

Sentinel-2 Uydu Görüntüleri ile Klorofil-a Parametresi Tahmininde Güneş Parıltısının Etkisi

(Effect of Sun Glint on Estimation of Chlorophyll-a Parameter by Sentinel-2 Satellite Imagery)

A. Filiz SUNAR¹ , Adalet DERVİŞOĞLU¹ , Nur YAĞMUR² 

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul

²Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400 Kocaeli

Geliş Tarihi (Received): 21.11.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 13.01.2023

ÖZ

Kıyı bölgesindeki nüfus yoğunluğunun ve ekonomik faaliyetlerin artması, diğer bir ifade ile denizlerin sürdürülemez kullanımı, sucul ekosistemlerin kırılgan dengesini tehdit etmekte ve kıyı ekosistemleri üzerindeki baskıları artırmaktadır. Konvansiyonel örnekleme yaklaşımlarındaki mekânsal ve zamansal sınırlamaların giderilmesine yardımcı olma potansiyeline sahip olan uzaktan algılama teknolojileri ve uydu verileri, saha bazlı yersel ölçmelerle birleştirildiğinde, su kütlesindeki değişiklikleri izlemek, değerlendirmek ve tahmin etmek için kapsamlı ve etkin bir araç olmaktadır. Ancak uydu görüntülerinde su yüzeylerinde karşılaşılan ve yüzeyden ışığın aynasal yansıması olarak bilinen güneş parıltısı, su kalite bileşenlerinin uzaktan algılanmasında ve görüntü analizinde hem bilimsel hem de mali açıdan çalışmalarda oldukça yanıltıcı ve sınırlayıcı bir faktör olmaktadır. Bu çalışmada, Gemlik Körfezi'nde iki gün arayla alınan atmosferik düzeltmesi yapılmış iki Sentinel-2 görüntülerinden birinde mevcut olan güneş parıltısının, eş-zamanlı yapılan yersel klorofil-a parametresi ölçümlerine ve oluşturulan model sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular, güneş parıltısının, uydu algılayıcısının radyometrik ölçümlerini etkilediğini ve buna bağlı olarak görüntüden suyun optik aktif özelliklerinin çıkartılmasına ve klorofil-a parametresinin doğru tahmin edilmesine (tahmin doğruluğunda $\pm$ %40-60 azalma) olumsuz yönde etki ettiğini göstermiştir. Ek olarak, kıyılarımızda ve özellikle Marmara Denizi'nde yaşanan su kirliliği ile ilgili yürütülen uzaktan algılama çalışmalarında bu konunun önemine ve bu tür görüntülerin analizlerde kullanılmamasına dikkat çekilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Güneş Parıltısı, Sentinel-2, Su Kalite Parametreleri, Model Doğruluğu.

ABSTRACT

The increase in population density and economic activities in the coastal region, in other words, the unsustainable use of the seas, threatens the fragile balance of aquatic ecosystems and increases the pressures on coastal ecosystems. Remote sensing technology and satellite data, which have the potential to help overcome the spatial and temporal limitations of conventional sampling approaches, when combined with ground-based measurements, become a comprehensive and effective tool for monitoring, evaluating and predicting changes in the water body. However, sun glint, known as the specular reflection of

light from water surfaces encountered in satellite images, is an important and misleading factor that limits the use of satellite images in the analysis of water quality components, both financially and scientifically. In this study, the effect of sun glint, which is present in one of the two atmospherically corrected Sentinel-2 images taken two days apart in Gemlik Bay, on simultaneous in-situ chlorophyll-a parameter measurements and model results was investigated. The findings obtained from the study showed that the sun glint affects the radiometric measurements of the satellite sensor, and accordingly, it negatively affects the retrieval of the optical active properties of water from the image and the correct estimation of the chlorophyll-a parameter ($\pm$ 40-60% decrease in prediction accuracy). In addition, it has been tried to draw attention to the importance of this subject in remote sensing studies related to water pollution on our coasts and especially in the Sea of Marmara, and that such images should not be used in analysis.

Keywords: Sun Glint, Sentinel-2, Water Quality Parameters, Model Accuracy.

1. GİRİŞ

Su kirliliği, hem sucul yaşam ortamlarını tehdit eden hem de kirliliğin meydana geldiği bölgelerde insan sağlığını tehdit eden global bir sorundur ve bu sorun endişe verici boyutta artmaya devam etmektedir. Ülkemizin kıyı bölgeleri ve denizlerinde de özellikle tarımsal kirliliğin yanı sıra yetersiz arıtılmış evsel atıkların (örn. kanalizasyon suları) veya karasal kökenli kirleticilerin (örn. sanayi) neden olduğu su kirliliği mevcuttur ve bunu önlemek için izleme istasyonlarında noktasal kaynakların su kalite özellikleri değerlendirilerek, sucul ekosistemler korunmaya çalışılmaktadır. Günümüzde su kalitesinin belirlenmesine ve izlenmesine yönelik olarak kamu kurum ve kuruluşları ile sivil toplum kuruluşları sınırlı kaynaklarla saha bazlı bazı çalışmalar yürütmektedir. Su kalitesinin belirlenmesinde biyolojik, fiziksel ve kimyasal gösterge olarak bulanıklık, klorofil-a, zararlı algler (su yosunu), kirlilik-tortu, (öncelikli olarak fosfor ve azot), sıcaklık, metaller, çözünmüş oksijen vb. birçok parametre ölçülmektedir. Yersel ölçmeler doğruluklu sonuçlar vermesine rağmen, su yüzeyi boyunca su kalitesinin sabit olmaması, yersel

ölçmelerin su kalite değerlendirmesinde kullanımını sınırlamaktadır. Diğer bir ifade ile, konvansiyonel yersel örnekleme yaklaşımlarındaki mekânsal ve zamansal sınırlamaların (kirlenici parametrelerin ne zaman ve nerede gerçekleştiğinin bilinmesindeki sınırlamalar) giderilmesinde büyük potansiyele sahip olan uzaktan algılama teknolojisi ve uydu verileri, saha bazlı yersel ölçmelerle entegre edildiğinde, günümüzde su kütlesindeki değişiklikleri izlemek, değerlendirmek ve tahmin etmek için kapsamlı ve etkin bir araç olmaktadır. Bu bağlamda su kullanımını etkileyen çeşitli su kalite parametrelerindeki değişimlerin uydu görüntü verileri ile izlenerek karar mekanizmalarının önceden önlem alması ve böylelikle olası ekolojik ve insan sağlığı tehdidine yönelik olumsuzlukların giderilmesine olanak sağlamaktadır.

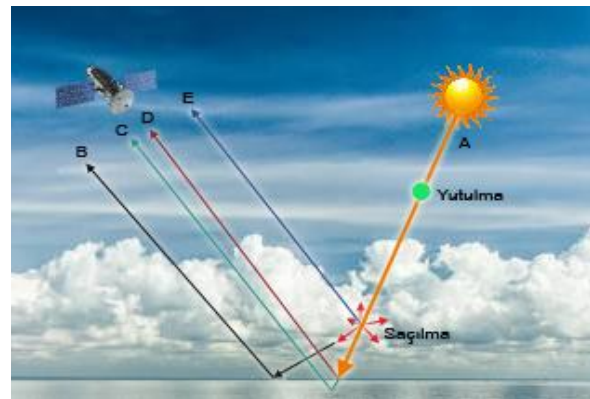
Uydu verilerinin bir su kütlesi içindeki farklı su kalite bileşenlerini ayırt etme yeteneği sınırlıdır ve uzaktan algılama ile doğrudan ölçülebilen parametreler, optik olarak aktif olma (diğer bir ifade ile Görünür-Yakın Kızılötesi (YKÖ) bölgede klorofil-a, bulanıklık vb. farklı parametrelerin spektrallarının farklılık göstermesi) özelliği taşımaktadır (Tablo 1). Ancak tüm su kalite parametreleri, örn. besin (örn. toplam azot ve fosfor) konsantrasyonları, çözünmüş oksijen seviyeleri ve mikroorganizmalar /patojenler vb. optik olarak aktif olmadıklarından mevcut uydu algılayıcıları ile doğrudan ölçülemezler. Diğer yandan suyun görünen optik özellikleri, yalnızca su kütlesine değil, aynı zamanda ışığın ve algılayıcısının geometrisine, ortama, ışık kaynağının özelliklerine de bağlıdır.

Yeryüzündeki farklı cisimlerden (örn. su cismi, bitki örtüsü, toprak) yansıtılan güneş ışınımı, uydu algılayıcısına ulaşmadan önce farklı atmosferik etkileşimlere maruz kalır (Sunar, Özkan ve Osmanoğlu, 2011; Sunar ve diğerleri, 2017). Şekil 1'de gösterildiği gibi bu etkileşimler atmosferde bulunan su damlacıkları, aerosoller ve gaz molekülleri nedeniyle güneş ışınımının saçılması, kırılması ve/veya yutulması şeklinde gerçekleşir. Işınımın sadece küçük bir kısmı atmosferden bozulmadan geçtiğinden, uydu-bazlı algılayıcılardan algılanan su cisminin optik ve biyofiziksel parametrelerini belirlemek için yeterli "Sinyal-Gürültü oranı" (kısaltılmışı SNR veya S/N olarak bilinen ve algılanan bir sinyalin seviyesini arka plandaki gürültü seviyesiyle karşılaştıran bir ölçüt olarak görüntü kalitesini de gösteren önemli bir parametre) elde etmek önemlidir.

Tablo 1. Uzaktan algılamada göz önüne alınan Optik Aktif ve Optik Aktif Olmayan su kalite parametreleri (Gholizadeh, Melesse ve Reddi, 2016).

Su Kalite Parametreleri	Kısaltma	Birim	Optik olarak Aktif Olma / Olmama
Klorofil-a	CHL-a	mg/L	Aktif
Seki Disk Derinliği	SDD	m	Aktif
Sıcaklık	T	°C	Aktif
Renkli Çözünmüş Organik Madde	CDOM	mg/L	Aktif
Toplam Organik Karbon	TOC	mg/L	Aktif
Toplam Askıda Madde	TSM	mg/L	Aktif
Bulanıklık	TUR	NTU	Aktif
Deniz Yüzeyi Tuzluluk	SSS	PSU	Aktif
Elektriksel İletkenlik	EC	µs/cm	Aktif
Çözünmüş Organik Karbon	DOC	mg/L	Aktif
Toplam Fosfor	TP	mg/L	Aktif değil
Ortofosfat	PO ₄	mg/L	Aktif değil
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	COD	mg/L	Aktif değil
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	BOD	mg/L	Aktif değil
Amonyak Azotu	NH ₃ -N	mg/L	Aktif değil

Ayrıca su yüzeyinden kaynaklanan diğer bozulmalar da (örn. güneş parıltısı - sun glint) bu gürültülerin artmasına neden olduğundan özellikle dikkate alınmalıdır. Bu bozulmalar, su kütlesinde ek yansımalarla neden olur ve algılayıcı tarafından ölçülen sinyale eklenir. Bu bağlamda, atmosferdeki moleküller, aerosoller ve su yüzeyinde oluşan yansımalarla kaynaklanan bu gürültülerin istenilen gerçek sinyalden (su cisminin ait olan) arındırılması yani atmosferik düzeltmenin yapılması gerekir (Warren ve diğerleri, 2019; Pahlevan ve diğerleri, 2022).



A: Güneş ışınımı; B: Gökyüzü parıltısı (atmosferde saçılan dağınık ışınımın su yüzeyinden yansıtılarak algılayıcıya ulaşması – sky glint); C: Atmosfer ve hava-su yüzeyi yoluyla iletilen su içinden yansıtma; D: Güneş parıltısı (Su yüzeyinin aynasal yansıtması – sun glint); E: Atmosferin tekli veya çoklu geri saçılması (Rayleigh ve aerosol).

Şekil 1. Uydu algılayıcısı tarafından algılanan sinyallerde atmosferik etkileşimler.

Açık okyanus suları (Durum 1 suları - fitoplanktonun hakim olduğu temiz okyanus suları) için atmosferik düzeltme daha kolaylıkla yapılabilmesine rağmen, iç ve kıyı suları için (Durum 2 suları - iç, nehir ağzı ve kıyıya yakın sular) atmosferik düzeltme doğruluğu daha düşük olduğundan, uydu görüntü verileri ile su kalite parametrelerinin tahmininde bu durum belirsizliklere yol açmaktadır. Diğer bir ifade ile bu durum sucül ekosistemlerinde göz önüne alınan su kalite parametrelerindeki küçük değişimlerin algılanmasını neredeyse ortadan kaldırmaktadır.

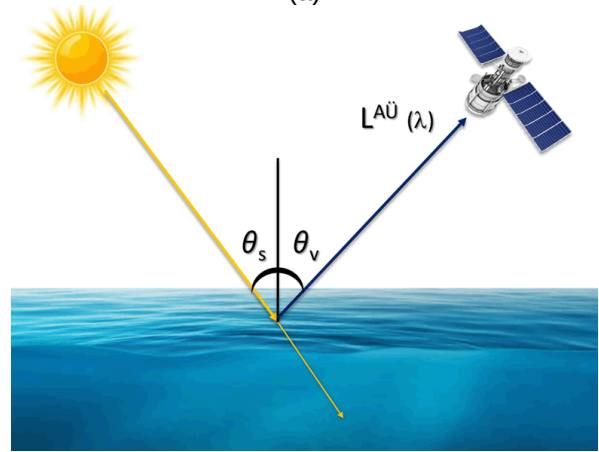
Su ile ilgili tüm uygulamalarda, su cisminin uzaktan algılama ile algılanan verilerin miktarını ve doğruluğunu sınırlayan en büyük yanıltıcı faktörlerden biri, hava-su arayüzünden doğrudan algılayıcıya iletilen güneş ışığının aynasal yansımaları ($L^{AU}(\lambda)$ - Atmosfer Üstü dalga boyuna bağlı ışınım) yani güneş parıltısıdır (Şekil 2) (Sunar, Dervisoglu ve Yagmur, 2022). Diğer bir ifade ile, su yüzeyi doğrultusu, güneş ışınlarını doğrudan algılayıcıya doğru yansıtacak şekilde olduğunda (diğer bir ifade ile θ_s güneş ve θ_v algılayıcı görüş zenit açıları eşit olması durumunda), uydu görüntülerinde güneş parıltısı (gümüşümsü açık renkte) oluşur (Şekil 2b) ve bu olay daha çok deniz yüzeyinin durumuna, güneşin konumuna ve algılayıcının bakış açısına bağlı olarak gelişir. Özellikle güneşin konumu, su yüzeyinin aydınlatılmasında gerekli ışık miktarını ve kalitesini kontrol etmek için kritik bir faktör olup, coğrafi enlem, gün ve saat ile belirlenir. Güneş parıltısının etkileri, rüzgâr hızına ve tarama boyunca piksel konumuna bağlı olarak 50° ila 100° enlem kuşağında (diğer bir ifade ile sırasıyla $25^\circ K-25^\circ G$ ila $50^\circ K-50^\circ G$) daha belirgindir (Reinke, 1995).

Görüntünün etkilenen bölgelerinde, pürüzsüz su yüzeyi gümüşü bir renk alırken, daha pürüzlü yüzey suları daha koyu renkte görünür. Ancak bazen bu parlak bölgeler, algılayıcının kaydedemediği ilginç oşinografik veya atmosferik özelliklerin de ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Şekil 3).

Su yüzeyinden algılayıcı tarafından algılanan ve ışığın aynasal yansımalarından kaynaklanan bu yansıtım, su yüzeyinden ve/veya yüzey-altı özelliklerinin gerçek geri yansıtımından çok daha büyük (özellikle YKÖ bölgede) olabilir. Bu durumda görüntü verilerinden klorofil içeriği, bentik özellikler veya batimetri gibi bilgilerin çıkartılabilmesi için, güneş parıltısı etkisini ayırabilen ve ortadan kaldırabilen (ya da oldukça azaltan) sağlam bir düzeltme algoritmasının uygulanması gerekir (Vahtmae ve Kutser, 2008).

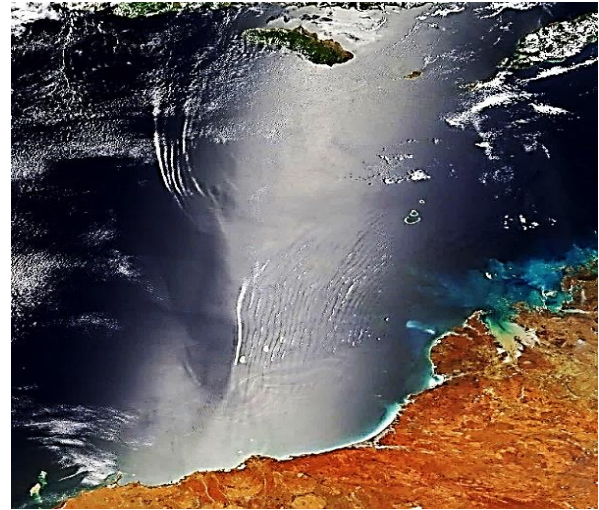


(a)



(b)

Şekil 2. Güneş ışınımının (a) durgun su yüzeyinde (b) aynasal yansıtması ("güneş parıltısı/sun glint" etkisi) (© DHA).



Şekil 3. MODIS uydu görüntüsünde güneş parıltısı nedeniyle ortaya çıkan oşinografik ve atmosferik özellikler (© NASA, Shark Körfezi, Avustralya, 27/10/2010).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi işbirliği ile ilk kez 2014-2019 döneminde başlatılan ve hâlen devam etmekte olan (2019-2022 dönemi)

"Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı (DEN-İZ)" projesinde, denizlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile kirlilik ve ekolojik durumu, toplam 120 sediman istasyonundan alınan örnekler ile rutin olarak izlenmektedir ve projenin son 3 yıllık periyodunda yeni teknolojiler ile izlenme kapsamında uydu verileri de projede kullanılmaktadır. Bu proje kapsamında Gemlik Körfezi'nde su kalite parametrelerinin mekânsal dağılımının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, 27 ve 29 Nisan 2021 tarihlerinde alınan iki Sentinel-2 görüntüsü kullanılmıştır. 27 Nisan tarihli görüntüde güneş parıltısı mevcut olduğundan, çalışmada bu etkinin eş-zamanlı yapılan su kalite ölçümlerine ve oluşturulan modellere olan etkisi incelenmiş ve etkin bir düzeltme yapılmadan, güneş parıltısı içeren görüntülerin su kalitesi modellemesinde kullanılmaması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

a. Çalışma Alanı

Gemlik Körfezi, Marmara Denizi'nin güneydoğu kesiminde yer almaktadır. 15 km genişliğinde ve 35 km uzunluğunda yarı kapalı bir havza olan Körfez'in en derin yeri -113 m dir (Şekil 4) (Yaltırak ve Alpar, 2002; Kuşçu ve diğerleri, 2009). Körfezin oşinografik özelliklerini etkileyen etkenlerin başında Marmara Denizi'nde olduğu gibi körfezde, Akdeniz ve Karadeniz kaynaklı su kütlelerinin oluşturduğu iki tabakalı akıntı yapısı mevcuttur (Balci ve Balkis, 2017).



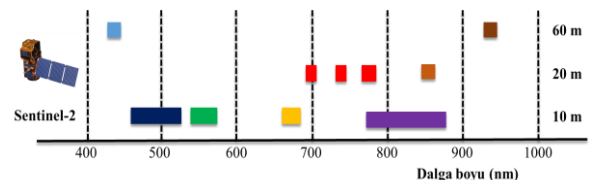
Şekil 4. Çalışma alanının konumu.

Gemlik Körfezi, günümüzde birçok farklı kirlenme kaynağı (örn. İzmit Gölü ile Gemlik Körfezi arasında bulunan Karsak Deresi'nin birçok kirlenme kaynağı ile birlikte körfeze dökülmesi, çevresindeki yoğun endüstriyel baskı nedeniyle kalıcı organik ve ağır metal kirliliği, deniz trafiği, kentsel atık sular vb.) nedeniyle antropojenik kirlilik riski ile karşı karşıyadır (Ünlü ve diğerleri, 2008).

Diğer yandan Marmara Denizi'nde ilk kez 1990'lı yıllarda ortaya çıkan ve zaman zaman periyodik olmayan aralıklarla tekrar görülsede su yüzeyinde ve derinlerde yoğun şekilde (en çok 2007 ve 2021 yıllarında) görülen mülailaın başlıca potansiyel nedenleri, yine söz konusu antropojenik etkilerin yanı sıra iklimsel değişimlerin beraberinde oluşan mikrobiyolojik faaliyetlerdir (Sunar ve diğerleri, 2022). Özellikle 2021 yılında Marmara Denizi'nde Mudanya, Gemlik Körfezi, Gebze ve çevresinde, İstanbul Anadolu Yakası kıyı kesimlerinde ve Adalar çevresinde birikmiş olan mülailaın günümüzde yüzeydeki etkisinin az olmasına karşılık, deniz dibindeki yoğunluğunun artmaya ve deniz ekosistemini tehdit etmeye devam ettiği belirtilmektedir; bu bağlamda ekolojik değişikliklerin izlenmesi ve acil deniz kirliliği eylem stratejilerinin özellikle Marmara Denizi için gerekli olduğu vurgulanmaktadır (Karadurmuş ve Sari, 2022).

b. Uydu Verileri

Günümüzde ücretsiz erişim imkânı olması nedeniyle yaygın kullanılan uydu algılayıcılarının (örn. Landsat-8 OLI, Sentinel-2 MSI) spektral ve radyometrik çözünürlüklerindeki iyileştirmeler, iç deniz, nehir ağzı veya kıyı ortamlarının biyojeokimyasal değişkenliğinin yeterli mekânsal ölçekte araştırılmasında yenilikçi olanaklar sunmaktadır. Çalışma kapsamında, kullanılan Sentinel-2 Seviye 2A uydu görüntüleri, geometrik düzeltmenin yanı sıra atmosferik düzeltmelerin de yapıldığı uydu görüntüleridir. Sentinel-2 uydu görüntüleri, üç farklı (10, 20 ve 60 m) mekânsal çözünürlüğe sahip toplam 13 spektral banttan oluşmaktadır (Şekil 5). Sentinel-2 çok spektrumlu (MSI) uyduları, 20,6° görüş alanına sahiptir ve her 10 günde bir yeryüzünü global olarak 786 km yükseklikten güneşle senkronize kutupsal bir yörüngede 290 km genişliğine sahip bir tarama alanı ile tararlar (Roy ve diğerleri, 2017).



Şekil 5. Sentinel-2 uydusunun spektral ve mekânsal çözünürlükleri.

Uydu görüntülerinde karşılaşılan güneş parıltısı problemi gidermede kullanılan en basit teknik, görüntü alımında uygun yer ve zaman seçimine dikkat edilmesidir. Örneğin SeaWiFS, CZCS gibi uydu bazlı bazı algılayıcılar, güneş

parıltısının etkisini en aza indirmek için nadirden 20° eğik gözlem yapabilmelerine karşılık, Landsat ve Sentinel-2 gibi yaygın kullanılan uydularda su yüzeyindeki güneş parıltısının tanımlanması veya önlenmesi konusu, görev misyonlarının öncelikle kara gözlemleri olması nedeniyle genelde ihmal edilmektedir (Kay, Hedley ve Lavender, 2009). Genel olarak, doğrudan güneş parıltısından kaçınmak ve gökyüzü parıltısı yansımalarını önemli ölçüde azaltabilmek için okyanus yüzeyinin belirli bir geometriden, yani nadirden 45° ve Güneş düzleminden 135°'lik bir açıda görüntülenmesinin (Güneşe göre 135° azimut açısı) gerektiği literatür çalışmalarında önerilmektedir (Fougnie, Frouin, Lecomte ve Deschamps, 1999; Shahabi, 2020).

Şekil 6'da çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerinin güneş parıltısına etki eden meta verilerinin (Zenit ve Azimut açıları) birbirine yakın olduğu ve çalışma alanının bu etkinin daha fazla olduğu 50°K–50°G enlem kuşağında yer aldığı görülmektedir. Özellikle zenit açısının (θ) 40°'den küçük olduğunda, güneş parıltısı etkisinin büyük ölçüde Güneşe-bakış geometrisine ve rüzgâr yönüne göre değiştiği göz önünde bulundurulduğunda, çalışmada kullanılan verilerde daha çok rüzgârın etkili olduğu öngörülmektedir (Şekil 6c) (Shahabi, 2020).

c. Meteorolojik Veriler

Hem güneş hem de gökyüzü parıltıları dahil olmak üzere su yüzeyinden toplam yansıtma miktarı, su yüzeyinin pürüzlülüğüne (rüzgâr doğrultusu ve hızı) bağlı olarak değişeceğinden, çalışmada her iki tarih için meteorolojik veriler de göz önüne alınmıştır (Shahabi, 2020). Çalışmada kullanılan iki yakın tarihli Sentinel-2 uydu görüntüleri küçük zenit açılarına ($\theta < 40^\circ$) sahip olduğundan, 27 Nisan tarihli görüntüdeki güneş parıltısının oluşumunda özellikle düşük rüzgâr hızının etkili olduğu görülmektedir (Şekil 7). Ancak, rüzgârın çok değişken olduğu ve uydu geçişi sırasında piksel bazında tam olarak belirlenemediği de göz önünde tutulmalıdır (Doerffer ve diğerleri, 2008).

ç. Yersel Ölçümler

Su numuneleri, 27 Nisan 2021 ve 29 Nisan 2021 tarihlerinde sırasıyla 15 nokta ve 16 nokta olmak üzere toplam 31 noktadan alınmıştır. Su numuneleri, TÜBİTAK MAM tarafından her noktadan farklı derinliklerde olmak üzere (5 metreye kadar 1 metre aralıklarla) 5 kez alınmıştır. Ancak, optik uydu görüntülerinin suya penetrasyonu temiz suda maksimum 5-10 metre derinliğe kadar olduğundan, çalışma kapsamında

Durum 2 suları için yüzey suyuna karşılık gelen 1 metre derinlikten alınan su numune ölçümleri dikkate alınmıştır.



(a)

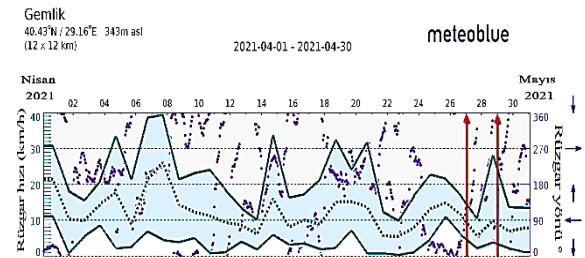


(b)

Tarih	Sentinel-2 Görüntüsü Meta Verisi	
	Zenit Açısı (°)	Azimut Açısı (°)
27 Nisan 2021	28.663107	152.237658
29 Nisan 2021	29.018304	147.281063

(c)

Şekil 6. Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntüleri. (a) 27 Nisan 2021. (b) 29 Nisan 2021. (c) Kullanılan görüntülerin meta verileri.



Şekil 7. Çalışmada kullanılan iki görüntünün alındığı tarihlerde (kırmızı ok ile işaretlenen) rüzgâr hızı ve yönü (©Meteoblue).

3. YÖNTEM VE BULGULAR

Günümüzde su ile ilgili birçok uygulamada (açık okyanus ve kıyı gözlemlerinde) çeşitli güneş parıltısı düzeltme yöntemleri geliştirilmiştir. Her durumda ilke, algılayıcıya ulaşan ışınım miktarında güneş parıltısının katkısını tahmin etmek ve ardından bunu alınan sinyalden çıkarmaktır (Kay ve diğerleri, 2009). Genel olarak kullanılan yöntemler, Durum 1 (açık okyanus, temiz sular) ve Durum 2 (kıyı ve iç denizler, daha kirli sular) suları için geliştirilmiştir:

1) İlk kategorideki yöntemler, 100m – 1km mekânsal çözünürlükteki açık okyanus yüzeylerini kapsayan uydu görüntüleri için kullanılmaktadır. Deniz yüzeyi için geliştirilen istatistiksel modeller (örn., Cox ve Munk, 1954), rüzgâr hızına ve yönüne bağlı olarak deniz yüzeyinin güneş parıltısına neden olacak şekilde yönelme olasılığını hesaplamada kullanılır (Cox, 1954; Cox ve Munk, 1954). Bu olasılık daha sonra belirli bir rüzgâr vektörü için, güneş ve algılayıcı konumuna göre parıltı miktarını tahmin etmek için kullanılır. Bu yöntemin farklı varyasyonları, birçok operasyonel okyanus yüzeyi algılayıcıları (örn. MERIS, MODIS) için kullanılmış olsa da, yalnızca orta düzeydeki parıltıyı düzeltmede başarılı olduğu, diğer bir ifade ile çok fazla parıltı içeren alanlarda büyük hataların saptandığı belirtilmektedir (Kay ve diğerleri, 2009).

2) Diğer kategorideki yöntemler ise daha çok 1-10 m mekânsal çözünürlüğe sahip kıyı alanlarını kapsayan görüntülerde kullanılmaktadır. Burada alınan sinyaldeki parıltı miktarının bir göstergesi olarak YKÖ verileri kullanılır. Bunun nedeni ise, spektrumun bu bölgesinde sudan ayrılan yansıtmanın ihmal edilebilir olduğu ve bu nedenle atmosferik düzeltmeden sonra kalan herhangi bir YKÖ sinyalinin güneş parıltısından kaynaklanacağı yönündeki varsayımın geçerli olmasıdır (Kay ve diğerleri, 2009; Harmel ve diğerleri, 2018). Görüntüdeki derin su alanlarında spektrum incelenerek, YKÖ değerleri ile parıltı içeren yansıtma değerleri arasında ilişki kurulmaya çalışılır. Bu varsayım, batimetri ile veri çıkartımında veya habitat sınıflandırmasında geçerli olsa da, çok sığ ve/veya bulanık sularda veya bitki örtüsünün yüzeyde olduğu yerlerde su yüzeyinden ayrılan yansıtmanın YKÖ bölgesinde ihmal edilebilir olduğu varsayımı geçerli değildir (Kay ve diğerleri, 2009).

Kay ve diğerlerinin (2009) yaptığı çalışmada Durum 1 ve Durum 2 suları için güneş parıltısının düzeltilmesinde kullanılan yöntemler tablo olarak özetlenmiştir.

a. Atmosferik Düzeltme

Uydu görüntülerine uygulanan ön-işleme adımlarından birisi olan atmosferik düzeltmede, toz, su buharı vb. gibi atmosferdeki parçacıkların görüntüdeki farklı Yeryüzü cisimlerinin yansıtımına olan etkisi minimuma indirilerek düzeltilmiş bir görüntünün elde edilmesi amaçlanır. Bant oranına veya fark indekslerine dayalı parametre tahmin algoritmalarının kullanılması, atmosferin neden olduğu etkiyi biraz azaltsa da, su uygulamalarında daha kapsamlı bir düzeltme algoritmasının uygulanması gereklidir. Bu bağlamda ilk adım olarak, dijital bant değerleri, yansıtma değerlerine dönüştürülür ve ardından güneş parıltısı düzeltmesi kara alanı maskeleyesi yapılarak uygulanır (Anggoro, Siregar ve Agus, 2016). Yazarların yaptığı bir önceki çalışmada, bu çalışmada kullanılan aynı görüntü setlerine literatürde yaygın kullanılan dört farklı atmosferik düzeltme yöntemi uygulanmış ve performansları 4 farklı istatistiksel ölçüt ile karşılaştırılmıştır (Yagmur, Dervisoglu ve Sunar, 2022). Yapılan çalışmanın bulguları, Copernicus tarafından Sentinel-2 görüntülerine uygulanan Seviye 2A düzeltmesinin yeterli doğruluğa sahip olduğunu gösterdiğinden, bu çalışmanın diğer işlem adımlarında Seviye 2A veri seti kullanılmıştır.

b. Güneş Parıltısı Açısı Hesabı

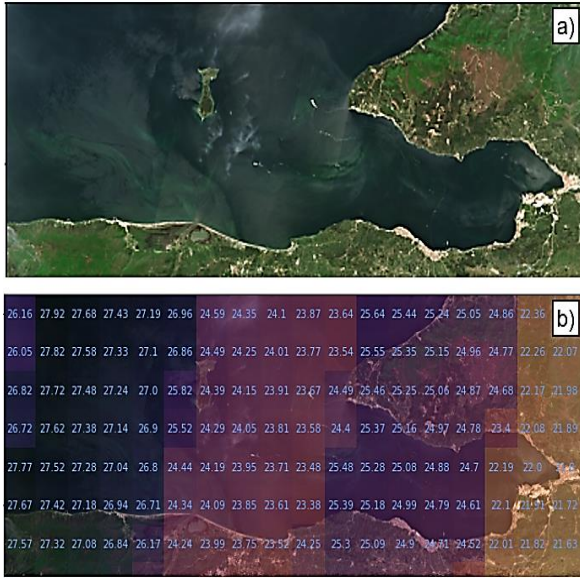
Su yüzeyinde güneş parıltısının oluşup oluşmadığını tahmin etmek için bu çalışmada Giglio ve diğerleri (2003) tarafından önerilen bir yaklaşım esas alınmıştır. Bu yaklaşımda, görüntünün elde edildiği anda zenit ve azimut açıları arasındaki ilişki göz önüne alınarak, aşağıda verilen Eşitlik (1) ile güneş parıltısının varlığı kontrol edilmiştir (Cordeiro, 2021).

$$\cos \theta_{gp} = \cos \theta_v \cos \theta_s - \sin \theta_v \sin \theta_s \cos \phi \quad (1)$$

Burada v, s ve gp alt simgeleri sırasıyla görüş, güneş ve güneş parıltısını, θ zenit açısını ve ϕ güneş ve algılayıcı arasındaki azimut açısı farkını ifade etmektedir. Sonuçta güneş parıltısı açısı değeri θ_{gp} , $\text{Arccos}(\theta_{gp})$ ile elde edilir.

Zenit ve azimut olarak verilen görüş ve güneş açısı değerleri, uydu görüntülerinin metadata dosyalarında (GRANULE alt dosyasında MTD_TL.xml) yer almaktadır. 27 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü için güneş parıltısı açılarının hesaplanmasında, görüntünün meta dosyasından alınan zenit ve azimut açısı değerleri, Eşitlik 1'de yerine konulmuş ve değerler Şekil 8'de gösterilmiştir.

Eşitlik (1) ile hesaplanan parıltı açısı, güneşin konumunun bir göstergesi olduğundan, parıltı açısı değeri ne kadar küçükse, algılayıcı ve güneşin o kadar aynı hizada (doğrultuda) olduğunu göstermektedir; öte yandan bu durum güneş parıltısı oluşma olasılığının da o kadar yüksek olacağı anlamına gelmektedir (Cordeiro, 2021). Bu doğrultuda, Gemlik Körfezi'nin en doğusunda kalan iç kısımda ve körfezin Orta Marmara ile birleştiği batı kısmında güneş parıltısı açılarının düşük olması, görüntüde bu alanlarda belirgin olan güneş parıltısını doğrulamaktadır.



Şekil 8. Güneş parıltısı açısının tahmini. (a) 27 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü (güneş parıltısını daha belirginleştirmek için görüntü radyometrisi değiştirilmiştir). (b) Hesaplanan güneş parıltısı açılarının görüntü üzerindeki dağılımı.

c. Yansıtma Değerlerindeki Değişim

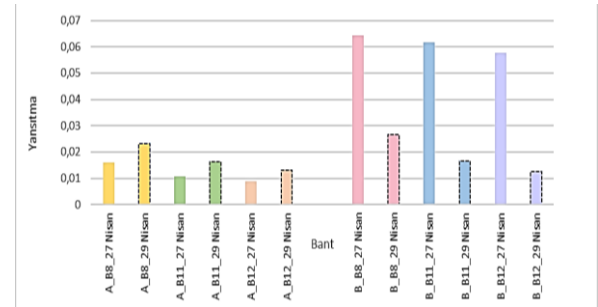
Literatür çalışmalarındaki görüntü analizlerinde algılanan sinyaldeki parıltı miktarının bir göstergesi olarak daha çok YKÖ bant verileri kullanılmasına rağmen, özellikle diğer spektral bantlara olan etkisini göstermek için körfezde iki farklı profil (A profili güneş parıltısının olmadığı bölge; B profili güneş parıltısının olduğu bölge) seçilerek, yansıtma değerleri her iki tarihli uydu görüntüsü için çıkartılmıştır (Şekil 9 ve Şekil 10).

A ve B profilleri için her iki tarihteki Yakın ve Kısa dalga kızılötesi bantların (Bant 8, Bant 11 ve Bant 12) ortalama yansıtma değerlerindeki farklılıklar Şekil 10'da verilmektedir. 27 Nisan tarihli görüntüde güneş parıltısının olduğu B profilinde her üç bantta da spektral yansıtma

değerlerindeki artış çok belirgindir. Şekil 10'da görüldüğü gibi, güneş parıltısının olmadığı A profilinin alındığı bölgede, her iki tarihteki yansıtma değerleri birbirlerine oldukça benzerdir ve değerler 0.010-0.023 aralığında değişmektedir. Diğer yandan, güneş parıltısının olduğu B profilinde ise 29 Nisan tarihli görüntü için değerler, A profilindeki değerlerle uyumludur ancak 27 Nisan tarihli görüntüsünde parıltı nedeniyle spektral yansıtma değer aralığının belirgin bir şekilde arttığı (0.05-0.06) görülmektedir.



Şekil 9. Gemlik Körfezi'nde seçilen iki farklı profilin (A ve B) 27 Nisan tarihli Sentinel-2 Seviye 2A görüntüsündeki konumları.



Şekil 10. A ve B profillerinin her iki tarihteki görüntüdeki Yakın ve Kısa dalga kızılötesi yansıtma değerlerindeki farklılıklar.

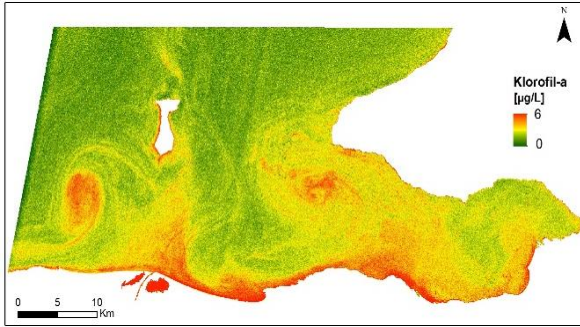
ç. Model Oluşturma ve Korelasyon Analizi

Literatürdeki benzer çalışmalarda uygulandığı şekilde, bu çalışmada da ilk olarak uydu algılayıcısı tarafından algılanan sudan ayrılan spektral yansıtma değerleri (farklı bant veya bant kombinasyonlarından elde edilen) ile yersel su kalitesi ölçümleri arasında deneysel bir ilişkiye (doğrusal veya doğrusal olmayan) dayanan uygun regresyon modelleri oluşturulmuş ve sonrasında modellerin doğruluğunu değerlendirmek için farklı istatistiksel ölçütler kullanılmıştır (Chang, Daranpob, Yang ve Jin, 2009). En son adımda ise yeterli/öngörülen korelasyonun elde edildiği

model, tüm görüntü piksellerine uygulanarak ilgilenilen su kalitesi parametresinin mekânsal dağılımı haritalanmıştır.

Genel olarak deneysel modellerin oluşturulması nispeten kolaydır; ancak uygulama genellikle belirli bir çalışma alanı ve/veya belirli bir algılayıcı ile sınırlı olmaktadır (Giardino ve diğerleri, 2014). Diğer bir ifade ile lokal ölçeğe, deneysel modelleme, su cisminin sahaya özgü optik niteliklerini açıklar, ancak mekânsal veya zamansal ölçek arttıkça, optik olarak homojen olmayan su kütleleri ve değişken atmosferik koşullar, parametrelerin tahminini karmaşılaştırır (Topp, Pavelsky, Jensen, Simard ve Ross, 2020).

Güneş parıltısının olmadığı 29 Nisan 2021 tarihli uydu görüntüsü ve 11 noktadan alınan yersel ölçmeler ile lineer ve polinom regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Korelasyonu en yüksek olan model (B3/B2) tüm görüntüye uygulanarak, Gemlik Körfezi'nde klorofil-a parametresinin mekânsal dağılımı gösterilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. 29 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 görüntüsünde klorofil-a parametresinin mekânsal dağılımı.

Klorofil-a yoğunluğunun daha çok güney kısımda yer alan kıyı çizgisi boyunca (özellikle Simav Çayı'nın Marmara Denizi'ne döküldüğü kısım ve Mudanya bölgesinde) ve Körfez çıkışı ile görüntünün en batı kısmında musilajın yoğunluğuna paralel olarak artış gösterdiği görülmektedir.

d. Doğruluk Analizi

Uzaktan algılama ile elde edilen farklı konsantrasyonlardaki su kalite bileşenlerinin doğruluğu, genel olarak tahmin edilen su kalite parametresine, çalışma alanına ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Doğruluk aynı zamanda, su kalite bileşeninin konsantrasyonuna, sudaki diğer optik aktif parametrelere, uydu algılayıcısının su uygulamasına yönelik uygun ve yeterli spektral

çözünürlüğüne, uygulanan atmosferik düzeltme yöntemine ve yersel örnekleme veri setinin doğruluğuna ve temsil edilebilirliğine bağlı olarak da değişmektedir (IOCCG, 2018). Bu bağlamda, oluşturulan deneysel modellerin doğruluğunun değerlendirilmesi için farklı istatistiksel ölçütler kullanılmaktadır. Tablo 2'de yaygın olarak kullanılan ölçütler ve kriterler verilmektedir (Sagan ve diğerleri, 2020; Prabhakaran, t.y.). Tabloda verilen doğruluk parametreleri ile klorofil-a parametresi için en yüksek korelasyon değerini gösteren modelin doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 3).

Tablo 2. Doğruluk değerlendirme ölçütleri ve kriterler (Sagan ve diğerleri, 2020; Prabhakaran, t.y.).

Doğruluk ölçütü	Tanım	Kriter
R-kare (R^2)	Bir değişkenin varyansının ikinci değişkenin varyansını ne ölçüde açıkladığını gösterir.	Ne kadar yüksekse o kadar iyi (0.70)
Düzeltilmiş (R^2)	Modeldeki tahmin edicilerin sayısı için ayarlanmış R^2 'nin değiştirilmiş bir versiyonudur ve R^2 'den her zaman daha düşük değer verir.	Ne kadar yüksekse o kadar iyi
F istatistiği	İki varyansın veya teknik olarak iki ortalama karenin oranıdır.	Ne kadar yüksekse o kadar iyi
t istatistiği ve p	t testini ifade etmektedir; p ise güven aralığını ifade etmektedir ve 0.05'ten büyük olmamalıdır.	p = 0.05 için 1.96'dan büyük olmalı
Standart Hata	Veri noktalarının regresyon doğrusundan uzaklaştığı ortalama mesafeyi gösteren mutlak bir ölçüdür.	Sıfıra ne kadar yakınsa o kadar iyi
Karesel Ortalama Hata (KOH)	Regresyon sonucunda tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki hata miktarıdır.	Ne kadar düşükse o kadar iyi
Ortalama Mutlak Hata (OMH)	Regresyon sonucunda tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farktır.	Ne kadar düşükse o kadar iyi

İç ve kıyı sularının optik özellikleri farklı su kütleleri için değişken olup, bu tip sularda uygun deneysel modellerin geliştirilmesini ve doğruluğunu etkilemektedir. Diğer yandan optik aktif olmayan parametrelerin (örn. Fosfor, Azot),

Klorofil-a, Toplam Askıda Madde ve Renkli Çözünmüş Organik Madde (Colored Dissolved Organic Matter - CDOM) gibi optik aktif parametrelerle yüksek oranda ilişkili olabileceği literatürdeki çalışmalarda gösterilmiştir (Sun ve diğerleri, 2022; Wu ve diğerleri, 2010; Isenstein ve Park, 2014).

Tablo 3'te verilen tekli deneysel regresyon modelinin sonuçlarına bakıldığında, Sentinel-2 MSI verileri ile korelasyonun ve doğruluk ölçütlerinin kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmekle beraber görüntüde belirgin olan farklı yoğunluktaki musilajın etkisinin sonuçlarda beklenilenden daha düşük R^2 nin elde edilmesine neden olduğu düşünülmektedir.

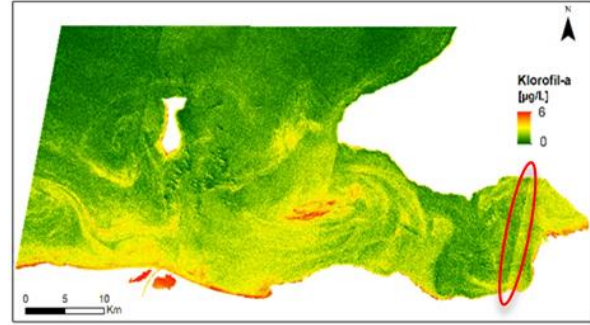
Tablo 3. 29 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 görüntüsünde klorofil-a parametresi için kullanılan modelin doğruluk değerlendirmesi.

29 Nisan 2021		
		Klorofil-A
		Model B3/B2
Doğruluk ölçütleri	R^2	0,668
	Düzeltilmiş R^2	0,631
	F istatistiği	18,095
	t	4,254
	p	0,002
	Standart Hata	1,272
	KOH	1,150

Literatürde, seçilen modellerin çok kısa zaman farklılıklarının olduğu (örn. $\pm 2-3$ gün) yakın tarihli benzer koşullarda alınmış diğer görüntülere uygulanan çalışmalar mevcuttur (Erkkilä ve Kalliola, 2004; Tebbs, Remedios ve Harper, 2013; Bonansea, Rodriguez, Pinotti ve Ferrero, 2015). Bu bağlamda, 29 Nisan 2021 tarihli uydu görüntüsü ile eş-zamanlı yersel ölçümlerle klorofil-a parametresi için oluşturulan tekli deneysel lineer regresyon modeli, diğer yakın tarihli (27 Nisan 2021) uydu görüntüsüne uygulanmış (Şekil 12) ve Tablo 4'te gösterildiği gibi güneş parıltısının model doğruluğunu düşürdüğü saptanmıştır.

Şekil 12'de gösterilen mekânsal dağılımda, klorofil-a yoğunluğunun 29 Nisan görüntüsüne nazaran daha az yoğun olduğu görülmektedir. Ancak 27 Nisan tarihli görüntüde de musilajın

yoğun olduğu dikkate alındığında, iki görüntünün klorofil-a dağılımlarındaki farklılıklara güneş parıltısının etki ettiği sonucuna varılmaktadır. Dağılım haritasında özellikle güneş parıltısının olduğu körfezin iç bölgesindeki keskin değişim, çizgisel olarak göze çarpmaktadır (kırmızı ile işaretli bölge).



Şekil 12. 27 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 görüntüsünde güneş parıltısı içeren alanda klorofil-a parametresinin mekânsal dağılımı.

Tablo 4. 27 ve 29 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 görüntülerinde kullanılan aynı deneysel model ile klorofil-a parametresinin tahmin doğruluğu.

Klorofil-a (µg/L)			
Görüntü tarihi	29 Nisan 2021	27 Nisan 2021	
Seçilen alan	Tüm görüntü	Güneş parıltısı içeren	Tüm görüntü
Validasyon örnek #	5	11	15
KOH	1.188	1.880	2.053
OMH	1.016	1.410	1.653

Model doğruluğunun irdelenmesinde 27 Nisan 2021 tarihinde alınan eş-zamanlı yersel klorofil-a ölçümleri kullanılmıştır. Körfez boyunca toplam 15 noktadan alınan Klorofil-a ölçümlerinin 11 örnekleme noktası güneş parıltısı içeren alanda yer aldığından, doğruluk değerlendirmesi tüm alan ve güneş parıltısı içeren alan olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilmiştir. 29 Nisan 2021 tarihli görüntüde klorofil-a parametresi tahmin doğruluğu değerlendirmesinin yansız olması için model oluşturulmasında kullanılmayan 5 ölçüm noktası göz önüne alınmıştır (Tablo 4). Her iki görüntü tarihi için model tahmin performansının ölçümünde yaygın kullanılan Karesel Ortalama Hata ve Ortalama Mutlak Hata ölçütleri kullanılmıştır. Seçilen bu iki ölçüt değeri, güneş parıltısı içeren görüntüde daha yüksek elde edilmiş olmasına rağmen, her iki görüntüde gözlenen musilaj yoğunluğu nedeniyle su

kalitesinin karmaşıklığının sonuçların doğruluğunu etkileyeceği göz ardı edilmemelidir.

4. SONUÇLAR

Günümüzde gerek iklim dengesi ve biyolojik çeşitlilik, gerekse diğer ekosistemler ile bütüncül etkileşimde olmaları nedeniyle yaşamsal öneme sahip doğal kaynakların başında gelen sucul ekosistemler, özellikle kıyı bölgelerindeki nüfus yoğunluğunun ve ekonomik faaliyetlerin artması sonucu büyük tehdit ve baskı altındadır. Bu bağlamda özellikle geçtiğimiz 50 yıl boyunca yapılan çalışmalar, uzaktan algılama teknolojisinin dinamik sucul ekosistemlerin yerel, bölgesel ve global mekânsal ölçeklerde izlenmesinde ve kalitesi ve işleyişi hakkında bilgi çıkartılmasında en etkili araçlardan biri olduğunu göstermiştir. Özellikle ücretsiz erişilebilen yeni nesil orta mekânsal çözünürlüklü (örn. Sentinel-2 ve Landsat-8 uyduları, 10-30m mekânsal çözünürlük) yer gözlem uydu verilerinin iç/kıyı suları kalite izlemesine yönelik kullanımının yaygınlaşması, operasyonel uydu-bazlı su kalite izleme çalışmalarının hız kazanmasına ve konuyla ilgili bilimsel çalışmaların sayısının artmasına neden olmuştur. Yapılan tüm çalışmalarda ana hedef, suyun optik aktif özelliklerinin belirlenmesi ve su kalite parametrelerinin uydu görüntüleri ile tahmin edilebilmesi için sudan ayrılan yansıtma değerinin algılayıcı tarafından doğruluklu ölçülmesidir; ancak dağılımı azimut ve zenit açılarına ve su yüzeyinin pürüzlülüğüne bağlı olan ve görüntü kalitesinin yanı sıra bilgi kaybına da yol açan güneş parıltısının suyun gerçek yansıtımına olan katkısının/etkisinin uygun bir düzeltme işlemi ile giderilmesi/azaltılması gereklidir.

Ancak atmosferin gelen güneş ışınımıyla olan etkileşimini azaltmak için uydu görüntülerine uygulanan atmosferik düzeltme yöntemlerinde bazı sınırlamaların olması ve/veya rutin olmaması, günümüzde su kalite bileşenlerinin tahmin doğruluğunu olumsuz etkilemektedir. Bu amaca yönelik yapılan bu çalışmadan elde edilen bulgular, iki gün arayla alınan ve Seviye 2A olarak atmosferik düzeltmesi yapılmış iki Sentinel-2 görüntüsünden birinde var olan güneş parıltısının, uydu algılayıcısının radyometrik ölçümlerine etki ettiğini ve bunun sonucunda görüntüden suyun optik aktif özelliklerinin çıkartılmasını ve klorofil-a parametresinin doğru tahmin edilmesini (tahmin doğruluğunu $\pm$ %40-60 azalttığı) olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir.

Gelecekte hiç kuşkusuz güneş parıltısı düzeltilmesine yönelik çeşitli su kütleri için farklı zaman, konum ve akış koşullarında yapılacak yeni çalışmalarla geliştirilecek genelleştirilmiş modeller

ve/veya biyo-optik yöntemler, mevcut ve gelecekteki uydu misyonlarından daha doğruluklu verilerin alınmasını ve böylelikle sucul ekosistemlerin daha güvenli izlenmesini ve analiz edilebilmesini sağlayacaktır. Ancak henüz bu konu geliştirilme aşamasında olduğundan, bu çalışmanın sonuçları, hem bilimsel hem de mali açıdan (ticari uydu firmalarından görüntü satın alımının pahalı olması) oldukça yanıltıcı ve sınırlayıcı bir faktör olan güneş parıltısı içeren uydu görüntülerine dikkat çekmek ve bu görüntülerin etkin bir düzeltme yapılmadan su kalite bileşenlerinin modelleme çalışmalarında kullanılmaması gerektiğini vurgulamak açısından çok önemlidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı/ÇED, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü/Laboratuvar, Ölçme Daire Başkanlığı tarafından yürütülen ve TÜBİTAK-MRC koordinatörlüğünde yürütülen "Entegre Deniz Kirliliği İzleme 2020-2022 Programı" ile desteklenmiştir.

ORCID

A. Filiz SUNAR 
<https://orcid.org/0000-0001-9438-1171>

Adalet DERVİŞOĞLU 
<https://orcid.org/0000-0001-7455-4282>

Nur YAĞMUR 
<https://orcid.org/0000-0002-5915-6929>

KAYNAKLAR

- Anggoro, A., Siregar, V.P. ve Agus, S.B. (2016). The effect of sunglint on benthic habitats mapping in Pari Island using Worldview-2 imagery. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 487-495. doi:10.1016/j.proenv.2016.03.101
- Balci, M. ve Balkis, N. (2017). Assessment of phytoplankton and environmental variables for water quality and trophic state classification in the Gemlik Gulf, Marmara Sea (Turkey). *Marine Pollution Bulletin*, 115(1-2), 172-189. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.12.007
- Bonansea, M., Rodriguez, M.C., Pinotti, L. ve Ferrero, S. (2015). Using multi-temporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina). *Remote Sensing of Environment*, 158, 28-41. doi:10.1016/j.rse.2014.10.032

- Chang, N.B., Daranpob, A., Yang, J. ve Jin, K.R. (2009). A comparative data mining analysis for information retrieval of MODIS images: Monitoring lake turbidity changes at Lake Okeechobee, Florida. *Journal of Applied Remote Sensing*, 3, 033549. doi:10.1117/1.3244644
- Cordeiro, M. (2021). How to Implement Sunlint Detection for Sentinel 2 Images in Python using Metadata Info. Erişim Adresi: <https://towardsdatascience.com/how-to-implement-sunglint-detection-for-sentinel-2-images-in-python-using-metadata-info-155e683d50>
- Cox, C. (1954). Statistics of the sea surface derived from sun glitter. *Journal of Marine Research*, 13 198-227.
- Cox, C. ve Munk, W. (1954). Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun's glitter. *Josa*, 44(11), 838-850. doi:10.1364/JOSA.44.000838
- Doerffer, R., Schiller, H., Fischer, J., Preusker, R. ve Bouvet, M. (2008). The impact of sun glint on the retrieval of water parameters and possibilities for the correction of MERIS scenes. In Proceedings of the 2nd MERIS/(A) ATSR User Workshop, ESA SP-666, Frascati, Italy.
- Erkkilä, A. ve Kalliola, R. (2004). Patterns and dynamics of coastal waters in multi-temporal satellite images: support to water quality monitoring in the Archipelago Sea, Finland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(2),165-177. doi:10.1016/j.ecss.2003.11.024
- Fougnie, B., Frouin, R., Lecomte, P. Deschamps, P.Y. (1999). Reduction of skylight reflection effects in the above-water measurements of diffuse marine reflectance, *Applied Optics*, 38, 3844–3856. doi:10.1364/AO.38.003844
- Gholizadeh, M.H., Melesse, A.M. ve Reddi, L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16(8), pp. 1298–1306. doi:10.3390/s16081298
- Giardino, C., Bresciani, M., Cazzaniga, I., Schenk, K., Rieger, P., Braga, F., ... Brando, V.E. (2014). Evaluation of multi-resolution satellite sensors for assessing water quality and bottom depth of Lake Garda. *Sensors*, 14(12), 24116-24131. doi:10.3390/s141224116
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O. ve Kaufman, Y.J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87 (2), 273–282. doi:10.1016/S0034-4257(03)00184-6.
- Harmel, T., Chami, M., Tormos, T., Reynaud, N. ve Danis, P.A. (2018). Sunlint correction of the multi-spectral instrument (MSI) - SENTINEL-2 imagery over Inland and sea waters from SWIR bands. *Remote Sensing of Environment*, 204, 308–321. doi:10.1016/j.rse.2017.10.022.
- IOCCG. (2018). Earth observations in support of global water quality monitoring. Technical Report. October 2018. doi:10.25607/OBP-113.
- Isenstein, E.M. ve Park, M.H. (2014). Assessment of nutrient distributions in Lake Champlain using satellite remote sensing. *J. Environmental Science*, 26, 1831–1836. doi:10.1016/j.jes.2014.06.019
- Karadurmuş, U. ve Sari, M. (2022). Marine mucilage in the Sea of Marmara and its effects on the marine ecosystem: mass deaths. *Turkish Journal of Zoology*, 46, 93-102. doi:10.3906/zoo-2108-14
- Kay, S., Hedley, J.D. ve Lavender, S. (2009). Sun glint correction of high and low spatial resolution images of aquatic scenes: A review of methods for visible and near-infrared wavelengths. *Remote Sensing*, 1(4), 697-730. doi:10.3390/rs1040697
- Kuşçu, I., Okamura, M., Matsuoka, H., Yamamori, K., Awata, Y. ve Özalp, S. (2009). Recognition of active faults and stepover geometry in Gemlik Bay, Sea of Marmara, NW Turkey. *Marine Geology*, 260, 90-101. doi:10.1016/j.margeo.2009.02.003
- Pahlevan, N., Smith, B., Alikas, K., Anstee, J., Barbosa, C., Binding, C., ... Fernandez, V. (2022). Simultaneous retrieval of selected optical water quality indicators from Landsat-8, Sentinel-2, and Sentinel-3. *Remote Sensing of Environment*, 270, 112860. doi:10.1016/j.rse.2021. 112860
- Prabhakaran, S. (t.y.). Linear Regression. Erişim Adresi: <http://r-statistics.co/Linear-Regression.html>

- Reinke, D.L. (1995). Image interpretation, Chapter in satellite meteorology, Editor(s): Stanley Q. Kidder, Thomas H. Vonder Haar, Academic Press, 145-181.
- Roy, D.P., Li, J., Zhang, H.K., Yan, L., Huang, H. ve Li, Z. (2017). Examination of Sentinel-2A multi-spectral instrument (MSI) reflectance anisotropy and the suitability of a general method to normalize MSI reflectance to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 199, 25-38. doi:10.1016/j.rse.2017.06.019
- Sagan, V., Peterson, K.T., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Sloan, J., Greeling, B.A., ... Adams, C. (2020). Monitoring inland water quality using remote sensing: potential and limitations of spectral indices, bio-optical simulations, machine learning, and cloud computing. *Earth-Science Reviews*, 205, 103187. doi:10.1016/j.earscirev.2020.103187
- Shahabi, S. (2020). Effect of wind direction on sea surface reflectance. University of North Dakota, MSc. Thesis, 3297.
- Sun, X., Zhang, Y., Shi, K., Zhang, Y., Li, N., Wang, W., ... Qin, B. (2022). Monitoring water quality using proximal remote sensing technology. *Science of the Total Environment*, 803, 149805. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149805
- Sunar, F., Özkan, C. ve Osmanoğlu, B. (2011). *Uzaktan Algılama*, 4. Basım, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir.
- Sunar, F., Özkan, C., Ok, A.Ö., Osmanoğlu, B., Avcı, Z.D.U. ve Berberoğlu, S. (2017). *Dijital Görüntü İşleme*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Sunar, F., Dervisoglu, A., Yagmur, N., Colak, E., Kuzyaka, E. ve Mutlu, S. (2022). How efficient can Sentinel-2 data help spatial mapping of mucilage event in the Marmara Sea, XXIV ISPRS Congress, Haziran 6-11, Nice, Fransa.
- Sunar, F., Dervisoglu, A. ve Yagmur, N. (2022). Uydu görüntülerinde su yüzeyindeki güneş parıltısının görüntü analizlerine etkisi, VIII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2022), 17-19 Kasım 2022, Ankara.
- Tebbs, E.J., Remedios, J.J. ve Harper, D.M. (2013). Remote sensing of chlorophyll-a as a measure of cyanobacterial biomass in Lake Bogoria, a hypertrophic, saline-alkaline, Flamingo Lake, using Landsat ETM+. *Remote Sensing of Environment*, 135, 92-106. doi:10.1016/j.rse.2013.03.024
- Topp, S.N., Pavelsky, T.M., Jensen, D., Simard, M. ve Ross, M.R.V. (2020). Research trends in the use of remote sensing for inland water quality science: Moving towards multidisciplinary applications. *Water*, 12, 169. doi:10.3390/w12010169
- Ünlü, S., Topçuoğlu, S., Alpar, B., Kırbaşoğlu, Ç. ve Yılmaz, Z.Y. (2008). Heavy metal pollution in surface sediment and mussel samples in the Gulf of Gemlik. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144, 169-178. doi:10.1007/s10661-007-9986-6
- Yagmur, N., Dervisoglu, A. ve Sunar, F. (2022). Evaluation of atmospheric correction processors applied to the Sentinel-2 image in the Gulf of Izmit, 10th International Symposium on Atmospheric Sciences, 18- 21 Ekim 2022 İstanbul – Türkiye.
- Yaltırak, C. ve Alpar, B. (2002). Evolution of the middle strand of north Anatolian fault and shallow seismic investigation of the southwestern Marmara Sea (Gemlik Bay). *Marine Geology*, 190: 307-328. doi:10.1016/S0025-3227(02)00352-3
- Vahtmae, E. ve Kutser, T. (2008). Sun glint correction of airborne AISA images for mapping shallow-water benthos. 2008 IEEE/OES US/EU-Baltic International Symposium, (1-8). doi:10.1109/BALTIC.2008.4625522
- Warren, M.A., Simis, S.G., Martinez-Vicente, V., Poser, K., Bresciani, M., Alikas, K., ... Ansper, A. (2019). Assessment of atmospheric correction algorithms for the Sentinel-2A multispectral imager over coastal and inland waters. *Remote Sensing of Environment*, 225, 267-289. doi:10.1016/j.rse.2019.03.018
- Wu, C., Wu, J., Qi, J., Zhang, L., Huang, H., Lou, L. ve Chen, Y. (2010). Empirical estimation of total phosphorus concentration in the mainstream of the Qiantang River in China using Landsat TM data. *Int. J. Remote Sensing*, 31, 2309-2324. doi:10.1080/01431160902973873