içsel tutarlılığa sahip güçlü sinyaller sunmaktadır.

Bu çalışmanın bulgularına dayanarak aşağıdaki öneriler öne sürülmektedir: (1) Eğirdir Gölü ve benzeri iç su kütlelerinde SWOT verilerinin düzenli olarak izlemeye alınması, göl su bütçesindeki değişimlerin uzun dönemli takibi için kritik bir altyapı sağlayacaktır; (2) SWOT zaman serilerinin kısa vadeli boşluklarını ve anomalilerini yumuşatmak amacıyla diğer uydu veri kaynakları (örneğin Sentinel-3 altimetresi, ICESat-2 lazer altimetresi) ile hibrit veri entegrasyon stratejileri geliştirilmelidir; (3) SWOT ölçümlerinin yer tabanlı gözlemlerle periyodik kalibrasyonu sürdürülerek uydu verisinin mutlak doğruluğu ve zaman içindeki tutarlılığı izlenmelidir; (4) Gözlemlenen tekil anomalilerin (örneğin 2024 sonbaharındaki sıçrama) nedenlerini ayırt edebilmek için ilgili meteorolojik ve hidrografik veri setleriyle çoklu veri füzyonu analizleri yapılmalıdır.

Sonuç olarak, bu çalışma SWOT PIXC ürününün Türkiye bağlamında iç su kaynakları izlemeye uygulanabilirliğini gösteren, yüksek nokta yoğunluklu bir erken dönem vaka incelemesi sunmakta; Eğirdir Gölü'ndeki mevsimsel salınımlar üzerine binen olası bir düşüş eğilimine işaret eden ön bulgular sağlamaktadır. Bununla birlikte, analiz

dönemi yaklaşık 20 ay ile sınırlıdır ve istatistiksel eğilim testleri bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır; dolayısıyla sonuçlar temkinli biçimde yorumlanmalı, daha uzun kayıtlar ile yer/uydu eş-ölçümleri üzerinden yapılacak nicel doğrulama ve eğilim analizleri ile desteklenmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma için SWOT Piksel Bulutu verilerini sağlayan NASA ve CNES'e; verilerin edinilmesini mümkün kılan Earthdata platformuna teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] Bănăduc, D., Simić, V., Cianfaglione, K., Barinova, S., Afanasyev, S., Öktener, A., ... & Curtean-Bănăduc, A. 2022. Freshwater as a sustainable resource and generator of secondary resources in the 21st century: Stressors, threats, risks, management and protection strategies, and conservation approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16570.
- [2] Woolway, R. I., Kraemer, B. M., Leters, J. D., Merchant, C. J., O'Reilly, C. M., & Sharma, S. 2020. Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(8), 388-403.
- [3] Khondoker, M., Mandal, S., Gurav, R., & Hwang, S. 2023. Freshwater shortage, salinity increase, and global food production: A need for sustainable irrigation water desalination—A scoping review. *Earth*, 4(2), 223-240.
- [4] Biggs, J., Von Fumetti, S., & Kelly-Quinn, M. 2017. The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers. *Hydrobiologia*, 793(1), 3-39.
- [5] Kaya, Y., Şanlı, F. B., & Abdikan, S. 2023. Determination of long-term volume change in lakes by integration of UAV and satellite data: the case of Lake Burdur in Türkiye. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(55), 117729-117747.
- [6] Kaya, Y. 2025. Evaluation of ICESat-2 Laser Altimetry for Inland Water Level Monitoring: A Case Study of Canadian Lakes. *Water*, 17(7), 1098.
- [7] Lee, H., Shum, C. K., Yi, Y., Ibaraki, M., Kim, J. W., Braun, A., ... & Lu, Z. 2009. Louisiana wetland water level monitoring using retracked TOPEX/POSEIDON altimetry. *Marine Geodesy*, 32(3), 284-302. <https://doi.org/10.1080/01490410903094767>.
- [8] Zakharova, E. A., Krylenko, I. N., & Kouraev, A. V. 2019. Use of non-polar orbiting satellite radar altimeters of the Jason series for estimation of river input to the Arctic Ocean. *Journal of Hydrology*, 568, 322-333. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.068>.
- [9] Medina, C. E., Gomez-Enri, J., Alonso, J. J., & Villares, P. 2008. Water level fluctuations derived from ENVISAT Radar Altimeter (RA-2) and in-situ measurements in a subtropical waterbody: Lake Izabal (Guatemala). *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3604-3617. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.05.001>.
- [10] Feng, Y., & Song, C. 2024. Assessing the impacts of ice penetration on monitoring water levels of high-latitude and -altitude lakes from CryoSat-2 altimetry. *Journal of Hydrology*, 634, 131147. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131147>.
- [11] Crétaux, J. F., & Birkett, C. 2006. Lake studies from satellite radar altimetry. *Comptes Rendus Geoscience*, 338(14-15), 1098-1112. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.08.002>.
- [12] Pujar, G. S., Taori, A., Chakraborty, A., & Mitran, T. 2024. Sensing climate change through earth observations: perspectives at global and National Level. ss 225-280. In *Digital agriculture: A solution for sustainable food and nutritional security*. Springer International Publishing, Cham.
- [13] Mugunthan, J. S., Duguay, C. R., & Zakharova, E. 2023. Machine learning based classification of lake ice and open water from Sentinel-3 SAR altimetry waveforms. *Remote Sensing of Environment*, 299, 113891.
- [14] Sulistoadi, Y. B., Tseng, K. H., Shum, C. K., Hidayat, H., Sumaryono, M., Suhardiman, A., ... & Sunarso, S. 2015. Satellite radar altimetry for monitoring small rivers and lakes in Indonesia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 341-359.
- [15] Peral, E., Esteban-Fernández, D., Rodríguez, E., McWatters, D., De Bleser, J. W., Ahmed, R., ... & Srinivasan, K. 2024. KaRIn, the Ka-band radar interferometer of the SWOT mission: Design and in-flight performance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 1-27.
- [16] Wang, J., & Fu, L. L. 2019. On the long-wavelength validation of the SWOT KaRIn measurement. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 36(5), 843-848.
- [17] SWOT Sci. Data Products User Handbook. 2024. Jet Propulsion Laboratory Internal, document JPL D-109532, Pasadena, CA, USA. [Çevrimiçi]. Available: https://archive.podaac.earthdata.nasa.gov/podaac-ops-cumulus-docs/web-misc/swot_mission_docs/D-109532_SWOT_UserHandbook_20240502.pdf (Erişim Tarihi: 01.08.2025).
- [18] Zhu, C., Guo, J., Ya, S., Li, W., Gao, J., & Qiu, L. 2025. Moving Geoid Gradient Method for High-Precision and High-Resolution Gravity Recovery From SWOT Wide-Swath Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 63.

- [19] Grippa, M., Rouzies, C., Biancamaria, S., Blumstein, D., Crétaux, J. F., Gal, L., ... & Kergoat, L. 2019. Potential of SWOT for monitoring water volumes in Sahelian ponds and lakes. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(7), 2541-2549.
- [20] Girard, F., Kergoat, L., Mainassara, I., Wubda, M., Nikiema, D. E., Touré, A. A., ... & Grippa, M. 2025. Performance of the Surface Water and Ocean Topography (SWOT) Mission for Monitoring Small Lakes in West Africa. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.
- [21] Maubant, L., Dodd, L., & Tregoning, P. 2025. Assessing the accuracy of SWOT measurements of water bodies in Australia. *Geophysical Research Letters*, 52(6), e2024GL114084.
- [22] Bergeron, J., Siles, G., Leconte, R., Trudel, M., Desroches, D., & Peters, D. L. 2020. Assessing the capabilities of the Surface Water and Ocean Topography (SWOT) mission for large lake water surface elevation monitoring under different wind conditions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(12), 5985-6000.
- [23] Wang, J., Pottier, C., Cazals, C., Battude, M., Sheng, Y., Song, C., ... & Pavelsky, T. M. 2025. The Surface Water and Ocean Topography mission (SWOT) prior lake database (PLD): Lake Mask and operational auxiliaries. *Water Resources Research*, 61(3), e2023WR036896.
- [24] Nair, A. S., Kumar, N., Indu, J., & Vivek, B. 2021. Monitoring lake levels from space: preliminary analysis with SWOT. *Frontiers in Water*, 3, 717852.
- [25] Özseven, A., Akkurt, I., & Günoğlu, K. 2020. Determination of some dosimetric parameters in Eğirdir Lake, Isparta, Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(3), 1503-1510.
- [26] Davraz, A., Karaguzel, R., Soyaslan, I., Şener, E., Seyman, F., & Şener, S. 2009. Hydrogeology of karst aquifer systems in SW Turkey and an assessment of water quality and contamination problems. *Environmental Geology*, 58(5), 973-988.
- [27] Özçelik, H. 2023. Isparta İlinin Önemli Bitki Alanları ve Özellikleri: Important Plant Areas and their Characteristics in Isparta Province. *Journal of Protected Areas Research*, 2(1), 26-62.
- [28] Şener, E., & Davraz, A. 2024. Comparison of drought indices in the analysis of temporal and spatial changes of climatic drought events: a case study in the Eğirdir Lake basin (Isparta/Turkey). *Natural Hazards*, 120(14), 12817-12849.
- [29] Yücel, A., Markovic, M., Atilgan, A., Rolbiecki, R., Ertop, H., Jagosz, B., ... & Jakubowski, T. 2022. Investigation of annual lake water levels and water volumes with Şen Innovation and Mann-Kendall rank correlation trend tests: example of Lake Eğirdir, Turkey. *Water*, 14(15), 2374.
- [30] Şenol, H. İ., Şimşek, O., Yiğit, A. Y., & Kartal, V. 2025. Multi-source assessment of drought risk in Lake Eğirdir under climate change. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 104030.
- [31] Kaya, Y., Şanlı, F. B., & Abdikan, S. 2025. Refinement of ICESat-2 derived inland water surface levels with the TG20 local geoid model: In the case of Türkiye lakes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 139, 103900.
- [32] Küçüköğlu, M., & Kaya, Y. (2025). Global evolution of inland water levels: drying-speed analysis using ICESat-2 ATL13. *Journal of Hydrology*, 134486.