

UYDU GÖRÜNTÜLERİNDE SU YÜZEYİNDEKİ GÜNEŞ PARILTISININ GÖRÜNTÜ ANALİZLERİNE ETKİSİ

Filiz SUNAR¹, Adalet DERVİŞOĞLU², Nur YAĞMUR³

¹Prof.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, fsunar@itu.edu.tr

²Doktor Öğretim Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, adervisoglu@itu.edu.tr

³Öğr. Gör., Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400 Kocaeli, nyagmur@gtu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde otomatik sistemlerin yaygınlaşması ve uzaktan algılama görüntülerinin birçok uygulamada başarıyla kullanımı, su cisimlerinin izlenmesine (özellikle su kalitesi çalışmalarında) yönelik çalışmalarda uzaktan algılama verilerini güçlü ve etkin bir araç kullmaktadır. Ancak uydu görüntülerinde su yüzeylerinde karşılaşılan güneş parıltısı, diğer bir ifade ile su yüzeylerinden ışıyan aynasal yansıması, su cisminin uzaktan algılanmasında ve görüntü analizinde hem bilimsel hem de mali açıdan çalışmalarda oldukça yanıltıcı ve sınırlayıcı bir faktördür. Genel olarak su yüzeyi doğrultusu, güneş ışınları doğrudan algılayıcıya doğru yansıtılacak şekilde olduğunda, uydu görüntülerinde güneş parıltısı (gümüşümsü açık renkte) oluşur ve bu olay daha çok deniz yüzeyinin durumuna, güneşin konumuna ve algılayıcının bakış açısına bağlı olarak gelişir. Algılayıcı tarafından alınan su yüzeyinden ışığın aynasal yansımasından kaynaklanan bu yansıtım, su yüzeyi ve su-altı özelliklerinin geri yansıtımından çok daha büyük (özellikle yakın kızılötesi bölgede) olabilir. Bu durumda klorofil içeriği, bentik özellikler veya batimetri gibi bilgilerin çıkartılması için, bu parıltı etkisini ayırabilen ve/veya ortadan kaldıracı bir düzeltme algoritmasının uygulanması gerekir. Bu çalışmada, Gemlik Körfezi'nde iki gün arayla alınan iki Sentinel-2 görüntüsünden birinde mevcut olan güneş parıltısının görüntü analizlerine olan etkisi incelenmektedir. Ek olarak su cismi ile ilgili yapılacak uzaktan algılama çalışmalarında bu konunun önemine dikkat çekilerek, mevcutta kullanılan güneş parıltısı giderme yöntemleri de kısaca ele alınmıştır.

Anahtar Sözcükler: Uzaktan Algılama, Sentinel-2, Güneş Parıltısı, Spektral Bant Değerleri

ABSTRACT

THE SUN GLINT EFFECT ON WATER SURFACES IN SATELLITE IMAGES ON IMAGE ANALYSIS

Today, the widespread use of automatic systems and the successful use of remote sensing images in many applications make remote sensing data a powerful and effective tool in studies for monitoring water bodies (especially in water quality studies). 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 image, both financially and scientifically. In general, when the direction of the water surface is such that the sun's rays are reflected directly towards the sensor, sun glint occurs in the images (in a silvery colour), and this phenomenon mostly depends on the condition of the sea surface, the position of the sun and the viewing angle. This specular reflection of light from the water surface received by the sensor, can be much larger (particularly in the near-infrared region) than the reflectance of the water surface and sub-surface features. In this case, extracting information such as chlorophyll content, benthic properties or bathymetry requires the implementation of a robust algorithm that can isolate and eliminate this sun glint effect. In this study, the effect of sun glint, which is present in one of the two Sentinel-2 images taken two days apart in Gemlik Bay, is examined. Additionally, the significance of this phenomenon is emphasized in remote sensing studies related to monitoring water bodies, and some current sun glint removal methods are briefly reviewed.

Keywords: Remote Sensing, Sentinel-2, Sun Glint, Spectral Band Values

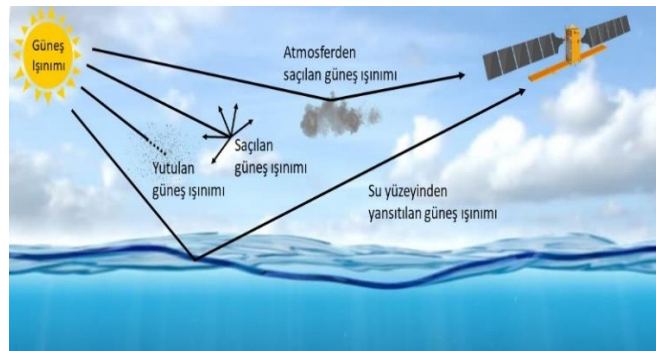
1. GİRİŞ

Su kaynakları, hem insanoğlu hem de ekolojik sistemlerin sürdürülebilirliğinde hayati bir rol oynamasına karşın, dünyadaki hızlı nüfus artışı ve sanayileşmenin paralelinde su kullanımı, 1980'lerden bu yana dünya çapında her yıl yaklaşık %1 artmaktadır (United Nations 2019). Bununla birlikte, sosyal ve ekonomik faaliyetler, büyük miktarda evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları, sucul ekosistemlerin kırılgan dengesini her geçen gün tehdit etmekte ve kıyı ekosistemleri üzerindeki baskıları daha da arttırmaktadır. Diğer ülkelerin yanı sıra ülkemizin kıyı bölgeleri ve denizlerinde de özellikle tarımsal kirliliğe ek olarak yetersiz arıtılmış evsel atıkların (örn. kanalizasyon suları) veya karasal kökenli kirleticilerin (örn. sanayi) neden olduğu su kirliliği nedeniyle, su hacmi, su kalitesi ve diğer sucul ekosistem bilgilerinin hızlı ve ekonomik bir şekilde izlenerek korunmasına yönelik acil önlemlerin alınmasına ihtiyaç vardır (Chen vd., 2022).

Yeryüzünün farklı ölçeklerde etkili ve sürekli izlenmesine imkan vermesi nedeniyle uzaktan algılama, sucul ortamların izlenmesinde kapsamlı ve etkin bir araç olmaktadır (Roy vd., 2017). Günümüzde esas olarak uydu-/uçak-bazlı sistemlerin yanı sıra uçangöz (drone)/İHA (İnsansız Hava Aracı) gibi yeni algılayıcı sistemlerden alınan farklı mekânsal-zamansal çözünürlüklere sahip büyük hacimli gerçek zamanlı veriler, su cismi ve diğer yeryüzü özellikleri arasındaki karmaşık

ilişkilerin hızlı ve etkin bir şekilde ortaya konmasında, su kütlesindeki değişikliklerin izlenmesinde ve su kalitesine yönelik model simülasyonlarının gerçekleştirilmesinde büyük avantajlar sağlamaktadır (Sunar vd., 2022).

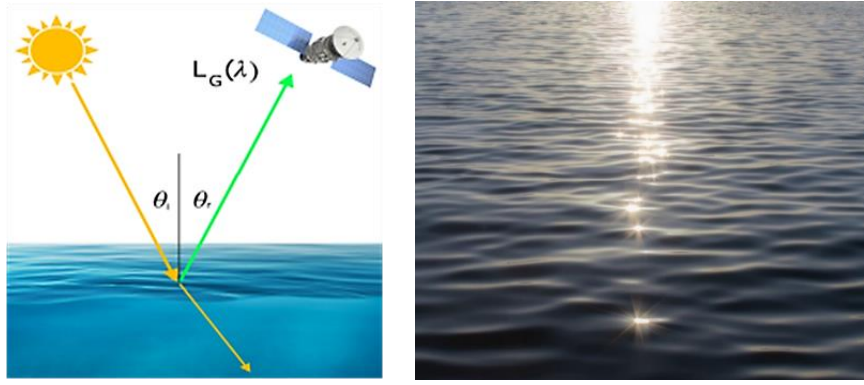
Yeryüzündeki farklı cisimlerden (örn. su cismi) yansıyan güneş ışığı, uydu algılayıcısına ulaşmadan önce birçok atmosferik etkileşime maruz kalır (Sunar vd., 2011). Diğer bir ifade ile güneş ışınımı, atmosferde bulunan su damlaları, aerosoller ve gaz molekülleri nedeniyle saçılır, kırılır ve/veya yutulur (Şekil 1). Işınımın sadece küçük bir kısmı atmosferden bozulmadan geçer. Bu nedenle, uydu-bazlı algılayıcılardan gözlemlenen su cisminin optik ve biyofiziksel özelliklerini belirlemek için yeterli “Sinyal-Gürültü oranı” (yani görüntü kalitesini gösteren parametrelerden biri) elde etmek önemlidir. Diğer yandan su yüzeyinden kaynaklanan bazı bozulmalar da (örn. güneş parıltısı - sun glint) bu gürültülerin artmasına neden olur. Bu bozulmalar, su kütlesinde ek yansımalarla neden olur ve ölçülen sinyale eklenir. Bu bağlamda, atmosferdeki moleküller, aerosoller ve su yüzeyinde oluşan yansımalarla kaynaklanan bu gürültülerin istenilen gerçek sinyalden (su cismine ait olan) arındırılması, yani atmosferik düzeltmenin yapılması gereklidir (Warren vd., 2019; Pahlevan vd., 2021). Açık okyanus suları, Durum 1 suları (fitoplanktonun hakim olduğu temiz okyanus suları) oldukları için atmosferik düzeltme daha kolaylıkla yapılabilmesine rağmen, Durum 2 suları (iç, nehir ağzı ve kıyıya yakın sular) için atmosferik düzeltme doğruluğu daha düşük olmaktadır, bu ise uydu verilerinin su uygulamalarındaki (örn. su kalite parametrelerinin tahmini veya bu parametrelerdeki küçük değişimlerinin saptanması) kullanımını kısıtlamaktadır.



Şekil 1. Uzaktan algılama sinyallerinde atmosferik etkiler.

Tüm su ile ilgili uygulamalarda, su kütlelerinden uzaktan algılanan verilerin miktarını ve doğruluğunu sınırlayan en büyük yanıltıcı faktörlerden biri, hava-su arayüzü üzerinden doğrudan iletilen güneş ışığının aynasal yansıması yani güneş parıltısıdır (Şekil 2). Diğer bir ifade ile su yüzeyi doğrultusu, güneş ışınlarını doğrudan algılayıcıya doğru yansıtılacak şekilde olduğunda, uydu görüntülerinde güneş parıltısı (gümüşümsü açık renkte) oluşur 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 parıltısı etkileri, rüzgâr hızına ve tarama boyunca piksel konumuna bağlı olarak 50° ila 100° enlem kuşağında (diğer bir ifade ile sırasıyla $25^\circ\text{K}-25^\circ\text{G}$ ila $50^\circ\text{K}-50^\circ\text{G}$) daha belirgindir. Suda güneş parıltısının yoğunluğu aynı zamanda su yüzeyinin algılanma anındaki durumunu da gösterir. Su yüzeyinde rüzgârın etkisi yoksa yani su yüzeyi pürüzsüzse, yansıtma güçlüdür ve parıltı görüntüde daha belirgindir, daha kuvvetli rüzgârlarda ise su yüzeyi pürüzlü olacağından, dağınık yansıtma bağlı olarak görüntüde daha az belirgin bir parıltı oluşur (Reinke 1995). Diğer bir ifade ile görüntünün etkilenen bölgelerinde, pürüzsüz su yüzeyi gümüşü bir renk alırken, daha pürüzlü yüzey suları daha koyu renkte görünür. Genelde güneş parıltısı görüntü analizi için olumsuz (örn. Küçükçekmece Gölü) bir faktör olmasına karşılık, bazen bu etki sonucu oluşan parlak bölgeler, algılayıcının kaydetmediği su yüzeylerinde ilginç okyanus veya atmosferik özellikleri (örn. rüzgârın neden olduğu dalga modeli) de ortaya çıkarabilmektedir (Şekil 3).

Güneş parıltısı daha çok geometrik bir problem olup, parıltı etkisini azaltmada kullanılan yaklaşımlardan biri dikkatli uçuş planlaması ile bu durumun oluşmasından kaçınmaktır. Güneşin konumu güneş zenit açısı düşük olduğunda ve Dünya'nın güneşe göre eksen eğikliğinin yüksek olduğu mevsimlerde, görüntülerde güneş parıltısı oluşma potansiyeli daha fazla olacağından, bazı görüntüleme sistemlerinde, güneşin konumuna göre algılayıcının görüş açısını değiştiren eğilebilir algılayıcılar kullanılarak görüntülerde güneş parıltısının oluşması önlenir (Miller 2012). Diğer bir ifade ile algılayıcı, fiziksel olarak deniz yüzeyindeki aynasal yansımayı en aza indireyecek bir açıyla (bu açı, genellikle okyanusun pürüzsüz olduğu varsayılarak, algılayıcının güneşin konumuna göre olan konumuyla belirlenir) su yüzeyini algılayacak şekilde doğrultulur. SeaWiFS, CZCS gibi uydu bazlı bazı algılayıcılar, güneş parıltısını en aza indirmek için nadirden 20° eğik gözlem (2° 'lik artışlarla $\pm 10^\circ$ 'ye kadar eğilebilen) yapabilmelerine karşılık, Landsat ve Sentinel-2 gibi yaygın kullanılan uydu algılayıcılarının yaklaşık nadirden görüntü alımı nedeniyle, bu algılayıcı tarafından elde edilen parıltı verilerinin, hava-su arayüzündeki doğrudan güneş ışığı yansıtmasını etkilemesi olasıdır ve bu uyduların görev misyonları öncelikle karasal gözlemler olduğundan, sudaki parıltının tanımlanması veya önlenmesi konusu genelde ihmal edilmektedir (Kay vd., 2009).



Şekil 2. Güneş ışınının durgun su yüzeyinde aynasal yansıtması (“güneş parıltısı/sun glint” etkisi).



Şekil 3. Sentinel-2 uydu görüntüsünde güneş parıltısı nedeniyle ortaya çıkan su yüzeyindeki rüzgâra bağlı dalga modeli (Küçükçekmece Gölü / Marmara Denizi, 26/06/2021 © Copernicus).

Diğer bir yaklaşım ise bir düzeltme işleminin yapılmasıdır. Düzeltme işleminde ya parıltının yansıtma katkısını belirlemek için deniz yüzeyi durumunun istatistiksel modellenmesi yapılır ya da uzaktan algılama görüntü verilerinden parıltı doğrudan tahmin edilir.

Bu çalışma kapsamında Gemlik Körfezi’nde güneş parıltısının görüntü analizine olan etkisinin incelenmesi amacıyla, 27 ve 29 Nisan 2021 tarihlerinde alınan iki Sentinel-2 görüntüsü kullanılmıştır. 27 Nisan tarihli görüntüde güneş parıltısı olup diğer görüntüde olmadığından bu çalışmada bu etkinin iki farklı veri setindeki bant değerlerine olan etkisi incelenmiş ve etkin bir düzeltme yapılmadan, bu etkiyi içeren görüntülerin su ile ilgili çalışmalarda (örn. su kalitesi modellenmesi) kullanılmamasına dikkat çekilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

2.1. Çalışma Alanı

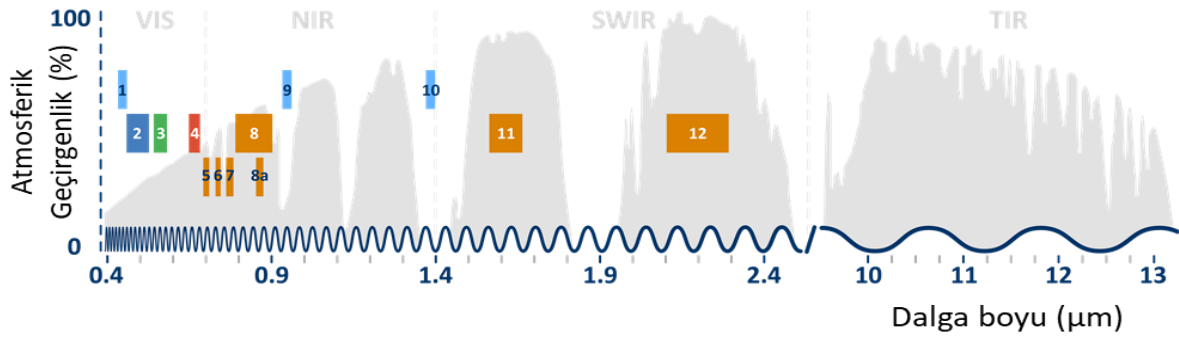
Marmara Denizi’nin güneydoğu kesiminde yer alan ve en derin yeri -113 m olan Gemlik Körfezi, 15 km genişliğinde ve 35 km uzunluğunda yarı kapalı bir havzadır (Şekil 4). Körfezde, Akdeniz ve Karadeniz kaynaklı su kütleleri iki ayrı katman (Karadeniz kökenli üst katman ve Akdeniz kökenli daha derin katman) oluşturmakta ve körfezin oşinografik özelliklerini etkilemektedir (Balci ve Balkis, 2017).



Şekil 4. Çalışma alanının konumu ve 29 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü (© Copernicus).

2.2. Uydu Verileri

Günümüzde ücretsiz erişim imkânı olması nedeniyle çok sıkça kullanılan uydu algılayıcılarının (örn. Landsat 8-OLI, Sentinel-2 MSI) spektral ve radyometrik gelişimi, iç deniz, nehir ağzı veya kıyı ortamlarının biyojeokimyasal değişkenliğini yeterli mekânsal ölçekte araştırmak için yenilikçi olanaklar sunmaktadır. Bu çalışmada 10, 20 ve 60 m mekânsal çözünürlüklere sahip toplam 13 spektral banttıan oluşan 2 farklı tarihte alınan Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır (Şekil 5). Kullanılan Sentinel-2 Level 2A uydu görüntülerine geometrik düzeltmenin yanı sıra atmosferik düzeltmede uygulanmaktadır. A ve B uydu takımından oluşan Sentinel-2 çok spektrumlu (MSI) görüntüleri, 20,6° görüş alanına sahip olup her bir uydu 10 günde bir (takımyıldız olarak 5 gün) yeryüzünü global olarak kapsamak için 786 km yükseklikte güneşle senkronize kutupsal yörüngeden 290 km'lik bir tarama alanını algılarlar (Roy vd., 2017).

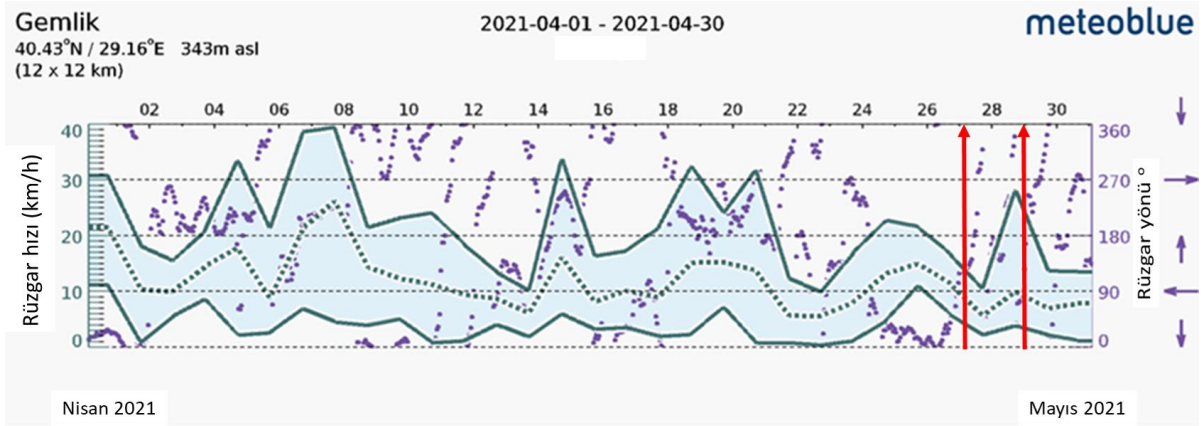


Şekil 5. Sentinel-2 uydu algılayıcısının spektral bantları.

Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntüleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı-ÇEDİDGM/Laboratuvar, Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı'nca yürütülen ve TÜBİTAK-MAM ÇTÜE koordinasyonunda gerçekleştirilen "Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme 2020-2022 Programı" kapsamında değerlendirilmiştir. Görüntü verilerinin güneş parıltısına etki eden meta verilerine (özellikle zenit açıları) bakıldığında birbirine yakın olduğu ve etkinin daha fazla olduğu 50°K–50°G enlem kuşağında yer aldığı görülmektedir.

2.3. Meteorolojik Veriler

Su yüzeyinin pürüzlülüğü ve rüzgârla değişimi, güneş parıltısına etki eden diğer önemli bir parametre olduğundan çalışmada meteorolojik veriler de göz önüne alınmıştır. Şekil 6'da da gösterildiği gibi 27 Nisan tarihinde rüzgârın etkisi fazla olmadığından su yüzeyinden yansıtma güçlüdür ve parıltı görüntüde daha belirgindir; 29 Nisan tarihinde ise daha kuvvetli rüzgâr durumu olduğundan iki görüntü yaklaşık aynı zenit açılarına sahip olmalarına rağmen rüzgâr nedeniyle su yüzeyinde oluşan pürüzlülüğün sonucunda dağınık yansıtma bağlı olarak parıltı daha azdır ve belirgin değildir.



Şekil 6. Çalışmada kullanılan iki uydu görüntüsünün alındığı tarihlerde rüzgâr hızı ve yönü (© Meteoblue).

3. YÖNTEM VE BULGULAR

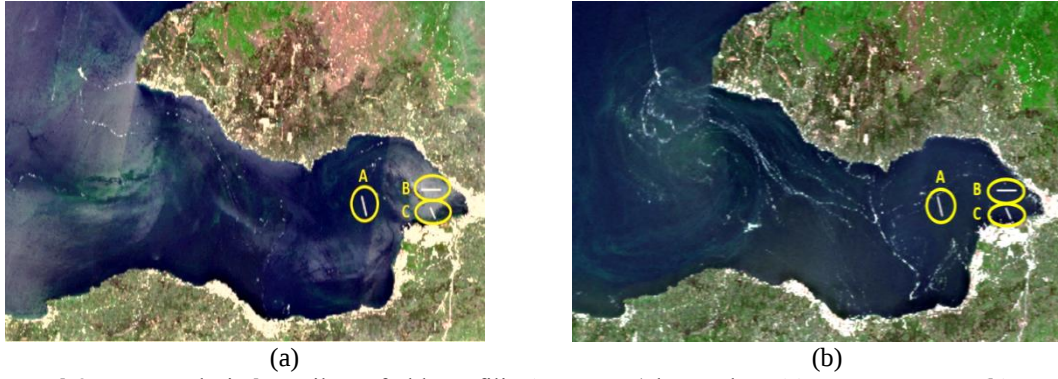
Günümüzde su ile ilgili birçok uygulamada (açık okyanus ve kıyı gözlemlerinde) çeşitli güneş parıltısı düzeltme yöntemleri geliştirilmiştir. Her durumda amaç, algılayıcıya ulaşan yansıtma parıltısının etkisini/katkısını tahmin etmek ve ardından bunu alınan ışıma sinyalinden çıkarmaktır (Kay vd., 2009). Genel olarak kullanılan yöntemler, Durum 1 (açık okyanus, temiz sular) ve Durum 2 (kıyı ve iç denizler, daha kirli sular) suları için geliştirilmiştir. İlk kategorideki yöntemler, Cox ve Munk (1954, 1956) tarafından 100m–1km mekânsal çözünürlükteki açık okyanus görüntüleri için türetilen parıltı düzeltme modelleridir. Diğer bir ifade ile geliştirilen yaklaşımlar düşük mekânsal çözünürlüğe sahip uydu algılayıcıları için geçerli olup, kıyı suları ve yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu görüntüsü için pek uygun olmayabilmektedir (Heege ve Fisher, 2000). Durum 1 suları için geliştirilen istatistiksel modeller (örn. Cox ve Munk), rüzgâr hızına ve yönüne bağlı olarak deniz yüzeyinin parıltısına neden olacak şekilde yönelme olasılığını hesaplamada kullanılır. Bu olasılık daha sonra belirli bir rüzgâr vektörü, güneş ve algılayıcı konumu için parıltı miktarını tahmin etmek için kullanılır. Bu yöntemin varyasyonları, bir dizi operasyonel okyanus renk aracı için kullanılmış olsa da, yalnızca orta düzeyde parıltıyı düzeltmede başarılıdır (diğer bir ifade ile fazla parıltıya sahip alanlarda büyük hatalar söz konusu olabilmektedir) (Kay vd., 2009).

Daha genel ve basit bir yaklaşım olan ikinci yaklaşımda, atmosferik düzeltme işlemlerinden sonra, Yakın Kızılötesi bölgede (YKÖ) güneş ışığının su tarafından güçlü bir şekilde yutulduğu genel varsayımına dayanılarak, kızılötesi bantlarda ($\lambda > 900$ nm) mevcut olan herhangi bir sinyalin deniz yüzeyinden saçılan ışığı temsil ettiği, diğer bir ifade ile sadece parıltıdan kaynaklandığı kabulü yapılır. Bu kabul, Görünür ve YKÖ bölgede parıltı neticesiyle oluşan ışıma değerleri arasında fiziksel bir temele dayanan doğrusal bir ilişki olduğuna ve deniz suyunun kırılma indisinin Görünür bölge ve YKÖ dalga boylarında aynı (yaklaşık aynı) olmasına dayanır. Bu ise, su yüzeyi yansıtmasının spektral olarak yaklaşık tam yansıma olduğu, diğer bir deyişle parıltının, Görünür bölge ve YKÖ dalga boylarında aynı yansıtma sahip olduğunu gösterir. Sonuç olarak atmosferik düzeltme yapıldıktan sonra kalan YKÖ yansıtma değeri, sadece su yüzeyinden olan yansıtmayı elde etmek için Görünür bölge dalga boylarındaki yansıtmadan basit olarak çıkartılır. Derin su spektrasının incelenerek YKÖ ile parıltı içeren yansıtma değerleri arasındaki ilişkinin kurulmasına bağlı olan bu yaklaşım, çok sığ veya bulanık sular veya bitki örtüsünün yüzeyde olduğu su yüzeylerinde YKÖ bölgesindeki yansıtım ihmal edilebilir olmadığından, bu varsayım geçerli değildir (Kay vd., 2009).

Çalışma alanı olan Gemlik Körfezi Durum 2 suları kategorisinde olduğundan, bu çalışmada ilk olarak 27 Nisan tarihli görüntüde güneş parıltısının tüm bantlara olan etkisi 29 Nisan görüntüsündeki bant değerlerine bağlı olarak karşılaştırmalı irdelenmiş ve korelasyonlarına bakılmıştır.

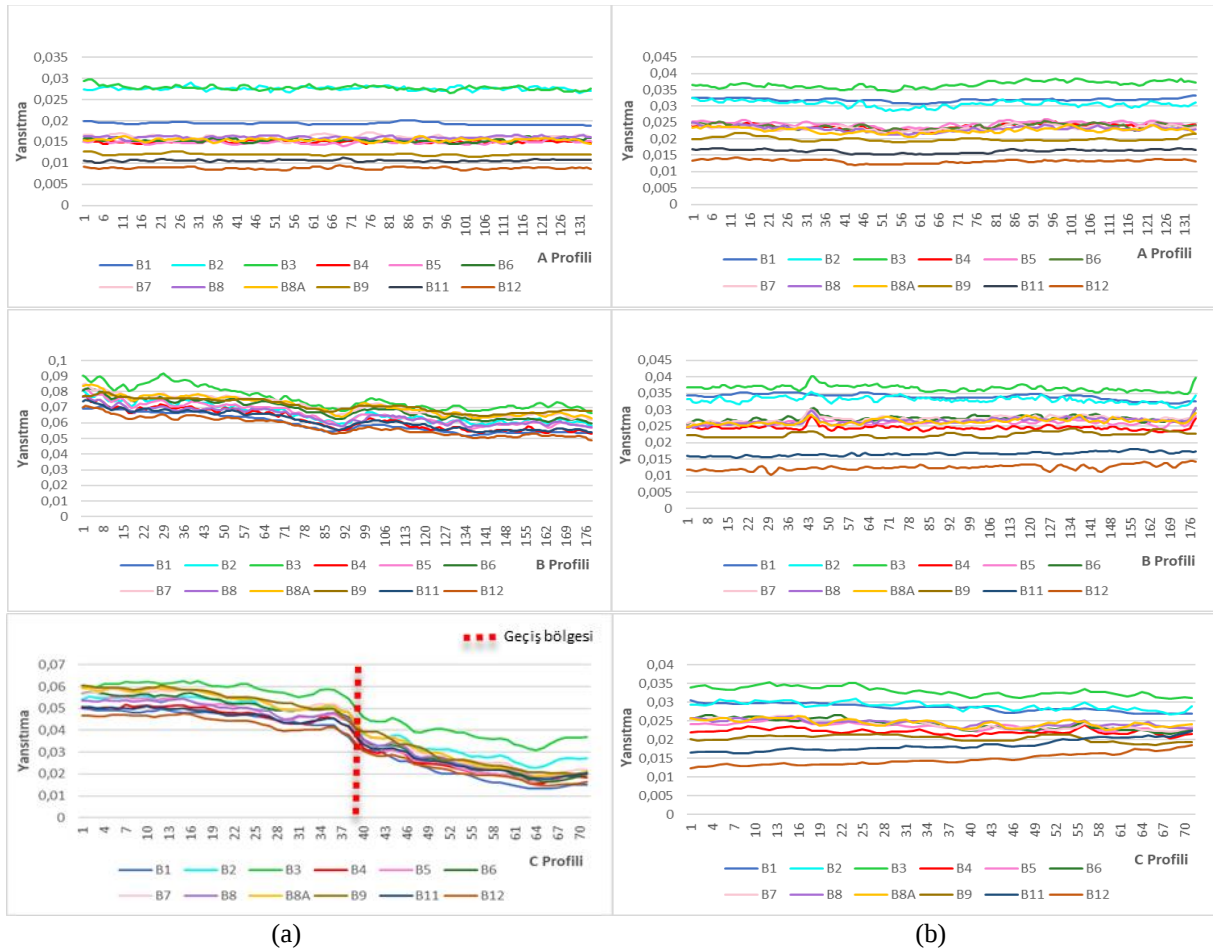
3.1. Yansıtma Değerlerindeki Değişim

Analizlerde algılanan sinyaldeki güneş parıltısı miktarının bir göstergesi olarak daha çok YKÖ bant verileri kullanılmasına rağmen, özellikle diğer bantlara olan etkisini göstermek için 3 farklı profil (A profili güneş parıltısının olmadığı bölge; B profili güneş parıltısının olduğu bölge; C profili ise her iki durumun da olduğu geçiş bölgesi) seçilerek, profil boyunca yansıtma değerleri her iki tarihli uydu görüntüsü için çıkartılmıştır (Şekil 7 ve Şekil 8).



Şekil 7. Sentinel-2A görüntülerinde seçilen 3 farklı profilin (A, B ve C) konumları. (a) 27 Nisan 2021. (b) 29 Nisan 2021.

Tüm seçilen profiller için her 2 tarihteki tüm bantların ortalama yansıtma değerlerindeki farklılıklar Şekil 8’de verilmektedir. 27 Nisan tarihli görüntüde güneş parıltısının olduğu B profilinde tüm bantlarda spektral yansıtma değerlerindeki artış çok belirgindir. Şekil 7’de görüldüğü gibi A profilinde, yani güneş parıltısının olmadığı bölgede her iki tarihteki yansıtma değerleri oldukça benzer olup 0.010-0.035 aralığında değişmektedir. Diğer yandan B profilinde, yani güneş parıltısının olduğu bölgede 29 Nisan tarihli görüntü için değerler, A profilindeki değerlerle uyumludur ancak 27 Nisan tarihli görüntüde parıltı nedeniyle bant değer aralığının çok arttığı (0.05-0.09) görülmektedir. C profilinde yani geçiş bölgesinde ise, parıltının etkisi, yansıtma değerlerindeki belirgin farklılık (ani değişim) olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 8. Su yüzeyinde seçilen 3 farklı profilin (A, B ve C) Sentinel-2 uydu görüntülerindeki yansıtma değerleri. (a) 27 Nisan 2021. (b) 29 Nisan 2021.

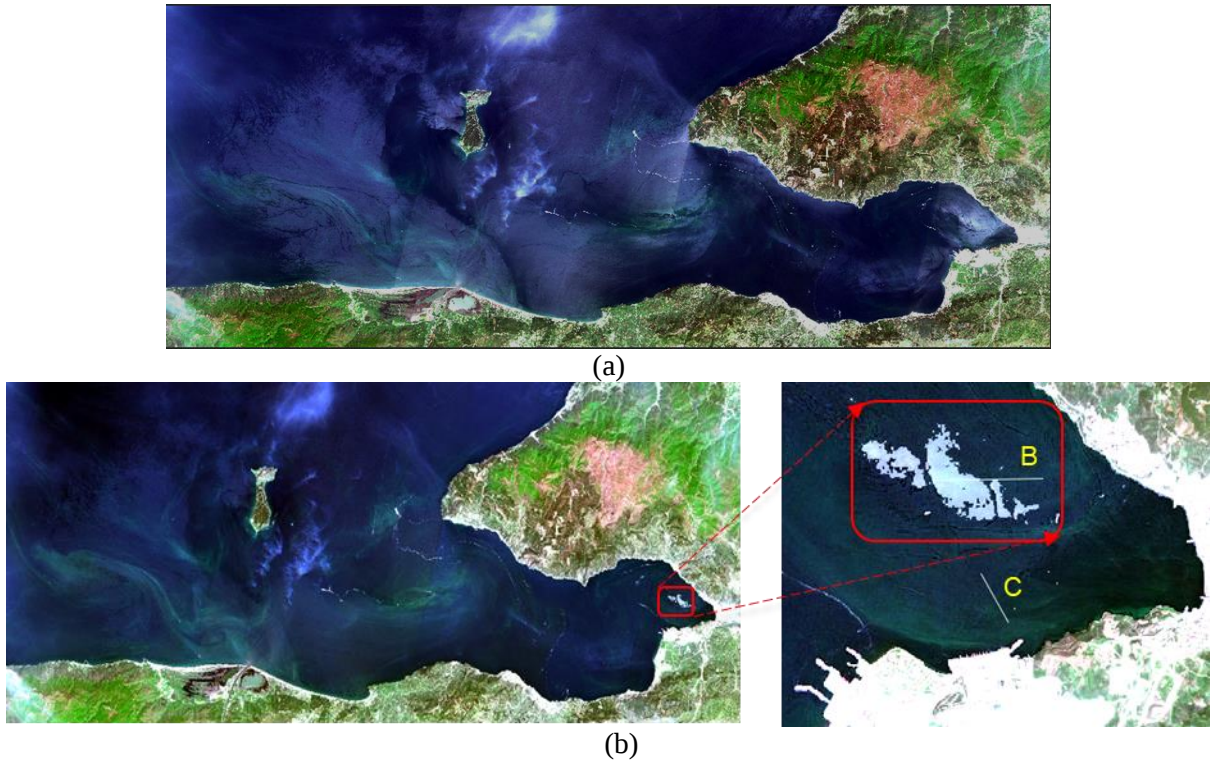
3.2. Atmosferik Düzeltme

Toz, su buharı vb. gibi atmosferik parçacıkların saçılması ve yutulmasının yanı sıra hava-su arayüzünde yüzey yansıtmasının (güneş ve gökyüzü parıltısı) Atmosfer Üstü (Top Of Atmosphere-TOA) ölçülen sinyalden kompanse edilerek görüntü üzerindeki etkisinin giderilmesi, atmosferik düzeltme adımı olarak adlandırılır ve bu adım uydu görüntülerine uygulanan bir ön-işleme adıımıdır. Diğer bir ifade ile algılayıcı tarafından algılanan su yüzeyinden ışığın

aynasal yansımından kaynaklanan yansıtım, su yüzeyinden ve/veya yüzey-altı özelliklerinin geri yansıtımından çok daha büyük (özellikle yakın kızılötesi bölgede) olduğundan parıltının etkisini ayırabilen ve ortadan kaldıracak olan güvenilir bir atmosferik düzeltme algoritmasının uygulanmasını gerektirir. Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency-ESA), Sentinel-2 uydu görüntülerini temin etmenin yanı sıra uyduların algıladığı veri setlerinin atmosfer, arazi ve sirus etkilerinden yüksek doğrulukla arındırılabilmesi için Sen2Cor algoritmasını geliştirmiştir. Bu algoritma, Level-1C TOA uydu görüntülerini bu etkilerden arındırarak Level-2A Atmosfer Altı (Bottom Of Atmosphere-BOA) yüzey yansıtım verilerini üretmektedir (Sen2Cor 2022). Kullanıcılar, ESA tarafından düzeltmelerin yapıldığı Level-2A görüntülerini doğrudan indirebilirler veya Sen2Cor işlemcisi ile istenildiğinde Level-1C veriden de Level-2A verisini üretebilirler. Güneş parıltısının atmosferik düzeltmesinde üç temel parametrenin (i) aerosol optik kalınlık, (ii) parıltının spektral davranışı ve (iii) deniz yüzeyindeki rüzgâr hızının bilinmesi gereklidir. Ancak Sen2Cor algoritması su yüzeyinin atmosferik düzeltmesi için tasarlanmadığından, su üzerindeki aerosoller tahmin etmez ve bu yüzden güneş parıltısı etkisinin giderilmesinde çok etkin bir algoritma değildir.

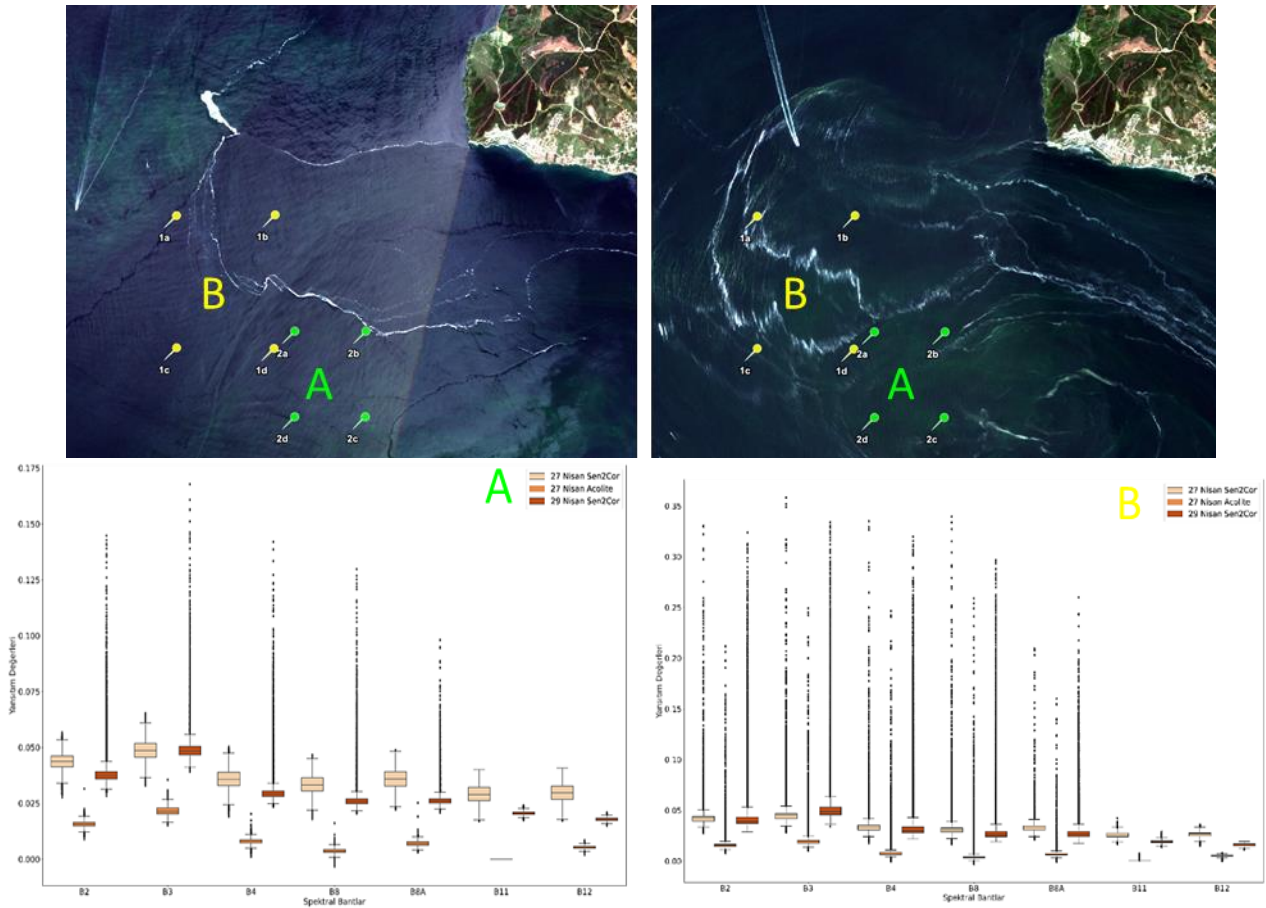
Landsat ve Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilecek su uygulamalarına yönelik atmosferik düzeltme algoritmalarını birleştiren ve daha çok tercih edilen diğer bir atmosferik düzeltme algoritması olan ACOLITE, Belçika Kraliyet Doğa Bilimleri Enstitüsü (Royal Belgian Institute of Natural Sciences-RBINS) tarafından geliştirilmiştir. 2021 yılında servis edilen yeni sürümü ile farklı uydu verileri de hızlı bir şekilde analiz edebilmektedir ve atmosferik düzeltme adımının yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu verileri için güçlü ve kullanımı kolay hale getirilmesi amaçlanmaktadır (Vanhellemont ve Ruddick, 2016). İşlemci kapsamında uygulanan atmosferik düzeltme algoritması, Koyu Spektrum Eşleşme (Dark Spectrum Fitting), özellikle bulanık sulara iyi sonuçlar verirken, aynı zamanda berrak sular ve karasal alanlar için de kabul edilebilir bir başarı ile uygulanabilmektedir (Acolite 2022). Atmosferik düzeltme yöntemlerinin yanı sıra güneş parıltısı düzeltmesi de ACOLITE ile uygulanabilmektedir. Bu yüzden ACOLITE özellikle su çalışmalarında aranan atmosferik düzeltme algoritmalarından biri haline gelerek literatürde sıklıkla tercih edilmektedir (Maciel ve Pedocchi, 2022; Pahlevan vd., 2022).

Bu çalışmada, 27 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2 Level-1C görüntüsüne ACOLITE güneş parıltısı düzeltmesi uygulanmıştır. Şekil 9a'da verilen orijinal görüntüye kıyasla görsel olarak görüntüde güneş parıltısının etkisinin giderilmiş olduğu Şekil 9b'de görüldüğü gibi Körfezin iç kısmında bazı yapay olgu (artifakt) etkileri gözlenmiştir.



Şekil 9. 27 Nisan 2021 tarihli Sentinel-2A görüntüsüne uygulanan ACOLITE atmosferik düzeltmesi. (a) Orijinal Level 1C görüntüsü. (b) ACOLITE parıltı (sun glint) düzeltmesi uygulanmış görüntüsü ve oluşan yapay olgular.

27 Nisan tarihli görüntüye iki farklı atmosferik düzeltme modülü (Sen2Cor ve ACOLITE) ile uygulanan düzeltme sonrasındaki veri setleri ile referans verisi olarak alınan 29 Nisan veri seti arasındaki benzerlik veya farklılıkları görselleştirmek amacıyla kutu-grafikleri (Box-plotlar) kullanılmıştır. Her iki görüntüde mevcut olan müsilajın da etkisini irdelemek amacıyla görüntüde iki farklı test alanı (su yüzeyinde müsilaj yoğunluğunun rölatif olarak daha az ve daha çok olduğu alanlar) seçilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. İki farklı test alanında (A ve B) iki farklı atmosferik düzeltme modülü ile düzeltilmiş 27 Nisan ve 29 Nisan 2021 Sentinel-2 (güneş parıltısı olmayan ve referans verisi olarak alınan) görüntü veri setlerindeki benzerlik veya farklılıkların kutu-grafikleri ile karşılaştırılması.

Yüzeyde görülen mülisalay yoğunluğunun daha az olduğu (A) bölgesinde 27 Nisan Sen2Cor veri setinin yayılımı daha büyüktür, dolayısıyla en heterojen veri seti olduğu görülmektedir. 29 Nisan Sen2Cor veri setinde ise veri yayılımının 27 Nisan tarihli veri setine kıyasla çok daha küçük (homojen veri seti) olduğu ancak seçilen çerçevede 29 Nisanda mülisalay nedeniyle uç (aykırı) değeerlerin olduğu görülmektedir (Şekil 10). Diğer yandan mülisalay yoğunluğunun daha fazla olduğu (B) bölgesinde hem güneş parıltısı hemde mülisalay etkisi nedeniyle tüm veri setlerinin aykırı değeerlere oldukça duyarlı olduğu görülmektedir. ACOLITE düzeltmesi yapılmış veri setinde, düşük bant yansıtmı kabulünün düzeltme modülünde kısa dalga kıızılötesi boyları gözetilerek yapıldığı ve bu yüzden özellikle B11 in baz olarak alınarak bant değeerlerinin her iki test bölgesinde de “0” olduğu grafiklerde görülmektedir.

3.3. Korelasyon Analizi

İstatistikte korelasyon, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü ifade eder. Bu çalışmada Gemlik Körfezi'nin 27 ve 29 Nisan 2021 tarihlerinde alınan uydu görüntülerinde aynı spektral bantlar arasında ampirik bir ilişki olup olmadığının belirlenmesi amacıyla korelasyon analizi uygulanmış ve korelasyon matrisi oluşturularak, değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini gösteren korelasyon katsayıları (r ; -1 ile +1 arasında değer alan) hesaplanmıştır. Korelasyon analizi sonucunda, 2 gün arayla alınmış olsa bile özellikle güneş parıltısı ve körfezin Durum 2 suları olması nedeniyle (kirlilik ve müsilaj etkisi) iki tarihteki bant değerlerinde korelasyon katsayıları düşük (B1-B8A için; $r = -0.04 - 0.53$) bulunmuştur. Sadece B11 ve B12 bantları için korelasyon daha yüksek (sırasıyla $r = 0.79$ ve 0.61) bulunmuştur. Bu ise, Durum 2 suları için geçerli olan düşük bant yansıtımı (ışımının 0 olması) kabulünün Kısa Dalga Kızılötesi boylarında geçerli olduğunu, yani su moleküllerinin yutulmasının, Kısa Dalga Kızılötesinde YKÖ dalga boyu aralığından daha büyük olup daha belirgin olduğunu gösterir. Diğer yandan, atmosfer, bu bölgede zayıf miktarda dağınık ışıkla daha şeffaftır yani, aerosollerin ve hava moleküllerinin katkısı daha düşüktür. Kısa Dalga kızılötesi bantlarında su yüzeyinden ayrılan ışımanın sıfır olduğu kabulünün en bulanık sular için bile genellikle doğru olduğuna birçok çalışmada dikkat çekilmiştir (Shi ve Wang, 2009; Harmel vd., 2018). Bu çalışmada da bu bantlardaki su yutulmasının düşük olması nedeniyle bu veri setlerindeki korelasyonun daha fazla olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ

Birçok literatür çalışmasında gösterildiği gibi günümüzde 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 sağlaması kritik bir öneme sahiptir. Ancak optik uzaktan algılama verileri kıyı bölgesi yönetimi ve su kalitesi çalışmalarında kullanıldığında, görüntülerdeki güneş parıltısı ciddi bir zorluk olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, uydu görüntülerinde atmosferin etkisi (atmosferik gazlar ve aerosoller tarafından bir veya daha fazla kez algılayıcı yönünde saçılan güneş ışınımı ile su yüzeyinin aynasal yansımından kaynaklanan güneş parıltısı) ve bu etkileşimi gidermek için kullanılan atmosferik düzeltme yöntemlerinde bazı sınırlamaların olması ve/veya rutin olmaması, su çalışmalarına yönelik görüntü analizlerini (örneğin su kalite bileşenlerinin tahmin doğruluğu) olumsuz etkilemektedir.

Özellikle son yıllarda alg ve diğer fitoplanktonlara bağlı olarak Marmara Denizi'nde görülen ve etkisini halen sürdürmekte olan deniz salyasının (müsilaj) mekânsal dağılımı ve yersel su kalite ölçmeleriyle ilişkilendirilmesi için uydu görüntü verileri birçok araştırmacı tarafından sıklıkla kullanılmıştır ancak yüksek doğruluklu bir analiz için görüntülerde enleme bağlı olarak sıkça görülen güneş parıltısının uydu algılayıcısının radyometrik ölçümlerini nasıl etkilediğinin belirlenmesi çok önemli olduğundan bu çalışmada özellikle bu konuya dikkat çekilerek veri setleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada gösterildiği gibi hem bilimsel hem de mali açıdan (ticari uydu firmalarından görüntü satın alımının pahalı olması) oldukça yanıltıcı ve sınırlayıcı (bazı görüntüleri kullanılamaz hale getirmesi) bir faktör olan güneş parıltısı içeren uydu görüntülerinin etkin ve doğruluklu bir atmosferik düzeltme yapılmadan, su cisminin yönelik analiz (örn. su kalite bileşenlerinin tahmini ve/veya modelleme) çalışmalarında kullanılmaması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı-ÇEDİDGM/Laboratuvar, Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı'nca yürütülen ve TÜBİTAK-MAM ÇTÜE koordinasyonunda gerçekleştirilen “Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme 2020-2022 Programı” kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Acolite, <https://github.com/acolite/acolite> [Erişim tarihi: 10.07.2022].

Chen, J., Chen, S., Fu, R., Li, D., Jiang, H., Wang, C., Peng, Y., Jia, K. ve Hicks, B.J., 2022. Remote Sensing Big Data for Water Environment Monitoring: Current Status, Challenges, and Future Prospects. *Earth's Future*, 10(2), p.e2021EF002289.

Cox, C. ve Munk, W., 1954. Measurement of the Roughness of the Sea Surface from Photographs of the Sun's Glitter. *Josa*, 44(11), syf.838-850.

Cox, C. ve Munk, W., 1956. Slopes of the Sea Surface Deduced from Photographs of Sun Glitter. *Bulletin of the Scripps Institute of Oceanography*, 6(9), 401-488.

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, pp.308-321.

Heege, T. ve Fischer, J., 2000. Sun Glitter Correction in Remote Sensing Imaging Spectrometry. In SPIE Ocean Optics XV Conference, Monaco.

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), syf.697-730.

Maciel, F.P. ve Pedocchi, F., 2022. Evaluation of ACOLITE Atmospheric Correction Methods for Landsat-8 and Sentinel-2 in the Río de la Plata Turbid Coastal Waters. *International Journal of Remote Sensing*, 43(1), 215-240.

Miller, C.I., 2012. Evaluation of Sun Glint Correction Algorithms for High-Spatial Resolution Hyperspectral Imagery. Naval Postgraduate School Monterey, CA, Department of Information Sciences.

- Reinke, D.L.**, 1995. Image Interpretation Chapter in Satellite Meteorology, Editor(s): Stanley Q. Kidder, Thomas H. Vonder Haar, Academic Press, syf. 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.
- Pahlevan, N., Mangin, A., Balasubramanian, S.V., Smith, B., Alikas, K., Arai, K., Barbosa, C., Bélanger, S., Binding, C., Bresciani, M. ve Giardino, C.**, 2021. ACIX-Aqua: A Global Assessment of Atmospheric Correction Methods for Landsat-8 and Sentinel-2 Over Lakes, Rivers, and Coastal Waters. *Remote Sensing of Environment*, 258, syf.112366.
- Pahlevan, N., Smith, B., Alikas, K., Anstee, J., Barbosa, C., Binding, C., Bresciani, M., Cremella, B., Giardino, C., Gurlin, D. ve Fernandez, V.**, 2022. Simultaneous Retrieval of Selected Optical Water Quality Indicators from Landsat-8, Sentinel-2, and Sentinel-3. *Remote Sensing of Environment*, 270, syf.112860.
- Sen2Cor**, <https://step.esa.int/main/snap-supported-plugins/sen2cor/> [Erişim tarihi: 10.07.2022].
- Shi, W. ve Wang, M.**, 2009. An assessment of the black ocean pixel assumption for MODIS SWIR bands. *Remote Sensing of Environment*. 113 (8), 1587–1597.
- Sunar, F., Özkan, C. ve Osmanoglu, B.**, 2011. *Uzaktan Algılama*, 4. basım, Anadolu Üniversitesi Yayını, 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 Kongresi, 6-11 Haziran, Nice-Fransa.
- United Nations**, 2019. World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. UN Publications.
- Vanhellemont, Q. ve Ruddick, K.**, 2016. Acolite for Sentinel-2: Aquatic Applications of MSI Imagery. In Proceedings of the 2016 ESA Living Planet Symposium, Prague, Czech Republic (syf. 9-13).
- Warren, M.A., Simis, S.G., Martinez-Vicente, V., Poser, K., Bresciani, M., Alikas, K., Spyrakos, E., Giardino, C. ve Ansper, A.**, 2019. Assessment of Atmospheric Correction Algorithms for the Sentinel-2A MultiSpectral Imager over Coastal and Inland Waters. *Remote Sensing of Environment*, 225, syf.267-289.