

**DENİZ YÜZEYİNE UZAKTAN ALGILAMA
YÖNTEMLERİ İLE BAKIŞ**

**VIEWING THE SEA SURFACE WITH REMOTE
SENSING METHODS**

Prof. Dr. Burcu Özsoy
TÜBA Genç Akademi Üyesi / TÜBA Young Academy Member

**Prof. Dr. Burcu Özsoy / TÜBİTAK § İstanbul Teknik Üniversitesi /
burcu.ozsoy[at]tubitak.gov.tr & ozsoybu[at]itu.edu.tr /
ORCID: 0000-0003-4320-1796**

Prof. Dr. Burcu Özsoy, Yıldız Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nde lisans ve yüksek lisans dereceleri aldı. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Denizcilik Fakültesi'nde ders vermeye başladı. Doktora eğitimine 2005 yılında San Antonio'daki Texas Üniversitesi'nde başladı. Doktora çalışması çerçevesinde, 2006 yılında ilk Antarktik Bilim Keşifine Amerikan ve İsveçli bilim insanları ile katıldı ve deniz buz gözlemleri hakkında karasal veriler topladı. Daha sonra Antarktika'daki iklim değişikliği ile deniz buzunu etkileşimi üzerinde uydu görüntülerinin doğrulanması üzerinde çalıştı. Avrupa ülkeleri ile Arktik ve Antarktika bölgelerini kapsayan Horizon 2020 projesi ortak girişimi, 2015 yılında kabul edildi ve Prof. Özsoy Türkiye'de projenin koordinatörü olarak görev aldı. Ocak 2015'te İTÜ'de kurulan Kutup Araştırma Merkezi'nin (PolReC) kurucu müdürlüğünü yapmıştır. Prof. Özsoy, Cumhurbaşkanlığı himayesinde yürütülen Ulusal Türk Antarktika Seferleri- I- II- III'ün koordinatörü ve seferi lideri olarak görev yaptı. Türk Antarktika Seferi -IV'yi koordine etti. Halen TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü müdürüdür.

**Prof. Dr. Burcu Özsoy / TÜBİTAK § Istanbul Technical University /
burcu.ozsoy[at]tubitak.gov.tr & ozsoybu[at]itu.edu.tr /
ORCID: 0000-0003-4320-1796**

Prof. Dr. Burcu Özsoy received BA and MA degrees at the Department of Geodesy and Photogrammetry Engineering at Yıldız Technical University. In 2001, she started to teach at the Maritime Faculty in Istanbul Technical University (ITU). She started her doctoral study in 2005 at the University of Texas in San Antonio. Within the framework of her doctoral study, she participated her first Antarctic Science Expedition in 2006 with American and Swedish scientists, during which she collected terrestrial data on sea ice observations. She then worked on the verification of satellite images also on sea ice interaction with climate change in Antarctica. Her Horizon 2020 project, joint venture with European countries, covering Arctic and Antarctic regions, was accepted in 2015, and Prof. Özsoy served as the coordinator of the project in Turkey. She is the founding director of Polar Research Center (PolReC) established at ITU in January 2015. Prof. Özsoy served as the coordinator and expedition leader of the National Turkish Antarctic Expeditions – I, - II, - III which are conducted under the auspices of the Presidency. She coordinated Turkish Antarctic Expedition-IV. Currently, she is the director of TUBITAK MAM Polar Research Institute.

DENİZ YÜZEYİNE UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE BAKIŞ

Özet

Doğal ve insan kaynaklı olan ve atmosferde sera etkisi yapan karbondioksitin %25'i denizler ve okyanuslarda çözünmektedir. Atmosfere oksijen sağlayan en önemli kaynaklar ise yine okyanuslar ve denizlerdir. Denizlerin sağlıklı kalması atmosferin de sağlıklı olması için önemlidir. Dünyanın akciğerleri olan denizler ve okyanuslar küresel iklim değişikliği ile beraber diğer doğal ve insan kaynaklı faaliyetlerden de olumsuz olarak etkilenmektedirler. Dünyanın %70'inden fazlasını kaplayan denizler tamamının sürekli olarak takip edilebilmesi ise yersel ölçümlerle mümkün olmamaktadır. Yer gözlemi olarak da adlandırılan uzaktan algılama (RS), nesne veya alan ile doğrudan temas kurmadan Dünya yüzeyindeki nesnelere veya alanlar hakkında bilgi elde etmeyi ifade eder. Bu sebeple uydu uzaktan algılama yöntemleri büyük alanların gözlemlenmesi için kullanılmaktadır.

Su kirliliği, büyük miktarlarda yabancı ve zararlı maddenin veya doğal temizleme mekanizmaları yoluyla ortadan kaldırılamayan maddelerin suya karışmasıyla oluşur. Nehirlerin, göllerin ve kıyıların yakınında yerleşimlerin geliştiği her yerde, atık bertaraf alanlarından kayıpların ve sızıntıların olduğu varsayılabılır. Su cepheleri ve su yolları boyunca çöp, kanalizasyon ve diğer insan faaliyetinin kaynakları yerel olarak denizel alana taşınır ve yine yerel olarak algilerin ve suda yaşayan makrofitlerin büyümesine sebebiyet verir. Ötrofikasyon olarak adlandırılan, sucul ekosistemde fazla besin maddesi bulunması durumu büyümeyi tetikler ve bu büyüme hem oksijen miktarını azaltır hem de diğer etkileri ile uzun vadede ekosistemin tamamına zarar verir. Göllerin, nehirlerin, kıyı sularının, iç ve sığ denizlerin ayrıca havzaların kalitesi; çevre etkisi ile beraber ekolojik durum, rekreasyon faaliyetleri ve küresel ekonomik hizmetler üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, çevresel ve ekonomik açıdan büyük öneme sahip denizler ile ilgili olarak özellikle optik sensörlerle 2021 yılında Marmara Denizi'nde kirlenme ve su kalitesine bağlı bir çevre sorunu olarak ortaya çıkan müsilajın gözlemlenmesi ele alınmıştır. Çalışmada, uydu verilerinin yersel ölçümlerle desteklenerek, sürekli gözlemlerle su kalitesinin izlenmesini, çevre felaketleri ile ilgili bir erken uyarı sistemi geliştirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler:

Deniz yüzeyi izleme, Uzaktan algılama, Marmara Denizi, Kirlilik, Müsilaj.

VIEWING THE SEA SURFACE WITH REMOTE SENSING METHODS

Abstract

25% of the carbon dioxide, which has natural and anthropogenic sources and has a greenhouse effect in the atmosphere, dissolves in the seas and oceans. The most important sources of oxygen to the atmosphere are the oceans. Keeping the seas healthy is important for the atmosphere to be healthy as well. The oceans, which are the lungs of the world, are adversely affected by global climate change as well as other natural and anthropogenic activities. Continuous monitoring of all seas, covering more than 70% of the world, is not feasible with in-situ measurements. Remote sensing, also called ground observation, refers to obtaining information on objects or areas on the Earth's surface without making direct contact. Satellite remote sensing methods are generally used for observing large areas.

Water pollution occurs when large amounts of foreign and harmful substances that cannot be removed through natural cleaning mechanisms are introduced into the water. Wherever settlements develop near rivers, lakes and coasts, leaks from waste disposal areas can be assumed to occur. Along water fronts and waterways, sources of litter, sewage and other human activity are transported locally to the marine environment, again causing the growth of algae and aquatic macrophytes locally. This growth, caused by eutrophication, both reduces the amount of oxygen and damages the entire ecosystem in the long term, with its other effects. Quality of lakes, rivers, coastal waters, inland and shallow seas and basins has a direct impact on ecological situation, recreational activities and global economic services along with the environmental impact. With regard to the seas, which are of great importance both environmentally and economically, this study deals with the observation of mucilage, especially using satellite optical sensors, which emerged as an environmental problem due to pollution and water quality in the Marmara Sea in 2021. In the study, it is also recommended to monitor the water quality with continuous observations and to develop an early warning system for environmental disasters, by supporting the satellite data with in-situ measurements.

Keywords:

Sea surface monitoring, Remote sensing, Marmara Sea, Pollution, Mucilage.

Giriş

Dünyamızın akciğerlerini iki adet olarak ifade edecek olursak, bir tanesini yağmur ormanları diğerini de okyanuslar temsil etmektedir. Dünyanın nefes almasını sağlayan bu ciğerler atmosferden karbondioksiti çeker, iklimimizi ısıtan ısı-tutucu-gazların (sera gazlarının) oluşumunu azaltır. Bu aşamada okyanusları mercek altına alacak olursak, okyanuslar atmosferdeki karbondioksiti absorbe eder. Karbondioksit, fotosentetik bitkiler tarafından büyümek adına, organik karbona dönüştürülerek kullanılır. Bu işlem normalde ormanlarda onlarca/yüzlerce yıl yaşayan büyük ağaçlar tarafından gerçekleştirilse de okyanuslarda/denizlerde her yıl birkaç haftadan fazla hayatta kalamayan mikroskobik organizmalar tarafından gerçekleştirilir. Okyanusta/denizde fotosentez yapan bu küçük organizmalara fitoplankton denir. Fitoplankton yoğunluğu genellikle klorofil konsantrasyonu ile ifade edilir (Schalles, 2006). Dünyadaki oksijen üretiminin %50'den fazlası okyanuslardaki fitoplanktonlar ve diğer fotosentetik organizmalar tarafından sağlanmaktadır. Ancak oksijenin yaklaşık %50'si yine okyanuslarda tüketilmektedir (Canfield vd., 2005).

Atmosferimizde biriken karbondioksit miktarının yaklaşık %25'inin emilimi okyanuslar tarafından gerçekleşir ve yüzeyindeki fitoplanktonlar tarafından organik karbona dönüştürülür. Bu karbon okyanusta yerini alır. Okyanusta çözünen, besin zinciri tarafından yüzeye çıkan miktarı, atmosfere salınan ve okyanusun daha derinine batan kısımları mevcuttur. 1750'lerde, atmosferik karbondioksit konsantrasyonu yaklaşık olarak 280 ppm olarak ölçülmüştür. Bu süreç birkaç bin yıl boyunca sürmüştü ve o zamandan beri sürekli artarak 1999'da 367 ppm'e ulaşmıştır. Ayrıca geçen yüzyıldaki artış oranı en azından son 20.000 yılda eş görülmemiş bir durumdur (IPCC, 2001).

Bu durumda okyanus ve denizlerimizin sağlıklı olması, deniz suyu sıcaklığının mevsim normallerindeki seyri, klorofil konsantrasyonu ve fitoplankton yoğunluğunun doğal seviyelerinin devamlılığı ekosistemin sağlıklı kalması için çok önem arz etmektedir. Bu makale, su kirliliğinin kaynakları ve su kalitesine işaret ederek, Türkiye'de son dönemlerde ciddi boyutlara ulaşan müsilaj ile ilgili güncel durum ile beraber, su kalitesinin uzaktan algılama verileri ile sınıflandırılmasına değinilecektir.

Su Kirliliğinin Kaynakları ve Ötrofikasyon

Su kirliliği, büyük miktarlarda yabancı ve zararlı maddenin veya doğal temizleme mekanizmaları yoluyla ortadan kaldırılamayan maddelerin suya karışmasıyla oluşur. İki çeşit kirlilikten bahsedebiliriz: 1) Noktasal kaynaklı 2) Noktasal kaynaklı olmayan kirlilik. Noktasal kaynaklı kirlenmede zararlı maddeler direk suya karışır. Bu durum kirleticinin izlenebilmesi veya kirleticinin ortadan kaldırılma-

sına imkân tanır. Noktasal kaynaklı olmayan kirleticiler birden fazla yolla suya karışır. Bu durum kirleticinin belirlenmesini, izlenmesini, kirlilikle mücadeleyi güç kılar. Su kirliliğinin kaynakları arasında birinci sırada tarım ve hayvancılık (gübre kirliliği, sulamanın neden olduğu tuzlanma ve suya doygunluk, tarımsal kirleticilerin havzalarda birikmesi), ikinci sırada sanayi kirliliği, üçüncü sırada evsel kirlilik, dördüncü sırada ise atmosferik çökeltme sayılmaktadır. Yeraltı sularından kaynaklı kirlilik de bu gruba ek olarak sayılabilir. Su kalitesi, belli bir kullanım alanına göre suyun durumunu niteleyen geniş anlamlı bir terimdir. Su kalitesi insan kaynaklı su kirliliği ile etkilense bile, doğal yollar ile de kalitesinde bozulmalar söz konusudur (Gautier, 2008).

Ötrofikasyon belki de su kalitesi ile ilgili ortaya çıkan en eski sorundur. Nehirlerin, göllerin ve kıyıların yakınında yerleşimlerin geliştiği her yerde, atık bertaraf alanlarından kayıpların ve sızıntıların olduğu varsayılabilir. Su cepheleri ve su yolları boyunca çöp, kanalizasyon ve diğer insan faaliyetinin kaynakları yerel olarak denizel alana taşınır ve yine yerel olarak alglerin ve suda yaşayan makrofitlerin büyümesine sebebiyet verir (Vollenweider, 1992). Ötrofikasyon aynı zamanda fosfat ve nitrat kirlenmesi olarak adlandırılır ve su ekosistemine taşınan kirleticiler içinden gübre gibi besin yönünden zengin maddelerin ekosisteminin yaşlanmasını hızlandırması ile kirlenmeye sebep olur. Ayrıca ötrofikasyon sebebiyle su kütlelerinde artış gösteren alg ve organizma miktarı artarak geniş alanları kaplar. Su kütlelerinin üzerinde toplandıkları için de su altına ışık geçirgenliğini azaltır ve su altındaki oksijen miktarında azalmaya sebep olur. Fitoplanktonik organizmaların belirli bir bölgede farklı etkenlerle azalması veya oksijen tüketen canlıların artmasının sonucu olarak, bölgesel olarak denizlerde oksijen miktarları yaşam için uygun olmayan düşük seviyelere düşebilir. Hipoksi olarak adlandırılan bu olay, dikey su kolonunda karışımın da azalması ile özellikle dip sularda neredeyse oksijenin tamamen tükenmesine sebep olmaktadır. Rabouille ve arkadaşlarının 2008'de 4 farklı bölgede yaptıkları çalışmada, 2 bölgede ötrofikasyon ve iklim kaynaklı olarak oksijen seviyesinde düşme yaşandığı ortaya konulmuştur. Ayrıca Kuzey Adriyatik Denizi'nde 1997'de görülen müsilaj ile ilgili yapılan çalışmalarda, oksijen doygunluğu seviyesinin %16'ya kadar düştüğü gözlemlenmiştir (Cozzi vd. 2004). Tomasino yaptığı çalışmada, Adriyatik Denizi için müsilajın tahmin edilmesi konusunda model çalışmaları yapmış, sadece tek bir yılın değil, birbirini izleyen yılların kümülatif etkilerinin müsilaja sebep olduğunu ortaya koymuştur (Tomasino, 1994).

Türkiye'de Oluşan Deniz Salyası/Müsilaj Güncel Durum

Müsilaj, birçok biyolojik ve kimyasal koşulun bir araya gelmesiyle oluşarak zaman içerisinde başladığı bölgede birikip, alansal olarak büyüdükten sonra yayılmaya başlayıp su yüzeyini büyük ölçekte kaplar. Fitoplanktonlar, hayvansal organizmalar olan zooplanktonlar, bunları ayrıştıran bakteriler ve çürümüş parçacıklar birleşip sümüksü, yapışkan bir yapı olan müsilaj oluşumunu meydana getirir. Müsilaj Adriyatik Denizi'nde uzun yıllar oluşum göstermiş, Türkiye'de de ilk

defa 2007-2008 yıllarında Marmara Denizi'nde görülmüştür. İlk gözlemlendiği yıllarda sadece deniz yüzeyinde bulunan müsilaj, günümüzdeki oluşumunda su kolonuna ve deniz tabanına yayılmıştır. Son zamanlarda müsilaj oluşumu sadece Marmara'da değil zaman zaman Ege Denizi kıyılarında da gözlemlenmeye başlanmıştır. Bu yapının oluşumunda temelde 3 etken mevcuttur.

Birincisi su sıcaklığı müsilaj oluşumuna etki ettiği için, mevsimsel düzensizlikler müsilaj oluşumunda etkili olmaktadır. Küresel iklim değişikliğinin bir etkisi olarak, Marmara Denizi'nin yüzey sıcaklığı her 1000 yılda 3°C artmaktadır. Son 40 yılda ise yaklaşık 1°C ısınma olduğu görülmektedir. Bir diğeri, denizdeki durgunluktur ve bu durgunluk yüzey ile dip arasındaki sirkülasyonu engellemektedir. Marmara Denizi, bağlı olduğu Karadeniz ve Ege Denizlerine nazaran daha durgundur. Bu da denizdeki karışımın daha az olmasına ve haliyle yüzey suları ile dip sularının fiziki parametrelerinde (sıcaklık, tuzluluk, çözünmüş oksijen vb.) farklılıklar ortaya çıkarmaktadır. Son olarak tarımsal, endüstriyel ve evsel atıklar da müsilajın oluşumunu etkilemektedir. Marmara Denizi'ne özellikle tarım ve endüstri alanlarından geçerek ulaşan 15'ten fazla akarsu bulunmaktadır. Ayrıca yaklaşık 25 milyon nüfusu ile Marmara Bölgesi Türkiye'nin en kalabalık coğrafi bölgesidir. Marmara Denizi havzasında bulunan arıtma tesislerinin çoğu mekanik arıtma yapmaktadır. Müsilajın olumsuz yan etkisi ise deniz tabanında sahte bir dip yapısı oluşturmasıdır. Özellikle balıkların beslenmesine, üremesi ve göçleri üzerine olumsuz etkileri olmaktadır. Ayrıca kapladığı geniş yüzey alan sebebiyle oksijen alışverişinde sıkıntı yaratmaktadır. Yine askıda katı madde yükü fazla olduğu için denizel sistemde ışık geçirgenliğini etkileyip fotosentez mekanizması üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Bu anlamda yüzeyel ve mekânsal gözlem, müsilajın bulunduğu noktaları gözlemlemek hem mücadele adına, hem de oluşumu sonrası yayılımına müsaade etmeyen bir sistem oluşturmak adına çok önemlidir. Gözlem sistemleri çeşitli uydulardan alınan veriler ile mümkün olmakla beraber, uydu görüntülerini tamamlayıcı yersel verileri toplamak gerekmektedir.

Uzaktan algılama teknikleri, müsilaj olaylarının kapsamını ve yoğunluğunu izlemek ve araştırmak için yararlı bir araç sağlamaktadır (Berthon vd., 2000). Deniz yüzeyindeki müsilajın gözlemlenmesi için görünür ve kızılötesinde dalga boylarında uzaktan algılama bilgilerinin kullanımı ise yaklaşık 30 yıldır gerçekleştirilmektedir (Zambianchi vd., 1992; Tassan, 1993).

Şekil 1'de 22 Mayıs 2021 tarihinde alınmış Erdek Körfezi ve Marmara adasını kapsayan Sentinel-2 RGB (4, 3, 2) bandında uydu görüntüsü gösterilmektedir. Müsilajın deniz yüzeyindeki dramatik miktarı dikkat çekmektedir. Kırmızı dikkörtgen alan içinde konsantrasyonun yüksek olduğu alanlar gösterilmektedir. Deniz yüzeyinde bulunan müsilajın özellikle yüzey akıntıları ve rüzgarlarla taşındığı dikkate alındığında, körfezler gibi korunaklı alanlarda birikmekte olduğu görülmektedir.



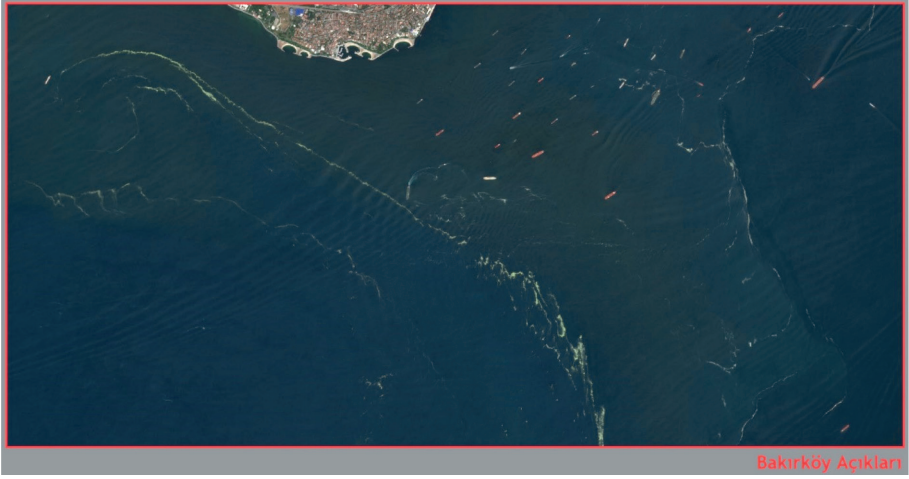
22 Mayıs 2021, Sentinel 2

Erdek Körfezi ve Marmara Adası

Şekil 1. Mayıs 2021'de Müsilajın deniz yüzeyinde kapladığı alanı gösteren Sentinel-2 uydusu

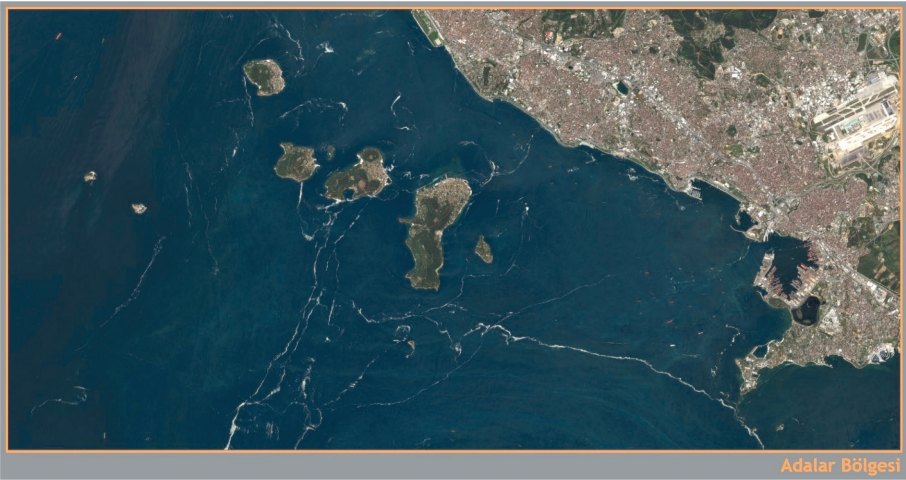


Şekil 2. Haziran 2021'de Marmara bölgesi kıyı şeridindeki müsilajın güncel durumu – Sentinel-2 uydusundan elde edilmiş görüntülerde bölgesel durum



Şekil 3. Şekil 2’de kırmızı renk ile işaret edilen Bakirköy açıkları için Sentinel-2 uydusundan elde edilmiş müsilaj görüntüsü (görüntüde ayrıca demir alanındaki gemilerde net bir şekilde görülmektedir)

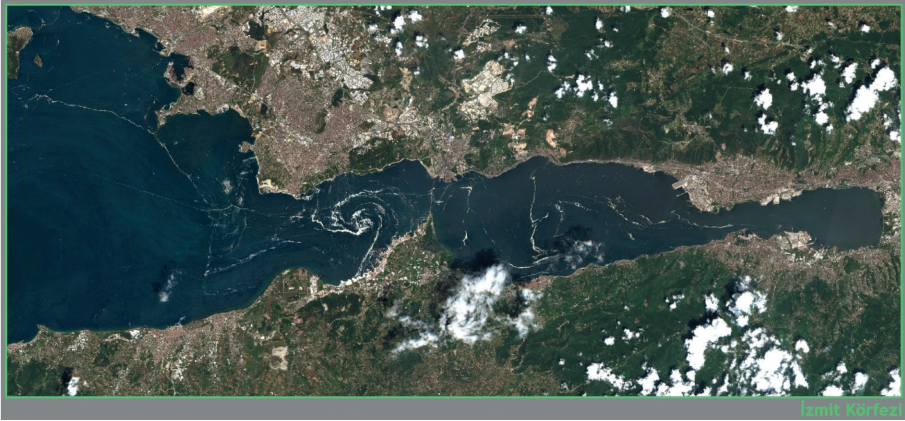
Şekil 2’de Haziran 2021’de Marmara Bölgesi kıyı şeridindeki müsilaja ait güncel durum Sentinel-2 uydusundan elde edilmiş görüntüler ile gösterilmektedir. Şekil 3 Bakirköy açıklarını, Şekil 4 Adalar bölgesini, Şekil 5 Gemlik Körfezi’ni, Şekil 6 İzmit Körfezi’ni göstermektedir. Uydu görüntülerinde herhangi bir işleme ve analiz yapılmamış hali ile paylaşılan görüntülerde müsilaj alanları net bir şekilde uzun şeritler halinde görülmektedir.



Şekil 4. Şekil 2’de turuncu renk ile işaret edilen Adalar bölgesi için Sentinel-2 uydusundan elde edilmiş müsilaj görüntüsü



Şekil 5. Şekil 2'de mor renk ile işaret edilen Gemlik körfezi için Sentinel-2 uydusundan elde edilmiş müsülaj görüntüsü



Şekil 6. Şekil 2'de yeşil renk ile işaret edilen İzmit Körfezi için Sentinel-2 uydusundan elde edilmiş müsülaj görüntüsü

Su Kalitesinin Uzaktan Algılama Verileri ile Sınıflandırılması

Yer gözlemi olarak da adlandırılan uzaktan algılama (RS), nesne veya alan ile doğrudan temas kurmadan Dünya yüzeyindeki nesnelere veya alanlar hakkında bilgi elde etmeyi ifade eder (Aggarwal, 2004). Uzaktan algılama uyduları, yer küre için düşünüldüğünde, yer yüzeyindeki parametrelerin zamansal değişimlerini anlamak ve değerlendirmek adına kullanılan bir teknolojidir. Özellikle yersel ölçümlerin kolay olmadığı deniz/okyanus alanları başta olmak üzere büyük alanları/yüzeyleri sürekli olarak gözlemlemek adına uzaktan algılama verileri kullanılır. Uyduların sensörlerinin yörüngede dolanarak topladığı görüntülerden elektromanyetik spektrum içindeki belirli bölgelerde, Dünya'nın yüzey suyuna ait veriler analiz edilir. Alınan verilerin analizleri sonucu bakılmak istenen para-

metrelere yönelik sonuçlar ortaya konur. Özellikle uydudan türetilen endeksleri kullanarak ulusal iç ve kıyı suları için uzaktan izleme en etkin yöntemdir. Bu bölümde dünya yüzey suyuna ait ölçümleri yapan uydulara değinilecektir.

Algal klorofil-a'dan diğer alg olmayan partiküllere kadar su kolonunda asılı duran optik olarak aktif bileşenler (askıda katı madde ve renkli çözünmüş organik maddeler gibi), elektromanyetik spektrumda farklı dalga boylarında gözlemlendiklerinde farklı 'spektral' profil sergilerler. Örneğin NASA'nın Landsat uydusu ve ESA'nın Sentinel-2 Multi Spektral uydusu gibi farklı Dünya gözlem uydularındaki çeşitli sensörler, bu profillerin bölümlerini sensöre özgü dalga boylarında yakalayabilir. Böylece ilgilenilen belirli su kalitesi değişkenlerinin görüntülenmesi mümkün olur. Örneğin, Sentinel-2, yüksek konsantrasyonda alg ve bulanıklığı tespit etmek için ideal olan üç kırmızı kenar bandına (5-7) sahiptir. 705, 740 ve 783 nm dalga boyuna merkezlenmiş bu spektral bantlar, su kalitesiyle ilgili optik olarak aktif bileşenlerin spesifik yansımalarını ölçmeyi hedefleyerek farklı kombinasyonlarda değerlendirilir. Bu bantlarda yersel çözünürlük 20 metredir. Belirli bir su kalitesi değişkeni tarafından gönderilen sinyalin, parametresel değerlendirmesini ve katkısı ölçmek için bir "spektral indeks" geliştirilmiştir. Örneğin alg klorofilinden kaynaklanan yansıma yoğunluğu bu şekilde rahatlıkla ölçülmektedir.

Su kalitesine yönelik Florida sığ subtropikal lagün siyanobakteri patlamasını Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradiometresi (MODIS) uydusuna ait verileri kullanarak tespit etmişlerdir (Cannizzaro vd., 2019). Yazarlar, MODIS kullanarak, sınıflandırma kriterlerini klorofil-a konsantrasyonları ile siyanobakteri patlamalarını tespit etmek için belirleyen MODIS siyanobakteri indeksini birleştirmek için yeni bir yaklaşıma dayalı yöntem kullanmışlardır.

MODIS, Terra ve Aqua uydularında bulunan önemli bir araçtır. Terra'nın Dünya çevresindeki yörüngesi, sabahları ekvatoru kuzeyden güneye geçecek şekilde, Aqua öğleden sonra ekvator üzerinden güneyden kuzeye geçecek şekilde zamanlanmıştır. Terra MODIS ve Aqua MODIS, her 1 ila 2 günde bir tüm Dünya yüzeyini inceleyerek, 36 spektral bantta veri almaktadır.

Ayrıca Petersson ve Pozdnyakov, (2012) dünyanın birçok bölgesinde siyanobakteri patlamasına ait dinamiklerin uydu uzaktan algılama yöntemleri ile haritalamasını büyük bir başarıyla yaygınlaştırmışlardır. Sayer vd. (2019) ABD'de Erie Gölünün Batı Havzasında zararlı alg patlamalarını MODIS ve Deniz Görüşlü Geniş Görüş Alanı Sensörü (SeaWiFS) uydularından izleyerek 20 yıllık bir zaman serisi oluşturmuşlardır.

Deniz Görüşlü Geniş Görüş Alanı Sensörünün (SeaWiFS) amaçları, okyanus yüzeyinin ortalama ve değişken biyo-optik yansıma özelliklerini belirlemek ve gözlemlenen varyasyonlardan sorumlu süreçleri anlamaktır. SeaWiFS, biyojeo-kimyasal süreçler, iklim değişikliği ve oşinografi araştırmaları için okyanus parlaklığının küresel yüksek hassasiyetli, orta çözünürlüklü, multispektral görünür gözlemlerini elde etmek için tasarlanmıştır. SeaWiFS cihazı, spektrumun görü-

nür/yakın kızılötesi (VNIR) bölgelerinde 1 km uzamsal çözünürlüğe sahip sekiz spektral banttan oluşur.

Landsat 2 ve Kıyı Bölgesi Renkli Tarayıcı (CZCS) optik uydu platformları ile siyanobakterilerin birikmeleri Baltık Denizi'nde (Ulbricht,1983) ve güneybatı tropikal Pasifik Okyanusu (Dupouy vd., 1988) tarafından tespit edilmiştir.

Landsat 2, Dönüş Işınlı Vidicon (RBV) ve Multispektral Tarayıcı Sistem (MSS) sensörleri ile 7 bantta veri toplayan bir platform olarak 1975-1983 yılları arasında çalışmıştır. 68 m x 83 m çözünürlüğe sahip MSS ile 0,5-1,1 μm aralığında veriler toplanmıştır. CZCS, dördü esas olarak okyanus rengi için kullanılan altı spektral banta sahipti. Bunlar 443, 520, 550 ve 670 nm merkezli 20 nanometre bant genişliğine sahipti. Bant 5, 750 nm merkezli 100 nm bant genişliğine ve kara için daha uygun bir dinamik aralığa sahipti. Bant 6, 10,5 ila 12,5 mikrometre (μm) bölgesinde çalıştırıldı ve eşdeğer siyah cisim sıcaklığının türetilmesi için yayılan termal ışınımı algıladı.

Ayrıca gelişmiş çok yüksek çözünürlüklü radyometre (AVHRR) ile alınan termal görüntüler, deniz yüzeyi sıcaklığındaki yerel artışları ilişkilendirmek için Kahru vd., (1993) tarafından kullanıldı. Budd ve Warrington (2004), Superior Gölü için uydu bazlı tortu ve klorofil tahminlerini SeaWiFS uydusu ile tamamlamışlardır. Superior Gölü için çıkardıkları genel sonuç, ABD'nin diğer kıyı bölgeleri için geliştirilmiş algoritmalara benzer, bölgesel bir klorofil algoritmasıdır. Birincil üretim, karbon döngüsü, biyojeokimyasal döngüler ve genel iç/kıyı su kalitesi ile ilgili büyük ölçekli ve çok zamanlı çalışmalar için, bulanık sularda klorofil-a ve fitoplankton biyokütlesi gibi biyofiziksel parametrelerin uzaktan algılama ile de doğru ölçümüne istinaden, Mishra ve Mishra (2012) Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MERIS) uydu verilerini kullanarak sulardaki klorofil-a miktarını belirlemek için yeni bir indeks önermektedirler.

Bunların yanı sıra uydudan türetilmiş batimetri, uzay tabanlı lazer batimetrisinden hesaplanan deniz ve tatlı su derinlikleri, ICESat-2 LiDAR'dan kıyı profilleri su kalitesi ve berraklık izleme, uydular kullanılarak su koşullarının uzaktan izlenmesi kıyı ve deniz tabanı sınıflandırması, modelleme ve mekansal analiz için çok kaynaklı yükseklik ürünleri dünya yüzey suyuna ait verileri bize sağlayarak resmi tamamlamaktadır.

NASA'nın Buz, Bulut ve Kara Yüksekliği Uydu-2 (ICESat-2) Eylül 2018'de fırlatıldı. Uydu öncelikli olarak buzküreye odaklanarak, yüksekliğin küresel olarak ölçülmesini ve izlenmesini, üzerinde bulunan ATLAS (Gelişmiş Topografik Lazer Altimetre Sistemi) isimli yeşil dalga boyunda foton sayar lidar sensörle gerçekleştirmektedir. Parish vd. 2019 yılında buzküreye için kullanılan bu uydunun verilerinden, sığ bölgelere dair batimetrik ölçümler türetmiş ve bunları yersel olarak doğrulamışlardır. Albright ve Glennie ise 2020 yılında ICESat-2 ile Sentinel 2 uydu verilerini kullanarak yakın kıyısal batimetrik gözlemler yapmışlardır. Bunların yanı sıra 2020 yılında Lu ve arkadaşları Güney Okyanusu'nda fitoplankton patlamalarını yine ICESat-2 verilerini kullanarak gözlemlemişlerdir.

Müsilaj ile ilgili önemli bir parametre olan deniz dalga ve rüzgâr durumu ile ilgili veriler de ICESat-2'den elde edilen verilerden türetilmektedir (Klotz vd., 2020; Horvat vd., 2020; Lu vd., 2019).

Sadece uydu uzaktan algılama verileri değil, İHA, uçak ve helikopterler ile alınan veriler ve yersel görüntüler de belirli bölgeleri taramak için kullanılmaktadır (Zambianchi vd., 1992; Yueh vd., 1995; Hagan vd., 1997; Joyce vd., 2019).

Sonuç

Göllerin, nehirlerin, kıyı sularının, iç denizlerin ve havzaların kalitesi, ekolojik durum, rekreasyon faaliyetleri ve küresel ekonomik hizmetler üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu büyük ölçekli alanların rutin olarak izlenmesi, kaynakların sürdürülebilirliği ve uluslararası çevre standartlarını sağlamak için gereken bilgileri sağlayacaktır. Olumlu ve olumsuz statüde karşımıza çıkan iklim değişikliği senaryoları, alınan yeni verilerle güncellenmekte ve gün geçtikte olumsuz tarafları ağır basmaktadır. Dünyanın ciğerleri olan deniz ve okyanuslarımızı korumak için, oluşan çevresel etkileri sürekli izlememiz önem arz etmektedir. Deniz bölgelerinin çevresel olarak izlenmesi, ayrıca artan nüfusa bağlı olarak yüksek miktardaki kirleticilerin etkilerini görmek açısından ve özellikle küresel iklim değişikliğinin yarattığı olumsuzlukları takip etmek açısından gereklidir.

Var olan uydu uzaktan algılama teknolojileri, su kolonunun tamamı hakkında yeterli bilgi sağlayamasa da, özellikle yüzey suyu kalitesine dair parametrelerin izlenmesi için yeterlidir. Elde edilecek veriler ile modelleme çalışmaları ile yalnız güncel değil geleceğe yönelik tahminler yapmak mümkündür.

Gelişmiş uydu teknolojileri ile uydu verilerini doğrulamaya ve tamamlamaya yönelik yersel ölçümlerin de sistematik olarak alınması, ileride oluşacak felaketlerin, denizel alandaki uç biyolojik oluşumların engellenmesine vesile olacaktır. Denizel alanların doğal döngüsünü korumak, ekosistemin devamlılığı için uydu ve yersel veriler ile sürekli takibinin yapılması ve erken uyarı sisteminin kurulması elzemdir.

Kaynakça / References

- Aggarwal, S. (2004). *Principles of remote sensing*. Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology, 23, 23-28.
- Alberotanza, L. (1999, December). Adriatic Sea remote sensing and monitoring results in the framework of the PRISMA 2 project. In *Remote Sensing for Earth Science, Ocean, and Sea Ice Applications* (Vol. 3868, pp. 550-555). International Society for Optics and Photonics.
- Albright, A., & Glennie, C. (2020). *Nearshore Bathymetry From Fusion of Sentinel-2 and ICESat-2 Observations*. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters.
- Berthon, J. F., Zibordi, G., & Hooker, S. B. (2000). Marine optical measurements of a mucilage event in the northern Adriatic Sea. *Limnology and oceanography*, 45(2), 322-327.
- Budd, J. W., & Warrington, D. S. (2004). Satellite-based sediment and chlorophyll a estimates for Lake Superior. *Journal of Great Lakes Research*, 30, 459-466.
- Cannizzaro, J. P., Barnes, B. B., Hu, C., Corcoran, A. A., Hubbard, K. A., Muhlbach, E., ... & Kelble, C. R. (2019). Remote detection of cyanobacteria blooms in an optically shallow subtropical lagoonal estuary using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111227.
- Cozzi, S., Ivančić, I., Catalano, G., Djakovac, T., & Degobbis, D. (2004). Dynamics of the oceanographic properties during mucilage appearance in the Northern Adriatic Sea: analysis of the 1997 event in comparison to earlier events. *Journal of Marine Systems*, 50(3-4), 223-241.
- Dupouy, C., Petit, M., Dandonneau, Y., 1988. Satellite detected cyanobacteria bloom in the southwestern tropical Pacific implication for oceanic nitrogen fixation. *Remote Sens.* 9 (3), 389-396.
- Gautier, C. (2008). *Oil, water, and climate: an introduction*. Cambridge University Press.
- Hagan, D., Rogers, D., Friehe, C., Weller, R., & Walsh, E. (1997). Aircraft observations of sea surface temperature variability in the tropical Pacific. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 102(C7), 15733-15747.
- IPCC (2001) TAR-3 The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide
- Joyce, K. E., Duce, S., Leahy, S. M., Leon, J., & Maier, S. W. (2019). Principles and practice of acquiring drone-based image data in marine environments. *Marine and Freshwater Research*, 70(7), 952-963.
- Kahru, M., Leppanen, J. M., & Rud, O. (1993). Cyanobacterial blooms cause heating of the sea surface. *Marine Ecology Progress Series*, 1-7.
- Klotz, B. W., Neuenschwander, A., & Magruder, L. A. (2020). High-resolution ocean wave and wind characteristics determined by the ICESat-2 land surface algorithm. *Geophysical Research Letters*, 47(1), e2019GL085907.
- Lancelot, C. (1995). The mucilage phenomenon in the continental coastal waters of the North Sea. *Science of the total environment*, 165(1-3), 83-102.
- Lu, X., Hu, Y., Yang, Y., Bontempi, P., Omar, A., & Baize, R. (2020). Antarctic spring ice-edge blooms observed from space by ICESat-2. *Remote Sensing of Environment*, 245, 111827.
- Mishra, S., & Mishra, D. R. (2012). Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*, 117, 394-406.
- Parrish, C. E., Magruder, L. A., Neuenschwander, A. L., Forfinski-Sarkozi, N., Alonzo, M., & Jasinski, M. (2019). Validation of ICESat-2 ATLAS bathymetry and analysis of ATLAS's bathymetric mapping performance. *Remote sensing*, 11(14), 1634.

- Pettersson, L. H., & Pozdnyakov, D. (2012). *Monitoring of harmful algal blooms*. Springer Science & Business Media.
- Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C. R., Pečar, O., & Paschini, E. (2005). Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic in the period 1999–2002: typology and distribution. *Science of the Total Environment*, 353(1-3), 10-23.
- Rabouille, C., Conley, D. J., Dai, M. H., Cai, W. J., Chen, C. T. A., Lansard, B., ... & McKee, B. (2008). Comparison of hypoxia among four river-dominated ocean margins: The Changjiang (Yangtze), Mississippi, Pearl, and Rhone rivers. *Continental Shelf Research*, 28(12), 1527-1537.
- Sayers, M. J., Grimm, A. G., Shuchman, R. A., Bosse, K. R., Fahnenstiel, G. L., Ruberg, S. A., & Leshkevich, G. A. (2019). Satellite monitoring of harmful algal blooms in the Western Basin of Lake Erie: A 20-year time-series. *Journal of Great Lakes Research*, 45(3), 508-521.
- Schalles, J. F. (2006). Optical remote sensing techniques to estimate phytoplankton chlorophyll a concentrations in coastal. In *Remote sensing of aquatic coastal ecosystem processes* (pp. 27-79). Springer, Dordrecht.
- Tassan, S. (1993). An algorithm for the detection of the White-Tide (“mucilage”) phenomenon in the Adriatic Sea using AVHRR data. *Remote sensing of environment*, 45(1), 29-42.
- Tomasino, M. G. (1996). Is it feasible to predict “slime blooms” or “mucilage” in the northern Adriatic Sea?. *Ecological modelling*, 84(1-3), 189-198.
- Ulbricht, K.A., 1983. Cover photograph LANDSAT image of blue green algae in the Baltic sea. *Int. J. Remote Sens.* 4(4), 801–802.
- Vollenweider, R. A. (1992). Coastal marine eutrophication: principles and control. In *Marine coastal eutrophication* (pp. 1-20). Elsevier.
- Yueh, S. H., Wilson, W. J., Li, F. K., Nghiem, S. V., & Ricketts, W. B. (1995). Polarimetric measurements of sea surface brightness temperatures using an aircraft K-band radiometer. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(1), 85-92.
- Zambianchi, E., Calvitti, C., Cecamore, P., D'Amico, F., Ferulano, E., & Lanciano, P. (1992). The mucilage phenomenon in the Northern Adriatic Sea, summer 1989: a study carried out with remote sensing techniques. In *Marine Coastal Eutrophication* (pp. 581-598). Elsevier.