

SWOT Uydu Verilerinin Dar Nehir Kesitlerinde Kullanım Potansiyeli

Cahit YERDELEN¹
Gölnür AY²
Ebru ERİŞ^{3*}
Mert Sıtkı ŞEN⁴
Tuğrul TOKATLI⁵
Mustafa Serkan KARTAL⁶
Tolga AKSAKALLI⁷
Nesrin ÖZBEK⁸
Hafzullah AKSOY⁹

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 8 Ocak 2026 günü ulaşmıştır. 17 Nisan 2026 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- xx xxxxx xxxxxx gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/>

1 Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye
cahit.yerdelen@ege.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-4705-1940>

2 Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir, Türkiye
gulnuray10@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0006-5669-0444>

3 Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye
ebru.eris@ege.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-0601-7666>

4 Devlet Su İşleri, 2. Bölge Müdürlüğü, Havza Yönetimi, İzleme ve Tahsisler Şube Müdürlüğü,
İzmir, Türkiye
mertsen@dsi.gov.tr - <https://orcid.org/0009-0006-5658-4430>

5 Devlet Su İşleri, 2. Bölge Müdürlüğü, Havza Yönetimi, İzleme ve Tahsisler Şube Müdürlüğü,
İzmir, Türkiye
tugrultokatli@dsi.gov.tr - <https://orcid.org/0009-0009-4747-3212>

6 Devlet Su İşleri, 2. Bölge Müdürlüğü, Havza Yönetimi, İzleme ve Tahsisler Şube Müdürlüğü,
İzmir, Türkiye
mskartal@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0004-1750-654X>

7 Devlet Su İşleri, 2. Bölge Müdürlüğü, Havza Yönetimi, İzleme ve Tahsisler Şube Müdürlüğü,
İzmir, Türkiye
taksakalli@dsi.gov.tr - <https://orcid.org/0009-0001-9697-1797>

8 Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye
nesrinozbek@dsi.gov.tr - <https://orcid.org/0009-0000-4355-6031>

9 İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
haksoy@itu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-5807-5660>

* Sorumlu yazar

ÖZ

Akarsulardaki akıma ait güvenilir bilgi, hidrolojik su döngüsünün anlaşılması, su kaynaklarının yönetilmesi, taşkın ya da kuraklık tehlikelerinin değerlendirilmesi, sulama, hidroelektrik enerji üretimi, taşımacılık vb. süreçler için hayati önem taşımaktadır. Bu bilgi, akarsular üzerinde kurulan akım gözlem istasyonları ile elde edilmektedir. Akım gözlem istasyonlarının sayısı özellikle topografik olarak ulaşılması zor yerlerde azalmaktadır. Akım gözlem istasyonlarının kurulması ve işletilmesi için belli bir maliyet gereklidir. Bu nedenle bazı akarsu havzalarında akım gözlem ağındaki istasyon sayısı yeterli değildir, hatta bazı akarsu ya da kollarında hiç akım gözlemi yapılmamaktadır. Bu nedenle, uzaktan algılama gibi alternatif ya da tamamlayıcı ölçme tekniklerine önemle ihtiyaç duyulmaktadır. Akımı ölçmek için kullanılan uzaktan algılama gözlemlerinden nehir genişliği, akım derinliği ve su yüzeyi eğimi elde edilebilir. 2022 yılının Aralık ayında uzaya fırlatılan bir uydu olan SWOT (Surface Water Ocean Topography - Yüzey Suyu ve Okyanus Topografyası), adından da anlaşılacağı üzere bu amaçla oşinografi ve hidroloji ile ilgili uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada da SWOT uydusu ürünlerinin performansının su yüksekliği bazında Türkiye'nin batısındaki Gediz Havzası için yerinde gözlemler kullanılarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu uydu ile ilgili Türkiye'de henüz bir çalışma yapılmamış olmasının yanında uluslararası literatürde de çok geniş olmayan akarsular için kullanımının sınırlı kalmasından dolayı SWOT uydusunun performansı ile ilgili belirsizlikler bulunmaktadır. Bu çalışma, SWOT'un Türkiye koşullarında uygulanabilirliğini ortaya koyma ve geniş olmayan akarsulardaki performansını belirleyebilme motivasyonu ile yapılmıştır. Uygulama alanı olarak seçilen Gediz ana kolu üzerinde 18 km'lik bir geçkide yerinde ölçümler yapılmış ve uydu verileri incelenmiştir. Sonuçlar, SWOT'un 7–20 m genişlikteki dar nehir kesitlerinde bile saha ölçümleriyle yüksek düzeyde uyum sağladığını göstermiş; bu yönüyle çalışma SWOT'un Türkiye'de, üstelik geniş olmayan akarsularda uygulanabilirliğini ve akım ölçümü olmayan akarsu uygulamalarında kullanılabilirliğini ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: SWOT, Gediz Havzası, dar nehir, ortofoto, su yüzeyi yüksekliği.

ABSTRACT

The Potential of Using Swot Satellite Data in Narrow River Sections

Reliable information on streamflow is of vital importance for understanding the hydrological water cycle, managing water resources, assessing flood or drought hazards, irrigation, hydroelectric power generation, transportation, and similar processes. This information is obtained through streamflow gauging stations installed at river sections. The number of streamflow gauging stations decreases especially in topographically hard-to-access areas. The installation and operation of streamflow gauging stations are costly. For this reason, in some river basins the number of stations in the streamflow observation network is insufficient, and in some rivers or tributaries, no streamflow observations are carried out at all. Therefore, there is a strong need for alternative or complementary measurement techniques such as remote sensing. River width, flow depth, and water surface slope can be obtained from the remote sensing observations used to measure streamflow. A satellite launched in December 2022, SWOT (Surface Water and Ocean Topography), as its name suggests, is used in oceanographic and hydrological applications

for this purpose. In this study, it is aimed to evaluate the performance of SWOT satellite products on a water surface elevation basis for the Gediz Basin in western Turkey using in-situ observations. In addition to the fact that there are uncertainties regarding the performance of the SWOT satellite and no study on this satellite has yet been conducted in Turkey, its use remains limited in the international literature for rivers that are not very wide. Taking this as a research gap, this study was carried out with the motivation of assessing the applicability of SWOT under hydrological conditions in western part of Turkey and determining its performance in narrow rivers. In-situ measurements were conducted along a transect of 18 km on the main river channel of Gediz River, and satellite data were analyzed. Results showed that SWOT provided a high level of agreement with field measurements even in narrow river sections with widths of 7–20 m. In this respect, the study demonstrates not only the applicability of SWOT in Turkey but also its usability in narrow rivers and its potential for the evaluation in rivers without streamflow measurements.

Keywords: SWOT, Gediz Basin, narrow river, orthophoto, water surface elevation.

1. GİRİŞ

Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde ihtiyaç duyulan hidrolojik ölçümler (akım, seviye, su yüzü eğimi vb.) geleneksel yöntemlerle sahada ölçülebilmektedir. Son yıllarda sahada yapılan ölçümlerin yanında uzaktan algılama teknikleri ve uydu görüntüleri de kullanılmaktadır. Uzaktan algılama ve uydu teknolojisi, geniş alanları kapsamaları ve sürekli izleme imkânı vermeleri yanında hidrolojik modeller ve erken uyarı sistemleri gibi uygulamalar için geleneksel yöntemlere göre daha ekonomik veri sağlamaları gibi nedenlerle avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, uzaktan algılama ve uydu tabanlı verilerle kullanılan radar veya optik teknolojisi, bulut etkisi veya yansıma hataları içerebilir [1]. Bu nedenle, bu verilerin güvenilir biçimde kullanılabilmesi için mutlaka yerinde yapılan gözlemler ile doğrulanması gerekmektedir.

Su kaynaklarının izlenmesi ve hidrolojik süreçlerin anlaşılması amacıyla farklı uydu platformları yaygın olarak kullanılmaktadır. Radar görüntüleme kabiliyetine sahip Sentinel-1 (ESA), özellikle bulutlu hava koşulları altında ve gece görüntü alabilen su yüzeyinin mekansal dağılımını ve taşkın dinamiklerini belirlemede etkili bir araçtır [2]. Optik algılama sağlayan Sentinel-2 (ESA) ise yüksek çözünürlüğü sayesinde göller, barajlar ve nehir alanlarının zamansal değişimlerini izleme olanağı sunmaktadır [3]. Daha uzun dönemli gözlemler için Landsat serisi (NASA-USGS), 1970'lerden bu yana sağladığı çok bantlı verilerle küresel ve bölgesel ölçekte su yüzeyi değişimlerini inceleme olanağı vermektedir [4]. Ayrıca, GRACE ve GRACE-FO misyonları (NASA & DLR) ile yerçekimi alanındaki küçük değişimler ölçülerek yeraltı suyu kütlelerindeki dalgalanmalar ve büyük ölçekli su bütçesi bileşenleri takip edilebilmektedir [5]. Bu uydu sistemleri, yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının planlanması ve yönetimi çalışmalarına önemli katkıda bulunmaktadır.

Ülkemiz akarsuları için de uydu-temelli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin; Kızılırmak nehrinin 1987, 2000 ve 2013 yıllarına ait Landsat TM/ETM+/OLI uydu görüntülerinden elde edilen veriler ile 1987-2000 ve 2000-2013 periyotları için nehrin plandaki geometrik karakteristiklerinde zamanla ortaya çıkan değişimler belirlenmiştir [6]. Başka bir çalışmada

Büyük Menderes Nehri'nin 1990-2020 arasındaki dönemine ait morfolojik analizi, Landsat uydu görüntüleri ile değerlendirilmiştir [7]. Benzer şekilde, Filyos Çayı Deltasında kıyı çizgisinin zamana bağlı değişimi 1984-2020 yılları için Landsat uydu verileri ile incelenmiştir [8]. Sentinel-2A ile dar kanal olarak sayılabilecek 10 m genişliğindeki Karamenderes (Çanakkale) üzerinde çalışma yapılmıştır [9]. Diğer bir çalışmada [10], ICESat-2, ATL13 ve Sentinel-2 birlikte kullanılarak Fırat-Dicle Havzası için su kütlelerindeki seviye ve alan-seviye değişimleri 2018–2022 yılları arası dönem için incelenmiştir.

Yukarıda sayılan uydu sistemlerine ek olarak yine su kaynaklarını ve deniz/okyanus gibi büyük su yüzeyi alanlarını analiz etmek üzere yeni bir uydu SWOT (Surface Water Ocean Topography - Yüzey Suyu ve Okyanus Topografyası), Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Fransa Uzay Ajansı (CNES) işbirliği, Kanada Uzay Ajansı (CSA) ve İngiltere Uzay Ajansı (UKSA) desteği ile geliştirilerek 2022 yılı Aralık ayında uzaya fırlatılmıştır. SWOT, yüksek çözünürlüklü Ka-band radar interferometresi (KaRIn) kullanmaktadır. SWOT uydusu, hidrolojik açıdan su derinliği ve genişliği ile nehir eğimi hakkında ölçümler sağlamaktadır. Tek bir noktada yükseklik ölçümü yapan geleneksel uydu altimetrelere aksine uydu, dünyanın yörüngesinde dönerken bir dizi yükseklik ölçümü yapmaktadır. SWOT, 21 günlük bir süre içinde 2-3 kez gözlem sıklığı ile su yüzeyi genişliği ve yüksekliğinin eşzamanlı olarak izlenmesine olanak tanımaktadır. Bu gözlemler nehir akımının hidrolik özelliklerinin tahmininde kolaylık sağlamaktadır [11].

SWOT uydusu ile ilgili Türkiye dışında yapılmış çalışmalar mevcuttur [12-15]. Bu çalışmalarda SWOT verilerinin taşkın sırasında göl ve sulak alanlardaki su yüzey alanı ve su seviyesi değişimlerini izleyebilme kabiliyeti değerlendirilmiş [12], eşzamanlı nehir genişliği ve su yüzeyi yüksekliği ölçümlerinin debi tahminlerinin doğruluğunu artırdığı görülmüş [13], yalnızca SWOT türevi nehir geometrisi bilgileri kullanılarak debinin kabul edilebilir doğrulukta hesaplanabildiği anlaşılmış [14], yüksek mekansal çözünürlükte nehir su seviyesi profilleri ve eğim bilgilerinin ilk kez tutarlı biçimde elde edildiği görülmüş [15] ve böylelikle SWOT uydusunun hidrolojik çalışmalarda kullanılma potansiyeli ortaya konmuştur. Bu potansiyeline rağmen SWOT ürünleri, ülkemiz akarsuları için yapılmış herhangi bir çalışmada henüz kullanılmamıştır. SWOT'un Türkiye ile ilgili uygulaması, aralarında Küçük Menderes ve Gediz havzalarındaki Kutlu Aktaş ve Gördes Baraj haznelerinin de bulunduğu dünyadan seçilen altı gölün su seviyesi ile ilgili çalışmadan ibarettir [16]. Türkiye akarsuları için uydu temelli hidrolojik veriler ile ilgili çalışmalar bulunmakla birlikte [6-10], yeni bir uydu olan SWOT verilerinin henüz değerlendirilmemiş olması bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmaktadır. Ayrıca, literatürde genişliği özellikle 50 m'nin altında kalan dar akarsu kesitlerinde SWOT'un performansının bilinmemesi de önemli bir araştırma boşluğuna işaret etmektedir. Bu çalışmada Gediz Nehri'nin bir bölümü için yerinde gözlemler kullanılarak SWOT uydusu ürünlerinin performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma, hem Gediz Havzası özelinde Türkiye'deki ilk uygulama olması, hem de uluslararası ölçekte dar nehirlerde SWOT verilerinin güvenilirliğini sınaması bakımından literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışmadaki Gediz Nehri uygulaması sayesinde SWOT'un hidrolojideki kullanım potansiyelinin dar nehir kesitlerine genişletilmesi imkanı sorgulanmakta, daha da önemlisi hidrolojik izleme ağlarının sürdürülebilirliği için uydu temelli yöntemlerin yer ölçümleri ile birlikte veya yer ölçümlerinin olmadığı durumlarda yer ölçümlerine alternatif olarak kullanılması tartışmaya açılmaktadır.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE VERİ

2.1. Çalışma Bölgesi

Uydu ürünleri ve yerinde ölçümleri karşılaştırmak üzere çalışma bölgesi olarak Gediz Havzası seçilmiştir (Şekil 1). Havza coğrafi bakımdan 38°04'-39°13' Kuzey enlemleri ve 26°42'-29°45' Doğu boylamları arasında yer almakta ve Manisa, İzmir, Uşak, Kütahya, Denizli, Balıkesir ve Aydın illeri sınırlarına yayılmaktadır. Havzaya ismini veren Gediz Nehri, 275 km uzunluğundadır. Toplam havza alanı 17,034 km² olup yıllık ortalama su potansiyeli 2,270 hm³ veya 126 mm olarak hesaplanmıştır [17].

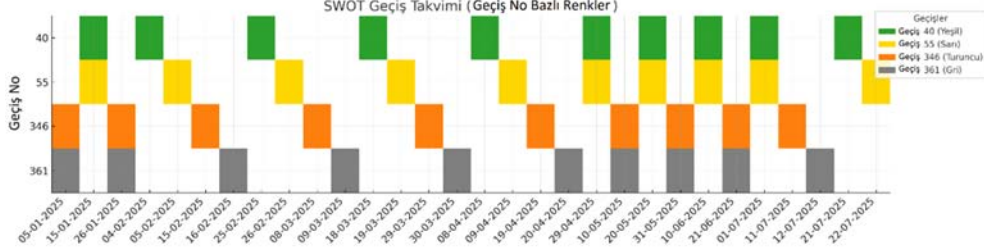
Gediz Nehri'nin Sinirli bölgesi, çalışma kapsamında uydu görüntülerinin yerinde ölçümlerle karşılaştırma yapılacak nehir bölümü olarak seçilmiştir (Şekil 1). Bu bölüm seçilirken nehir yatağında mümkün olduğunca akış bulunması ve topografyanın ölçüme izin verebilir olmasına dikkat edilmiştir. Nehrin Sinirli bölgesinden SWOT uydusu ile 4 farklı geçiş (Pass) yapıldığı tespit edilmiştir. Her bir geçişin kendine özgü bir numarası bulunmaktadır. Bu geçişlerin numaraları (Geçiş no - Pass ID) 40, 55, 346, 361'dir. Bunlar kullanılarak nehrin ilgilenilen bölgesinde konumlanan her bir düğümdeki (Node) ilgili veri SWOT veri tabanından (SWOT River Database - SWOT Nehir Veritabanı) indirilmiş ve analiz edilmiştir. Bu geçişlerin havza üzerinde taradığı bölgeler Şekil 2'de görülmektedir.

2.2. SWOT Uydu Verileri ve SWOT Veritabanı

SWOT, uydunun her geçişinde nehir ile ilgili bir dizi bilgi sunmaktadır. Bu bilgiler, uydu görüntülerinin daha esnek ve rahat bir şekilde kullanılması için vektör ürünlerine dönüştürülmektedir. Ürünlerin en doğru şekilde işlenmesi ve karşılaştırılabilmesi için nehir ve uydu gözlemleri ile ilgili çok sayıda küresel veri kümesi birleştirilerek çeşitli formatlarda (shape, NetCDF vb.) kullanıcıya sunulan nehir veritabanı (SWORD) geliştirilmiştir. SWORD verilerine genellikle NASA, CNES ve ilgili bilimsel kuruluşların açık veri platformlarından erişilebilir.

SWORD verileri, Geçiş No (Pass ID), Kol No (Reach ID) ve Düğüm No (Node ID) olmak üzere üç farklı seviyede düzenlenmiştir. Geçiş No, SWOT uydusunun dünya üzerindeki geçiş yollarını belirtirken; Kol No, belirli bir su kütlesini temsil eden daha küçük ölçekteki 10 km'lik segmentleri ifade etmektedir. Düğüm No ise Kol No içindeki daha ayrıntılı ölçüm noktalarını yani kollar içindeki yaklaşık olarak her 200 m'de bir verilen noktaları tanımlamaktadır.

SWOT verileri, NASA'nın PODAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center) bünyesindeki SWORD veri tabanından (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>) temin edilmiştir. Özellikle yüksek çözünürlüklü nehir ve göl bölümlerini içeren L2_HR_RiverSP (River Single Pass) veri setleri su yüzeyi yüksekliği (WSE) hidrometrik değişkenini çıkarmak amacıyla kullanılmıştır. Veri seti, 4 adet SWOT geçişini (Geçiş No: 40-55-346-361) kapsamaktadır (Şekil 2). Anılan geçişlere ait geçiş tarihleri Şekil 3'te verilmiştir. Geçişler 12 saat faz farkı ile gerçekleştiğinden zaman zaman ardışık iki gün için veriler alınmıştır. Ayrıca 346 no.lu geçiş, geometrik olarak tanımlı tarama alanı dışında da Sinirli bölgesi için sınırlı gözlem noktaları oluşturduğundan bu geçişe ait az sayıdaki düğümüne ait veriler de alınmış ve karşılaştırma grafiklerinde gösterilmiştir. Ancak bu veriler



Şekil 3 - Numarasına göre SWOT geçiş takvimi

2.3. Saha Çalışmaları ve Hava Fotoğrafları

Uydu performansının belirlenmesi amacıyla SWOT veritabanından alınan ve sahada ölçülen su yüzeyi yüksekliklerinin zaman içindeki değişimleri karşılaştırılmıştır. Saha gözlem verileri, deniz seviyesine göre ortometrik yükseklik temel alınarak işlenmiş ve kalibre edilmiştir. SWOT uydu geçişlerinin tarih ve saatleri ile saha ölçüm tarih ve saatleri dikkatle eşleştirilerek, mümkün olan en yakın zaman dilimlerinde toplanan veri çiftleri oluşturulmuştur. Bu eşleştirme, uydu ve yer tabanlı ölçümler arasındaki zamansal değişkenlikten kaynaklanabilecek hataları en aza indirmek için önemlidir.

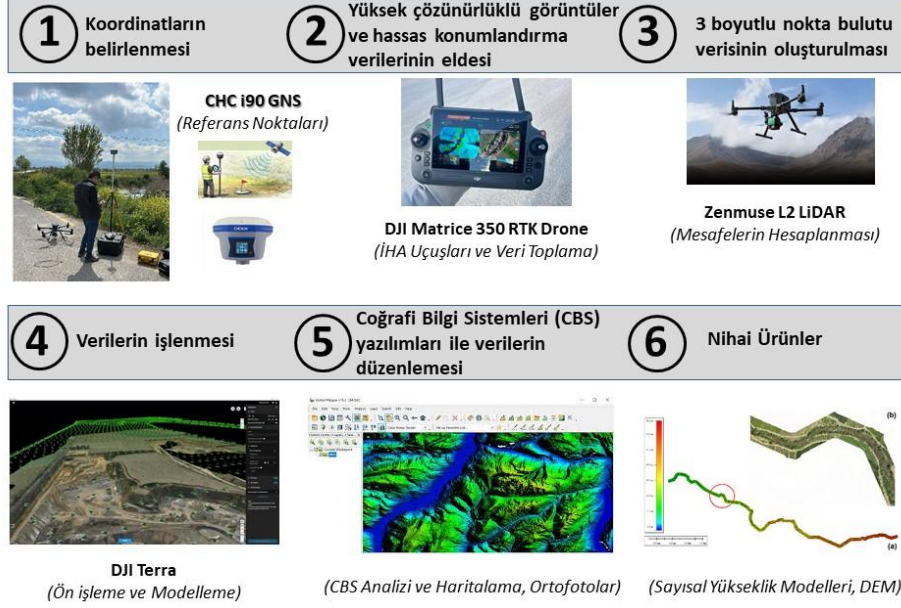
Analiz sürecini daha geniş bir mekansal kapsama yaymak amacıyla, nehir bölgesinin tamamına yönelik dron destekli veri toplama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) verisi, On-the-Fly (OTF) hassasiyetli GPS ölçümleri ve LiDAR taramaları ile SWOT'un belirlediği düğüm noktalarında daha geniş kapsamlı bir karşılaştırma yapılmıştır. Dron destekli bu veri toplama süreci sayesinde, SWOT'un sunduğu farklı düğüm noktalarının yükseklik değerlerinin detaylı bir şekilde analizine olanak sağlanmıştır.

Bu çalışma, belli adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Buna göre, öncelikle hava görüntüleri için CHC i90 GNSS alıcısı arazi ölçümlerinde hassas koordinat verileri elde etmek için kullanılmış, ardından DJI Matrice 350 RTK Dron ile yüksek çözünürlüklü görüntüler ve hassas konumlandırma verileri toplanmıştır. Sürecin sonraki adımını da, dron üzerine entegre edilen Zenmuse L2 LiDAR sensörü sayesinde detaylı 3 boyutlu nokta bulutu verisi oluşturmaktadır. Elde edilen bu verileri işlemek için DJI Terra yazılımı kullanılarak 2 boyutlu haritalar ve 3 boyutlu modeller üretilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları kullanılarak LiDAR verisinin düzenlenmesi ve analizi ile yüzey modelleri oluşturmak suretiyle nihai ürün elde edilmesi, buradaki çalışmanın son adımlarıdır.

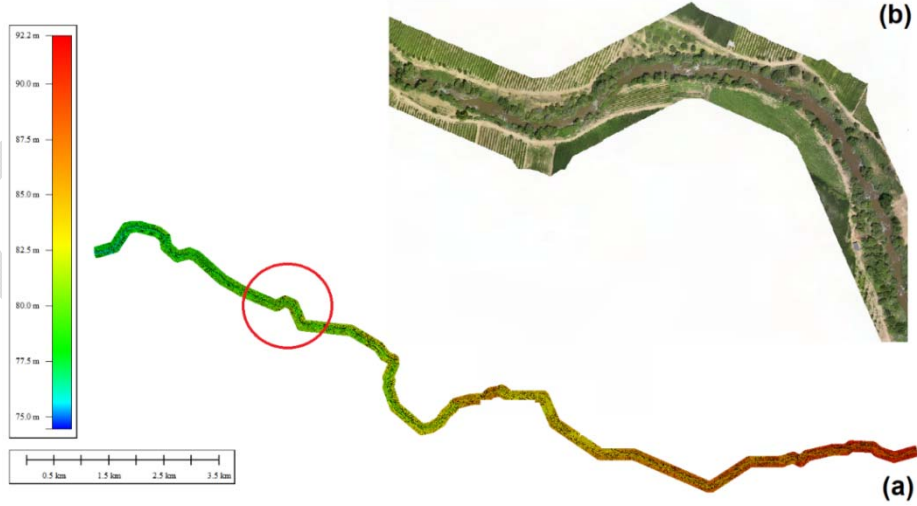
Saha gözlemleri, 6 Ocak 2025 ile 20 Temmuz 2025 tarihleri arasında Gediz Havzası'ndaki Sinirli nehir bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarının yapılacağı günlerin belirlenmesinde SWOT uydusunun geçiş günleri esas alınmıştır (Şekil 3). Resmi tatiller veya hafta sonlarına denk gelen geçişler için en yakın resmi iş günü esas alınmıştır. Ayrıca ardışık geçiş tarihleri için aralarında 12 saatlik faz farkı olduğundan uygun olan tarihte saha ölçümleri (tek gün arazi çalışması şeklinde) yapılmıştır. Şekil 5'te 11 Temmuz 2025 tarihinde yapılan çalışmanın CBS yazılım çıktılarına örnek olarak WGS84 koordinat

SWOT Uydu Verilerinin Dar Nehir Kesitlerinde Kullanım Potansiyeli

sistemine göre Lidar görüntüsü ve aynı tarihli ölçümün ortofoto (hava fotoğrafı) görseli verilmiştir.



Şekil 4 - Saha çalışmaları ve hava fotoğraflarının elde edilmesindeki sürecin işlem adımları



Şekil 5 - Sinirli nehir bölgesi için 11 Temmuz 2025 tarihine ait (a) Lidar, (b) ortofoto görüntüsü

3. SWOT VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ YÖNTEMİ

SWOT uydu verilerinden temin edilen su yüzeyi yüksekliği değerlerinin güvenilirliğini ortaya koymak amacıyla, literatürde yaygın olarak kullanılan Kök Ortalama Karesel Hata (*RMSE*), Ortalama Mutlak Hata (*MAE*), Yüzde Sapma (*Pbias*), Pearson korelasyon katsayısı (*r*) ve Kling–Gupta Verimliliği (*KGE*) gibi farklı istatistiksel performans ölçütü veri-gözlem çiftlerine uygulanmıştır. *RMSE*, hataların genel büyüklüğünü ölçmede kullanılan bir ölçüt olup büyük sapmalara karşı hassastır. Bu ölçüt

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_i^{SWOT} - h_i^{Gözlem})^2} \quad (1)$$

ile ifade edilmektedir. Burada, h_i^{SWOT} ve $h_i^{Gözlem}$, sırasıyla *i* ölçüm yerinde uydudan elde edilen ve yerinde ölçülen su yüzeyi yüksekliklerini göstermektedir. Nehir bölümünde ölçüm yapılan nokta sayısı *n* ile gösterilmiştir. Öte yandan *MAE*, ortalama mutlak farkı hesaplayarak *RMSE*'ye kıyasla genelleştirilmiş hata için daha sağlam bir ölçüt sunmaktadır. *MAE*'nin matematiksel ifadesi

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |h_i^{SWOT} - h_i^{Gözlem}| \quad (2)$$

şeklinde. *Pbias*, SWOT verilerinin gözlemleri sistematik biçimde fazla tahmin etme (pozitif değerler) veya az tahmin etme (negatif değerler) eğilimini ortaya koymakta ve

$$Pbias = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n (h_i^{SWOT} - h_i^{Gözlem})}{\sum_{i=1}^n h_i^{Gözlem}} \quad (3)$$

ile ifade edilmektedir. Pearson korelasyon katsayısı (*r*), SWOT tahminleri ile gözlemler arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçerken; Kling–Gupta Verimliliği (*KGE*), korelasyon, değişkenlik (standart sapmaların oranı) ve yanlılık (ortalama değerlerin oranı) bileşenlerini bir araya getirerek daha dengeli bir performans değerlendirmesi sağlamaktadır. Bu ölçütler, sırasıyla

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i^{SWOT} - \mu_{SWOT})(h_i^{Gözlem} - \mu_{Gözlem})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i^{SWOT} - \mu_{SWOT})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i^{Gözlem} - \mu_{Gözlem})^2}} \quad (4)$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2} \quad (5)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada geçen β ve γ ,

$$\beta = \mu_{SWOT} / \mu_{Gözlem} \quad (6a)$$

$$\gamma = (\sigma_{SWOT} / \mu_{SWOT}) / (\sigma_{Gözlem} / \mu_{Gözlem}) \quad (6b)$$

olarak tanımlanmıştır. Önceden adı geçen değişkenlere ek olarak burada geçen μ_{SWOT} ve $\mu_{Gözlem}$ sırasıyla SWOT veri setinden alınan ve yerinde ölçülen su yüzeyi yüksekliklerinin

ortalamasını, σ_{SWOT} ve $\sigma_{Gözlem}$ de yine sırasıyla bu değerlerin standart sapmasını göstermektedir. Buna göre, Denklem (6)'daki β uydu ve gözlem verilerinin ortalamalarının, γ değişim katsayılarının oranlarıdır. Bu çalışmada, Denklem (1-6) ile tanımlanan bu ölçütler bir arada kullanılarak SWOT verilerinin hata büyüklüğü, sistematik yanlılığı, korelasyon gücü ve genel tahmin yeteneği kapsamlı bir biçimde değerlendirilmiştir.

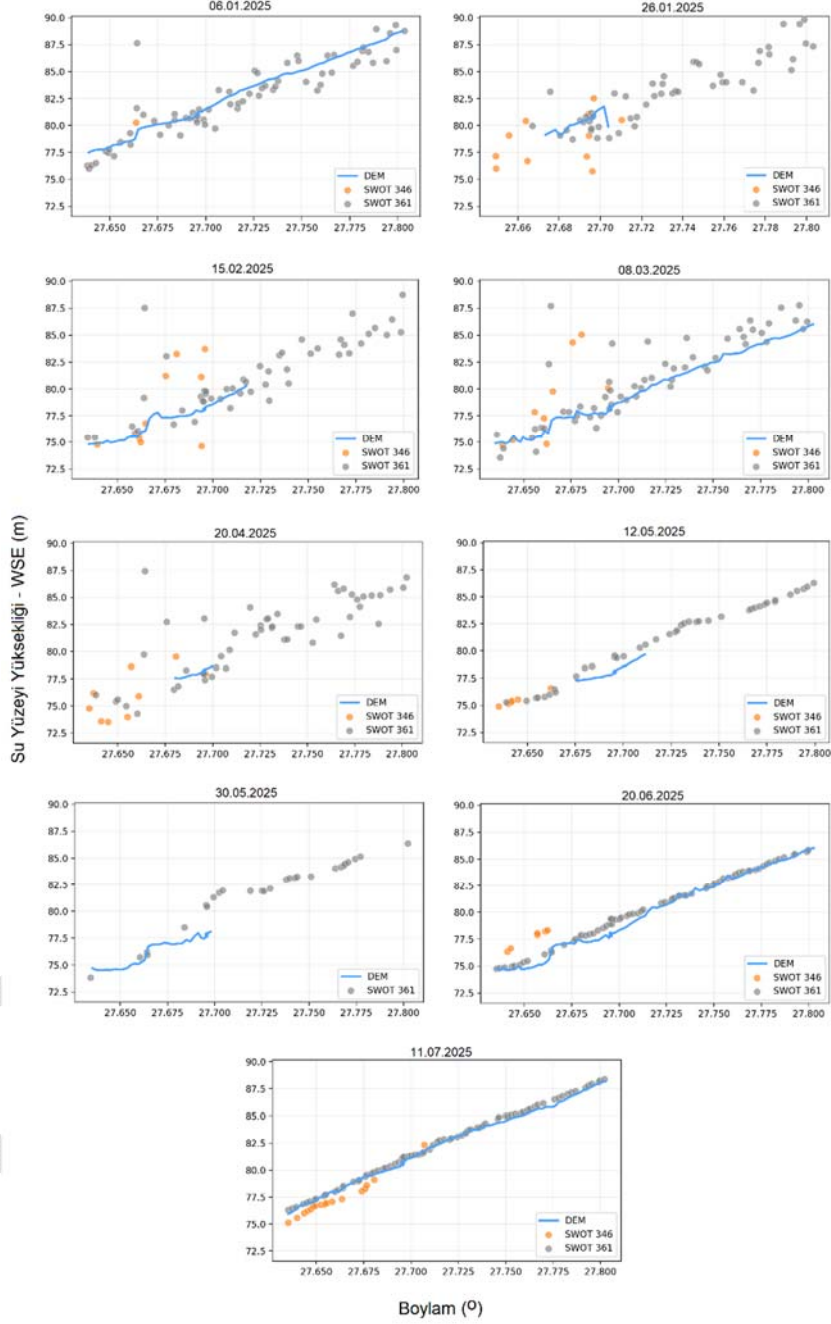
Çalışmada, nehir bölümü için mevcut gözlem sayısı; uydunun tekrar geçiş sıklığının sınırlı ve saha ölçümlerinin uydu geçişleri ile çakışma durumunun kısıtlı olması nedeniyle oldukça düşüktür. Bu nedenle, her bir tarih için ayrı ayrı performans göstergelerinin hesaplanması istatistiksel açıdan güvenilir olmayan sonuçlar üretebilir. Bu kısıtı aşmak amacıyla, tüm geçişler ve tarihlerden elde edilen gözlemler, birleştirilmiş ve tek bir veri seti olarak değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, örneklem büyüklüğünü artırarak KGE vb. performans metriklerinin daha güvenilir şekilde hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Benzer yaklaşımlar, özellikle saha verilerinin sınırlı olduğu ve uzaktan algılama ürünleri ile karşılaştırıldığı çalışmalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır [19, 20].

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

SWOT uydu verileri ile saha gözlem verilerinden elde edilen ortofoto tabanlı veriler detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, su yüzeyi yüksekliği (WSE) için yapılmıştır. Veri tabanından alınan ürünler SWOT'un C versiyonu olup 2025 yılı Mayıs ayının ilk haftasından itibaren D versiyonu olarak elde edilmiştir. Versiyon D; C versiyonundaki sorunları gideren, veri doğruluğunu ve tutarlılığını artıran güncellenmiş işleme algoritmalarıyla daha güvenilir SWOT veri ürünleri sunmayı sağlayan geliştirilmiş bir sürümdür.

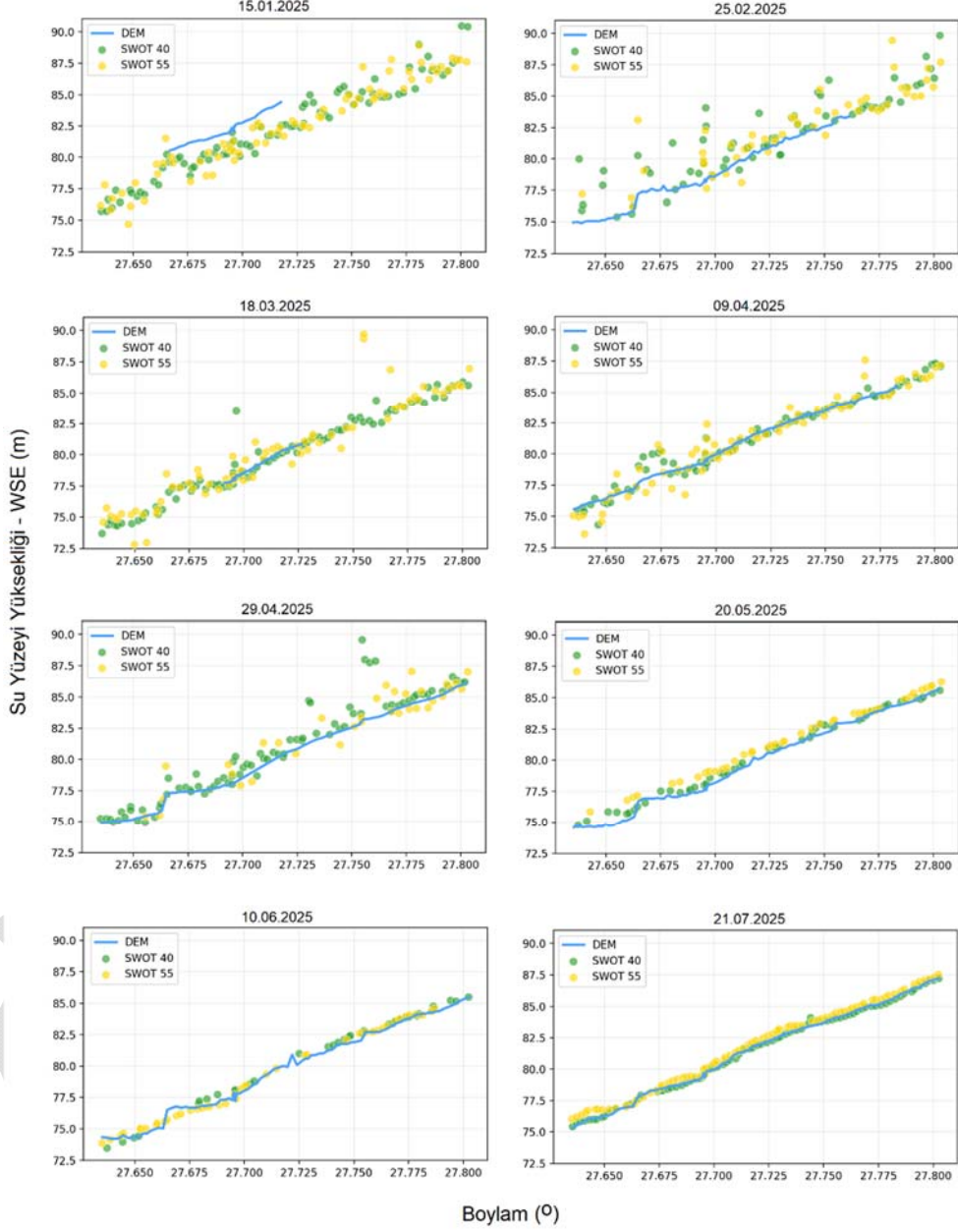
Gediz Nehri Sinirli bölgesi için SWOT WSE verileri ile eş zamanlı saha WSE verilerinin farklı zamanlardaki karşılaştırmaları Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Sinirli bölümünde dört farklı geçiş bulunmaktadır. Bunlardan Geçiş No: 346 (turuncu noktalar) ve Geçiş No: 361 (gri noktalar) ile Geçiş No: 40 (yeşil noktalar) ve Geçiş No: 55 (sarı noktalar) aynı tarihlere denk gelmektedir. Dron uçuş süresi, rüzgar gibi meteorolojik olaylardan etkilendiği için batarya durumu sürekli kontrol edilerek uçuş tamamlanmaktadır. Örneğin; 05.02.2025, 28.03.2025 ve 01.07.2025 tarihlerinde teknik nedenlerle bu bölümde dron uçuşu yapılamadığından bu tarihlerde herhangi bir DEM verisi bulunmamaktadır. Bu nedenle yapılan karşılaştırma ve analizlerde yer verisi kullanılmamıştır. Öte yandan yine teknik nedenlerle çeşitli tarihlerde (26.01.2025, 20.04.2025, 12.05.2025, 30.05.2025 gibi) uçuşlar kısa kalmış ve dolayısıyla veri sayısı azalmıştır.

Şekil 6'dan anlaşılacağı üzere 346 ve 361 no.lu geçişler birbiri ile tutarlıdır. SWOT geçişleri (hem 346 hem 361), aynı zamanda genel olarak DEM verileri ile uyum içindedir. Bu uyum özellikle 06.01.2025, 20.06.2025 ve 11.07.2025 gibi bazı tarihlerde belirgin bir şekilde kendini göstermiştir. Dron uçuşlarının çeşitli nedenlerle kısa kaldığı dönemlerde de (26.01.2025, 20.04.2025, 12.05.2025, 30.05.2025) DEM verisinin SWOT verileri ile tutarlı olduğu görülebilmektedir. Benzer şekilde 10.06.2025 ve 21.07.2025 tarihlerinde 40 ve 55 numaralı geçişler (Şekil 7), DEM verisi ile neredeyse tamamen aynı olup diğer tarihlerde de paralellik göstermektedir. Bu geçişler genel olarak DEM verisi ile aynı eğilimdedir ve nehir boyunca artan WSE desenini yakalamaktadır. Bu sonuç, hem boyuna profil eğiminin hem de mutlak seviye değişiminin SWOT tarafından tutarlı temsil edildiğini göstermektedir.



Şekil 6 - Sinirli bölgesi için DEM-SWOT su yüzeyi yüksekliği karşılaştırma grafikleri (Geçiş No: 346 ve 361). Gediz Nehri yaklaşık olarak doğu-batı doğrultulu olduğundan yatay eksen boylamı gösterecek şekilde hazırlanmıştır.

SWOT Uydu Verilerinin Dar Nehir Kesitlerinde Kullanım Potansiyeli



Şekil 7 - Sınırlı bölgesi için DEM-SWOT su yüzeyi yüksekliği karşılaştırma grafikleri (Geçiş No: 40 ve 55). Gediz Nehri yaklaşık olarak doğu-batı doğrultulu olduğundan yatay eksen boylamı gösterecek şekilde hazırlanmıştır.

Geçiş verilerinin saha ölçümleri ile uyumu istatistiksel ölçütler cinsinden Tablo 1’de sunulmuştur. Yüksek *RMSE* değeri (2.25 m), SWOT uydu verilerinden temin edilen WSE değerlerinin büyük çoğunluğunun gözlenen değerlere makul ölçüde yakın olmasına rağmen, bazı büyük hataların (aykırı değerlerin) *RMSE* üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Başka bir deyişle, uydu ürünleri özellikle yüksek WSE değerlerine karşı daha az hassastır ve uç sapmalar *RMSE*’nin yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Bu sonuç, aykırı değerlerin veya yüksek su seviyesi koşullarının hata ölçütlerinin büyük çıkmasına neden olduğunu düşündürmektedir. *MAE* değeri (1.65 m), Sınırlı Bölgesinde 90 m’ye yaklaşan WSE değerlerine göre oldukça küçüktür. Yüzde Sapma (*Pbias*) değerinin %1.73 gibi oldukça düşük olması, SWOT değerlerinin yer gözlemlerini ortalama olarak ihmal edilecek düzeyde bir pozitif yanlılıkla iyi tahmin ettiğini göstermektedir. Bu yanlılık, hata büyüklüğünün genel olarak sınırlı olduğuna ve farklılıkların çoğunlukla sistematik kaymalardan değil, olay-temelli değişimlerden kaynaklandığına işaret etmektedir. Bunlara ek olarak, güçlü Pearson korelasyonu ($r = 0.88$), SWOT’un yükseklik tahminlerindeki hatalara rağmen, çalışma alanı genelinde WSE’nin zamansal ve mekansal değişkenliğini etkili bir biçimde yakalayabildiğini kanıtlamaktadır. Yüksek *KGE* değeri (0.84), SWOT’un WSE ölçüm performansının güçlü olduğunu göstermektedir. Çünkü, bu ölçüt, korelasyon, değişkenlik ve yanlılığı birleştirerek sunmaktadır. Buna göre, SWOT’un WSE’deki zaman içinde gözlenen dinamik değişimleri başarıyla temsil ettiği, ancak mekansal sorunları halen tam olarak aşamadığı anlaşılmaktadır. Bulgular, büyük hataları tetikleyen koşulların (karmaşık hidrolik ortamlar, bitki örtüsünün etkisi veya karışık su-karasal pikseller gibi) belirlenmesine yönelik spesifik saha incelemelerine ihtiyaç olduğunu göstermektedir. SWOT verileri, WSE’nin zamansal ve mekansal değişkenliğine yüksek derecede duyarlı ise de ürün tahminlerinin iyileştirilmesi, operasyonel su kaynakları uygulamalarında güvenilirliğinin artırılması açısından üzerinde çalışılması gereken önemli bir konu olarak durmaktadır.

Tablo 1 - Yer gözlemleri ile SWOT verilerinin değerlendirme ölçütleri bazında karşılaştırılması

RMSE (m)	MAE (m)	Pbias (%)	Pearson r	KGE
2.25	1.65	1.73	0.88	0.84

Çalışmada saha ölçümlerinin yapıldığı tarihlerde Sınırlı bölgesinin akarsu genişlikleri Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre minimum ve maksimum genişlikler 1.53 m ile 40 m arasında değişmekte, ortalama değer ise 7.81 m ile 19.80 m aralığında kalmaktadır. SWOT verileri ve yer ölçümleri birlikte değerlendirildiğinde, SWOT su yüzeyi yükseklik verilerinin 7-20 m genişliğine sahip dar olarak nitelendirilebilecek nehir kesitlerinde yer ölçümleriyle uyum gösterdiğini ortaya koymuştur. Burada “dar nehir” ifadesi, SWOT’un ölçüm prensibi, mekansal çözünürlüğü ve radar sinyalinin kıyı etkilerine duyarlılığına dayanmaktadır. SWOT’un Ka-band Radar İnterferometresi (KaRIn) yaklaşık 10–70 m mekansal çözünürlükte veri üretmektedir. Güvenilir ölçümler için nehir genişliğinin birden fazla piksel ile temsil edilmesi gerekmektedir [1, 21]. Bu nedenle literatürde genellikle 50–100 m’den dar nehir kesitlerinde ölçüm doğruluğunun kıyı etkileri ve karışık piksel problemleri nedeniyle azaldığı belirtilmektedir [22]. Buna göre, bu çalışmada incelenen 7–

SWOT Uydu Verilerinin Dar Nehir Kesitlerinde Kullanım Potansiyeli

20 m genişliğindeki akarsu kesitleri SWOT açısından “dar nehir” kategorisinde değerlendirilmektedir. Bu bulgu, SWOT’un başlangıçta hedeflenen ancak 100 m’den daha geniş nehir kesitlerinde kullanılması ile ilgili sınırlamanın [23] dışına çıkabileceğini yani SWOT verilerinin dar nehir kesitlerinde de kullanılabilir olduğunu destekleyen çalışmalarla [20] örtüşmektedir. Bu anlamda, özellikle 2025 yılı Mayıs ayı itibarıyla yayınlanan D versiyonunun, önceki versiyonlara göre daha güvenilir çıktılar sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte, bazı tarihlerde dron uçuşlarının kısa sürmesi veya veri eksiklikleri ölçümlerde sınırlılık yaratmıştır. Veri kısıtlı bu dönemlerde bile SWOT ve DEM arasındaki genel paralelliğin korunması, verinin güvenilirliğini teyit etmektedir. Bu çalışmadaki uygulama ile SWOT’un literatürde mevcut Çin (Yangtze) [24], ABD (Mississippi) [25] ve Hindistan (Mahanadi) [26] uygulamalarından farklı iklim ve topografya koşullarında başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmadaki Gediz Havzası örneği, SWOT’un Akdeniz havzaları için doğrulanması bakımından da önemli bir ilk adım niteliğindedir.

Tablo 2 - Sınırlı bölgesinde farklı tarihlerdeki su yüzeyi genişlikleri (Kaynak: DEM)

Tarih	Genişlik (m)		
	Minimum	Ortalama	Maksimum
06.01.2025	6.25	14.28	30.70
15.01.2025	4.95	19.80	33.70
26.01.2025	11.21	15.49	29.40
15.02.2025	9.06	13.05	25.30
25.02.2025	7.38	12.80	31.40
8.03.2025	7.25	12.66	28.40
18.03.2025	6.80	12.41	28.30
9.04.2025	5.71	13.22	28.50
20.04.2025	6.53	9.61	13.16
29.04.2025	6.29	12.13	17.52
12.05.2025	5.75	10.04	27.30
20.05.2025	5.60	11.95	24.44
30.05.2025	6.17	10.84	17.51
10.06.2025	1.53	7.81	18.34
11.07.2025	5.17	14.38	40.00
21.07.2025	3.94	12.92	29.40

Bir kullanım potansiyeli göstergesi niteliğine karşın çalışmanın sınırlı kalan en önemli yanı, karşılaştırmanın yalnızca su yüzeyi yüksekliği ile yapılmış olmasıdır. SWOT’un sağladığı

su yüzeyi genişliği ve eğim gibi diğer değişkenler, henüz kapsamlı biçimde değerlendirilmemiştir. Ayrıca analizler sadece Gediz Nehri'nin belli bir kesiti için yapıldığından gelecekteki çalışmaların farklı hidrolojik ve iklim koşullarına sahip havzalarda çoklu değişken doğrulamasına yönelmesi, bulguların genellenebilirliği açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmadan hareketle SWOT'un küçük ve orta ölçekli nehirlerde sağladığı verilerin özellikle iklim değişikliği koşulları için kritik bir kullanım potansiyeli barındırdığı söylenebilir. Bu nehirler, kuraklık ve taşkın gibi iklim kaynaklı hidrolojik aşırılıklara karşı daha duyarlı olduklarından, uzaktan algılama tabanlı yüksek çözünürlüklü su seviyesi verileri erken uyarı ve afet risk yönetiminde önemli katkılar sunabilir. Ayrıca, SWOT'un sağladığı yüksek mekansal ve zamansal çözünürlükteki su yüzeyi yüksekliği verileri, hidrolojik modelleme açısından gelecekteki araştırmalar için umut vericidir. Bu veriler sayesinde modellerin kalibrasyonunda ve öngörülerinin iyileştirilmesinde önemli kazanımlar elde edilebilir. Böylelikle hidrolojik süreçlerin daha doğru temsil edilmesi mümkün olabilir.

Bununla birlikte, SWOT uydusunun yaklaşık 21 günlük yörünge periyodu, zamansal çözünürlük açısından önemli bir kısıt teşkil etmektedir. Uydu, hedef bölge üzerinden sınırlı sayıda (ayda ortalama 2-3 kez) geçiş yapmaktadır. Bu durum, özellikle kısa süreli ve ani gelişen taşkın olaylarının izlenmesinde bir engel oluşturabilir. Çünkü, uydu geçiş zamanının taşkın pik seviyelerine denk gelmemesi durumunda, SWOT verilerinin ekstrem olayları yakalama kapasitesi sınırlı kalacaktır. Bu nedenle, SWOT verilerinin operasyonel taşkın yönetimi ve erken uyarı sistemlerinde kullanımı, uydunun bu zamansal kısıtı göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir.

5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında SWOT uydusunun kullanılabilirliğinin yer ölçümleriyle sınanması amaçlanmıştır. 2022 yılı Aralık ayında fırlatılan uydudan elde edilen su yüzeyi yükseklikleri ile Gediz Havzası'nın Sinirli bölgesinde gerçekleştirilen saha çalışmalarından elde edilen hava fotoğrafı (ortofoto) temelli DEM'lerden çıkarılan su yüzeyi yükseklikleri karşılaştırılmıştır. Çalışma 2025 yılı Ocak-Temmuz aylarında yerinde yapılan ölçümleri kapsamaktadır. Sinirli bölgesinde uydu-saha çalışmalarından elde edilen su yüzeyi yüksekliklerinin oldukça benzer olduğu ve hatta Haziran-Temmuz aylarında neredeyse aynı değerleri aldıkları görülmektedir. Çalışmanın SWOT uydu verisi ile ilgili ülkemiz için nehir kesitlerinde yapılmış ilk çalışma olması bir yana uygulama alanındaki nehir kesiti genişliğinin çok küçük (dar nehir) olmasına rağmen sonuçların özellikle son dönemde iyi olması, SWOT'un ancak geniş nehirlere uygulanabileceği yönündeki sınırlılığını ortadan kaldırması bakımından uluslararası literatüre de önemli bir katkıdır.

SWOT'un fırlatılmasından sonra yaklaşık bir yıl içinde (2023 yılı sonu veya 2024 yılı başı itibarıyla) debi verisini sunması hedeflenmiş iken zamansal ve mekansal anlamda yeterli veri toplanmamış, uygun algoritmalar geliştirilmemiş, akım hesaplama parametreleri belirlenmemiş ve versiyon C/D ürünlerinin validasyonu tamamlanmamış olduğundan SWOT'un akım ürünleri henüz sunulamamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma yalnızca su yüzeyi yüksekliği üzerine odaklanmıştır. Debi verilerinin yayınlanmasıyla birlikte gelecekte saha akım ölçümleriyle doğrudan karşılaştırma yapılması mümkün görülmektedir. Ayrıca,

farklı mevsim koşullarında (düşük akım, taşkın vb.) SWOT'un performansının sınanması, zaman serisi istatistikleri ile hata analizlerinin detaylandırılması ve diğer uydu verileri (Sentinel-1, ICESat-2) ile entegrasyonun sağlanması gelecek çalışmalar için öncelikli konular arasında olacaktır. Bu analizler, SWOT'un sadece geniş nehirlerde değil, farklı iklim kuşaklarındaki dar ve orta genişlikteki akarsu kesitlerinde de güvenli bir şekilde kullanılabileceğini göstermek açısından önem taşımaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB), TÜMEHAP programı kapsamında (Proje No: TUJJB-TUMEHAP-24-02) desteklenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Biancamaria, S., Lettenmaier, D., Pavelsky, T. The SWOT Mission and Its Capabilities for Land Hydrology, *Surveys in Geophysics*, 37 (2), 307-337, 2016.
- [2] Torres, R., P. Snoeij, D. Geudtner, D. Bibby, M. Davidson, E. Attema, P. Potin, B. Rommen, N. Floury, M. Brown, I. Navas Traver, P. Deghaye, B. Duesmann, B. Rosich, N. Miranda, C. Bruno, M. L'Abbate, R. Croci, A. Pietropaolo, M. Huchler, Rostan, F. GMES Sentinel-1 mission, *Remote Sensing of Environment*, 120, 9–24, 2012.
- [3] Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., Bargellini, P. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services, *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36, 2012.
- [4] Wulder, M.A., Loveland, T.R., Roy, D.P., Crawford, C.J., Masek, J.G., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Belward, A.S., Cohen, W.B. and Dwyer, J. Current status of Landsat program, science, and applications, *Remote Sensing of Environment*, 225, 127–147, 2019.
- [5] Tapley, B.D., Watkins, M.M., Flechtner, F. *et al.* Contributions of GRACE to understanding climate change, *Nature Climate Change*, 9, 358–369, 2019.
- [6] Öztürk, D., Sesli, F.A. Kızılırmak Nehrinin Sinüselli ve Örgülülük Karakteristiklerindeki Zamansal Değişimlerin Belirlenmesi, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 25 - 28 Mart, 2015.
- [7] Bor, A., Hazar, O., Elçi, Ş. Morphological Analysis of Büyük Menderes River over the Years Using Satellite Imagery, *Proceedings of the 40th IAHR World Congress*, ISSN-L 2521-7119, Viyana, 21-25 Ağustos, 2023.
- [8] Turoğlu, H., Duran, A. Shoreline change in the Filyos River Delta on the Black Sea and indications for near future, *Turkish Geographical Review*, 78, 61-74, 2021.

- [9] Karaman, M., Özelkan, E., Taşdelen, S. Influence of Basin Hydrogeology in the Detectability of Narrow Rivers by Sentinel2-A Satellite Images: A Case Study in Karamenderes (Çanakkale), *Journal of Natural Hazards and Environment*, 4(2), 140-155, 2018.
- [10] Narin, O.G., Lindenbergh, R., Abdikan, S. Temporal Analysis of Reservoirs, Lakes, and Rivers in the Euphrates–Tigris Basin from Multi-Sensor Data Between 2018 and 2022, *Remote Sensing*, 17, 2913, 2025.
- [11] Bonnema, M. G., Sikder, S., Hossain, F., Durand, M., Gleason, C. J., Bjerklie, D. M. Benchmarking wide swath altimetry-based river discharge estimation algorithms for the Ganges river system, *Water Resources. Research*, 52, 2439–2461, 2016.
- [12] Desrochers, N.M., Peters, D.L., Siles, G., Cauvier Charest, E., Trudel, M., Leconte, R. A Remote Sensing View of the 2020 Extreme Lake-Expansion Flood Event into the Peace–Athabasca Delta Floodplain—Implications for the Future SWOT Mission, *Remote Sensing*, 15 (5), 1278, 2023.
- [13] Du, B., Jin, T., Liu, D., Wang, Y., Wu, X. Accurate Discharge Estimation Based on River Widths of SWOT and Constrained At-Many-Stations Hydraulic Geometry, *Remote Sensing*, 15, 1672, 2023.
- [14] Durand, M., Dai, C., Moortgat, J., Yadav, B., de Moraes Frasson, R. P., Li, Z., et al. Using river hypsometry to improve remote sensing of river discharge, *Remote Sensing of Environment*, 315, 114455, 2024.
- [15] Normandin, C., Frappart, F., Baghdadi, N., Bourrel, L., Peña Luque, S., Ygorra, B., Kitambo, B., Papa, F., Riazanoff, S., Wigneron, J-P. First results of the surface water ocean topography (SWOT) observations to rivers elevation profiles in the Cuvette Centrale of the Congo Basin, *Frontiers in Remote Sensing*, 5, 1466695, 2024.
- [16] Sait Mutlu Karahan & Orhan Gündüz (2025) Hydrological insights from SWOT: Comparative analysis of water surface elevation and area time series from hydrocron API, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Volume 40, November 2025, 101790
- [17] SYGM (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü) Gediz Nehir Havzası Yönetim Planı Stratejik ÇED Raporu, 157s, 2018.
- [18] NASA & CNES, SWOT Science Data Products User Handbook, https://ctoh-docs.sedoo.fr/Handbooks_BD_CTOH/product_handbooks/D-109532_SWOT_UserHandbook_20240502.pdf, Yayın Tarihi 2 Mayıs 2024, Erişim Tarihi Ağustos, 2025.
- [19] Colliander, A., Cosh, M. H., Bourgeau-Chavez, L., Kelly, V. R., Kraatz, S., Siqueira, P., Walker, V. A., Chen, X., Roy, A., Lakhankar, T., McDonald, K. C., Steiner, N., Kurum, M., Kim, S.-b., Berg, A., Xu, X., Misra, S., Ogut, M., Vittucci, C., Kimball, J. S., Entekhabi, D., & Yueh, S. H. SMAP validation experiment 2019–2022 (SMAPVEX19–22): Field campaign to improve soil moisture and vegetation optical depth retrievals in temperate forests. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 18, 10749–10771, 2025. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2025.3553085>

- [20] Cook, C. L., Bourgeau-Chavez, L., Vander Bilt, D., Miller, M. E., Kraatz, S., Cosh, M. H., Kelly, V. R., Colliander, A. Comparison of in situ plant area index and remotely sensed leaf area index of northeastern American deciduous, mixed, and coniferous forests for SMAPVEX19–22. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 18, 18251–18263, 2025. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2025.3588091>
- [21] Alsdorf, D. E., E.Rodríguez, Lettenmaier, D. P. Measuring surface water from space, *Review of Geophysics*, 45, RG2002, 2007, <https://doi.org/10.1029/2006RG000197>.
- [22] NASA. Surface Water and Ocean Topography (SWOT) Project: Science Requirements Document (Revision B, Document ID D-61923). Jet Propulsion Laboratory, 2018, https://swot.jpl.nasa.gov/system/documents/files/2176_2176_D-61923_SRD_Rev_B_20181113.pdf
- [23] NASA, SWOT River Products, <https://swot.jpl.nasa.gov/resources/136/swot-river-products/>, Yayın Tarihi 15 Şubat 2019, Güncelleme Tarihi 20 Şubat 2020, Erişim Tarihi Temmuz 2025.
- [24] Zhao, Y., Fu, J., Pang, Z., Jiang, W., Zhang, P., Qi, Z. Validation of Inland Water Surface Elevation from SWOT Satellite Products: A Case Study in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, *Remote Sensing*, 17, 1330, 2025.
- [25] Gehring, J., Duvvuri, B.; Beighley, E. Deriving River Discharge Using Remotely Sensed Water Surface Characteristics and Satellite Altimetry in the Mississippi River Basin, *Remote Sensing*, 14, 3541, 2022.
- [26] Nair, A. S., Soman, M. K., Girish, P., Karmakar, S., Indu, J. Evaluating SWOT water level information using a large-scale hydrology simulator: A case study over India, *Advances in Space Research*, 70 (5), 1362–1374, 2022.