

**MARMARA DENİZİNDEKİ MÜSİLAJ OLAYININ
UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE
TESPİTİ VE İZLENMESİ**

**DETECTION AND MONITORING OF THE
MUCILAGE OCCURRENCE IN THE MARMARA
SEA WITH REMOTE SENSING TECHNOLOGIES**

Prof. Dr. Taşkın Kavzoğlu
TÜBA Asosye Üyesi /TÜBA Associate Member

Doç. Dr. İsmail Çölkesen
Prof. Dr. Umut Güneş Sefercik

**Prof. Dr. Taşkın Kavzoğlu / Gebze Teknik Üniversitesi /
kavzoglu[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-9779-3443**

Taşkın Kavzoğlu, uzaktan algılama alanında 20 yılı aşkın araştırma deneyimine sahip kıdemli bir araştırmacıdır. Lisans derecesini Karadeniz Teknik Üniversitesi'nden sınıf birincisi olarak, Yüksek Lisans derecesini Nottingham Üniversitesinde onur öğrencisi olarak ve doktorasını aynı üniversitede uzaktan algılama alanında başarıyla tamamlamıştır. Doktora tez çalışması İngiltere Uzaktan Algılama ve Fotogrametri Derneği tarafından 2001 yılının en iyi doktora tezi olarak seçilmiş ve ödüllendirilmiştir. 1998'deki ilk yayımından bu yana, hakemli dergilerde ve konferans bildirilerinde 100'den fazla yayını bulunmaktadır. Halen Gebze Teknik Üniversitesi'nde Mühendislik Fakültesi Dekanı olarak görev yapmakta olup Türk ve Malezya üniversitelerinde lisansüstü tezler için sınav jürisi olarak görevler yapmaktadır. Başlıca araştırma alanları; doğal kaynakların uzaktan algılama ile izlenmesi, derin öğrenme, makine öğrenimi, zamansal değişim analizleri, nesne tabanlı görüntü analizi ve heyelan duyarlılık haritalamasıdır. Birçok ulusal ve uluslararası oturumunda başkan olarak görev yapan Prof. Kavzoğlu, 6 dergide editörler kurulunda yer almakta ve 120'den fazla dergi için aktif hakemlik görevi yürütmektedir. Türkiye Bilimler Akademisi, Uzaktan Algılama ve Fotogrametri Derneği (İngiltere), Amerikan Jeofizik Birliği, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği ve IEEE Yerbilimi ve Uzaktan Algılama Birliği üyesidir.

**Prof. Dr. Taşkın Kavzoğlu / Gebze Technical University /
kavzoglu[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-9779-3443**

Taskin Kavzoglu is a senior researcher with more than 20 years of experience in Earth observation and remote sensing. He received his B.Sc. as the first student in his class from Karadeniz Technical University, M.Sc. (with Distinction) and Ph.D. in Remote Sensing from Nottingham University (UK). His dissertation was selected and awarded as the best doctoral dissertation of 2001 by the Remote Sensing and Photogrammetry Society. Since his first publication in 1998, he has now author of more than 100 papers in peer-reviewed journals and conference proceedings. Currently, he is Acting Dean of Engineering Faculty and has been acting as an external examiner for graduate thesis in Turkish and Malaysian universities. His research interests include remote sensing of natural resources, deep learning, machine learning, change detection, object-based image analysis and landslide susceptibility mapping. Acting as a chairman in many national and international conference sessions, Prof. Kavzoglu is in the editorial board of six journals and acts as a reviewer for more than 120 scientific journals. He is a member of Turkish Academy of Sciences, the Remote Sensing and Photogrammetry Society (UK), American Geophysical Union, Turkish Photogrammetry and Remote Sensing Society and IEEE Geoscience and Remote Sensing.

**Doç. Dr. İsmail Çölkesen / Gebze Teknik Üniversitesi /
icolkesen[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0001-9670-3023**

Lisans eğitimini Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümü bölüm birincisi olarak tamamlayan İsmail Çölkesen, doktora derecesini uzaktan algılama alanında İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümünden almıştır. Şu an Gebze Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünde Doçent Doktor olarak görev yapmaktadır. İlgi alanları arasında dijital görüntü işleme, arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırması, nesne tabanlı görüntü analizi, makine öğrenmesi (destek vektör makineleri, karar ağaçları, rastgele orman, toplu öğrenme algoritmaları ve derin öğrenme) ve uygulamaları yer almaktadır. Son 12 yılda, arazi örtüsü/razi kullanımı sınıflandırması dışında, heyelan duyarlılık haritalaması ve taşınmaz değerlendirilmesi olmak üzere makine öğrenmesine dayalı farklı uygulamalar üzerinde çalıştı. 20’den fazla uluslararası dergide yayınlanmış makale dahil olmak üzere 60’tan fazla yayının yazarlığını veya ortak yazarlığını yapmıştır. 2015 yılından itibaren Lisans ve Yüksek Lisans düzeyinde uzaktan algılama, sayısal görüntü işleme ve bilgisayar programlama ile ilgili dersler vermekte ve öğrencilere danışmanlık yapmaktadır.

**Assoc. Prof. Dr. İsmail Colkesen / Gebze Technical University /
icolkesen[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0001-9670-3023**

Ismail Colkesen received his B.Sc. in Geodesy and Photogrammetry as the first student in his class from Karadeniz Technical University (Turkey) and received the Ph.D. degree in remote sensing from the Department of Geomatics Engineering of Istanbul Technical University (Turkey), in 2015. He is currently an Associate Professor in the department of Geomatics Engineering at Gebze Technical University. His research interests include digital image processing, land use and land cover classification, object-based image analysis, machine learning (support vector machines, decision trees, random forest, ensemble learning algorithms and deep learning) and its applications. Over the past 12 years, he has worked on different applications of machine learning, including but not limited to land cover/land use classification, landslide susceptibility mapping and mass appraisal. He has authored or coauthored more than 60 publications, including over 20 peer-reviewed journal publications. He has been teaching courses related to remote sensing, digital image processing and computer programming, supervising students at the undergraduate and graduate levels since 2015.

Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK / Gebze Teknik Üniversitesi / sefercik[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-2403-5956

Umut Güneş Sefercik Gebze Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünde Profesör olarak görev yapmaktadır. Harita Mühendisliği lisans eğitimini Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nde (ZBEÜ) 2003 yılında tamamlamıştır. Yüksek lisansını 2006 yılında SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 'den elde edilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluk analizleri konusunda ZBEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (FBE) ve Leibniz Hannover Üniversitesi (Almanya) Fotogrametri ve Geoinformasyon Enstitüsü (IPI) ortaklığında tamamlamıştır. Doktorasını 2010 yılında, TerraSAR-X Radar Uydusunun İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (InSAR) görüntülerinden sayısal yükseklik modellerinin üretimi ve değerlendirilmesi konusunda yine ZBEÜ FBE ve Leibniz Hannover Üniversitesi IPI'de yürüttüğü çalışmalar ile tamamlamıştır. Post-doktorasını 2014 yılında, Houston Üniversitesi (ABD) Hava Kaynaklı Lazer Haritalama Ulusal Merkezi'nde yapmıştır. Ulusal ve uluslararası dergilerde ve bilimsel etkinliklerde sunulmuş çok sayıda basılı eseri, editör kurulu üyelikleri ve hakemlikleri bulunmaktadır. Uzmanlık alanları, uzaktan algılama verileri ile harita üretimi temelinde hava kaynaklı lazer tarama, optik ve lazer insansız hava aracı, InSAR, radargrametri, dijital fotogrametri ve harita ürünlerine sanal gerçeklik entegrasyonudur. 2015-2020 yılları arasında Üniversite Senatörlüğü, Teknopark Genel Müdürlüğü, Sivil Havacılık Yüksekokul Müdürlüğü ve Üniversite-Sanayi İşbirliği Araştırma ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü görevlerini yürütmüştür.

Prof. Dr. Umut Gunes Sefercik / Gebze Technical University / sefercik[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-2403-5956

Umut Güneş Sefercik is a Professor at Gebze Technical University, Department of Geomatics Engineering. He completed his undergraduate education in Geomatics Engineering at Zonguldak Bülent Ecevit University (ZBEÜ) in 2003. He completed his MSc in 2006 on the accuracy analysis of digital elevation models (DEM) derived from SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) in partnership with ZBEÜ Graduate School of Natural and Applied Sciences (FBE) and Leibniz Hannover University (Germany) Photogrammetry and Geoinformation Institute (IPI). He completed his PhD in 2010 with his studies at ZBEÜ FBE and Leibniz Hannover University IPI on the generation and evaluation of DEMs from Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) images of TerraSAR-X Radar Satellite. He completed his post-doctoral in 2014 at University of Houston (USA) National Center for Airborne Laser Mapping. He has many published works presented in national and international journals and scientific events, member of editorial board and refereeing. His areas of expertise are airborne laser scanning, optical and laser unmanned aerial vehicle, InSAR, radargrammetry, digital photogrammetry based on map generation with remote sensing data and virtual reality integration into map products. Between 2015-2020, he served as University Senator, Technopark CEO, Civil Aviation School Director and University-Industry Cooperation Research and Development Center Director.

MARMARA DENİZİNDEKİ MÜSİLAJ OLAYININ UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE TESPİTİ VE İZLENMESİ

Özet

Küresel ısınmanın karasal alanlarda olduğu gibi denizlerde de doğal dengeyi bozan etkileri bulunmaktadır. Adriyatik ve Tiren denizlerinde 200 yılı aşkın süredir sıklıkla yaşanan müsilaj olayları, Marmara Denizinde ilk kez 2007 yılında gözlemlenmiş, 2021 yılı mayıs ayından itibaren ise tekrar yoğun şekilde ortaya çıkarak doğal bir felakete dönüşmüştür. Deniz yüzeyinde geniş alanlar kaplayan müsilaj, deniz altındaki canlı hayatını da ciddi şekilde tehdit etmektedir. Müsilajın alansal büyüklüğünün, yoğunluğunun, zamansal hareketinin ve deniz suyu ile arasındaki ısı farkının takibi ve sahada yürütülen temizlik çalışmalarının etkilerinin tespiti için uzaktan algılama teknolojileri etkin bir çözümdür. Periyodik olarak üretilen müsilaj dağılım haritaları, deniz yüzeyindeki toplam müsilaj hacminin hesaplanması, rehabilitasyon çalışmalarının yürütülmesi ve alınacak önlemlerin belirlenmesi başta olmak üzere birçok faaliyet için temel altlık konumundadır. Bu çalışmada, Sentinel-2 uydu görüntüsünün dört spektral bandı arasındaki ilişkiyi kullanan ‘müsilaj indeksi’ ile müsilaj kaplı alanların tespiti hedeflenmiştir. Bu indeksten faydalanılarak 14, 19 ve 24 Mayıs 2021 tarihli uydu görüntüleri için müsilaj indeksi haritaları oluşturulmuştur. Sentinel-2 için tanımlanan müsilaj indeksi ile müsilaj oluşumlarının hızlı bir şekilde tespit ve analizinde önemli bir veri seti oluşturulabileceği görülmüştür. Ayrıca 17 Mayıs 2021 tarihli Landsat-8 termal uydu görüntüsü yardımıyla temiz deniz yüzeyi ve müsilaj oluşumlarının yüzey sıcaklıkları analiz edilmiştir. Sonuç olarak, müsilaj alanlarının yüzey sıcaklığının ortalama deniz yüzey sıcaklığına göre 3°C’ye kadar daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, uzaktan algılamanın erken uyarı ve hazırlık çalışmalarındaki etkinliğini ve afet riski yönetiminde vazgeçilmez bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler:

Müsilaj, Uzaktan Algılama, Uydu Görüntüleri, Marmara Denizi.

DETECTION AND MONITORING OF THE MUCILAGE OCCURRENCE IN THE MARMARA SEA WITH REMOTE SENSING TECHNOLOGIES

Abstract

Global warming has effects that disrupt the natural balance in seas as well as terrestrial areas. The mucilage events, which have been experienced frequently in the Adriatic and Tyrrhenian seas for more than 200 years, were observed for the first time in the Marmara Sea in 2007. Since May 2021, it has turned into a natural disaster that has emerged intensively. The mucilage, which started to cover large areas on the sea surface, has also seriously threatened the living life under the sea. Remote sensing technologies are effective in monitoring the areal extent, density, temporal movement, and temperature difference of the mucilage and determining the effects of the cleaning works carried out in the field. The basis for many studies, especially rehabilitation studies that can be carried out in mucilage areas, the measures to be taken in the areas where it is directed, the calculation of the total mucilage volume by matching the thickness map of the mucilage layer, are the mucilage distribution maps produced periodically. In this study, a mucilage index using the relationship between the four spectral bands of the Sentinel-2 satellite image was defined. Using this index, mucilage index maps were created for satellite images dated 14, 19 and 21 May 2021. With the mucilage index introduced for Sentinel-2, an important data set can be generated in the rapid detection and analysis of mucilage formations. In addition, surface temperatures of clean sea surface and mucilage formations were analysed using the thermal band of Landsat-8 satellite image acquired on May 17, 2021. As a result, it was determined that the surface temperature of mucilage formations was about 3°C higher than the mean sea surface temperature. The findings revealed that remote sensing can be used to improve early warning and preparedness, therefore it is an indispensable tool in disaster risk management.

Keywords:

Mucilage, Remote Sensing, Satellite Images, Sea of Marmara.

GİRİŞ

Son yüzyılda gerçekleşen buzulların erimesi, volkanik hareketlilikler, depremler ve beraberinde yaşanan tsunami olaylarının temel nedeni, iklim değişikliği ve bunun sonucu olan küresel ısınmadır (McGuire, 2010). Bununla birlikte, sanayileşme ve hızlı nüfus artışı özellikle deniz alanları üzerinde baskı oluşturmakta ve doğal yaşamı etkileyen birçok problemi beraberinde getirmektedir. Uzaktan algılama teknolojisi iklim sistem değişiklikleri ile sanayileşme ve hızlı nüfus artışının etkilerini araştırmak için yoğun şekilde kullanılmaktadır (Seto & Christensen 2013; Ernest vd., 2017; Milesi & Churkina, 2020). Uzak platformlarından sağlanan uzaktan algılama verileri farklı amaçlardaki bilimsel çalışmalar için kullanılmaktadır (Rogan & Chen 2004; Weiss vd., 2019; Lechner vd., 2020; Mertikas vd., 2021). Özellikle geniş çalışma alanlarındaki uygulamalar için tercih edilen uydu görüntüleri, dünya yüzeyini, okyanusları ve atmosferi çeşitli mekânsal-zamansal çözünürlüklerde sürekli olarak izlemektedir (Fu vd., 2020). Uydu görüntüleri, iklimle ilgili süreçleri, ormansızlaşma ve el Niño etkilerini kısa ve uzun vadeli olayları araştırmakta da kullanılmaktadır. Uzaktan algılama, tehlikeli veya erişilemeyen alanlarda bilgi ve veri toplamaya da imkân tanımaktadır. Karbon stoklarının değerlendirilmesi ve ilgili dinamikleri, iklim sistemi dinamiğinin simüle edilmesi, iklim değişikliği araştırmalarında yaygın olarak kullanılan iklim projeksiyonlarında, meteorolojik verilerin toplanması ve analizlerinde uzaktan algılama teknolojilerinden faydalanılmaktadır.

Uzaktan algılama, objeleri veya olayları doğrudan temas etmeden havadan veya uzaydan elektromanyetik dalgalara verdiği tepkiye göre analiz eden bir bilim dalıdır. Uzaktan algılama ile sadece dünya yüzeyi üzerindeki olaylar değil ay ve diğer gezegenler hakkında da bilgi toplanmaktadır. Hava kaynaklı uzaktan algılama teknolojilerinin ilk kullanımı 20. yüzyılın başları iken, yeryüzüyle ilgili hemen hemen her alanda araştırma yapma imkânı sunan uzay kaynaklı uzaktan algılama teknolojisi, 1972 yılında sivil amaçlı kullanım için uzaya gönderilen Landsat-1 uydu platformuyla birlikte bilim camiası tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Landsat-1 misyonuyla başlayan serüvende 31.12.2020 tarihi itibarıyla dünya yörüngesinde aktif uydu sayısı 3.372'ye ulaşmıştır (URL-3, 2021). Birçok ülke tarafından yeryüzünün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile doğal felaketlerin tahmini ve takibi amacıyla farklı özelliklerde uydu teknolojileri geliştirilmiştir. Yaşanan gelişmeler neticesinde, yansıyan elektromanyetik enerjinin yanında yayılan enerjinin de kaydedilerek analizlerinin yapılabilmesi mümkün hale gelmiştir. İlk uzaya gönderilen algılayıcılarda birkaç adet spektral bant mevcuten günümüzde yüzlerce spektral bandı olan uydu algılayıcıları görüntüleme yapmaktadır. Spektral bant sayısının yanında görüntüdeki piksel büyüklüğü (mekânsal çözünürlük) ve görüntü kalitesi (radyometrik çözünürlük) de önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Geline nokta 31 cm piksel büyüklüğüne sahip ve 11 bit radyometrik çözünürlükte görüntüler (WorldView-3) temin etmek mümkün hale gelmiştir. Ayrıca, elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde

(1mm – 1,33m) farklı penetrasyon özelliklerinde algılama yapabilen aktif prensipli Radar uydu teknolojileri de 1982 yılından itibaren sivil amaçla görüntüleme yapmaktadır. Radar görüntülerinin azimut çözünürlüğü 2007 yılında yörüngeye oturtulan TerraSAR-X ve COSMO-SkyMed uyduları ile 1 m seviyesine ulaşmıştır. Günümüzde mikro büyüklükte uydu sistemleri yanında, insanlı ve insansız hava aracı (İHA) donanımlarında da ciddi teknolojik seviyeye ulaşılmıştır. Uçak ve helikopterlerle gerçekleştirilen yüksek irtifalı fotogrametri ve lazer taramada yeni nesil dijital kameralar ve doğrudan koordinatlı ve yüksek konum doğruluklu yoğun nokta bulutlarının alınmasına olanak veren gelişmiş lazer tarayıcılar kullanılmaktadır. İHA'larda da çoklu-spektral ve hiper-spektral kameraların yanı sıra lazer tarama teknolojisi de yaygınlaşmış durumdadır.

Uzaktan algılama teknolojisi ve kullanılan ileri tekniklerle deniz suyu ve yeraltı su seviyelerindeki değişimler, kar ve buz kütlelerinde ve atmosferdeki değişimler, ormansızlaşma, bitki sağlığının takibi ve rekolte tahminleri gibi birçok çalışma gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, küresel ısınma nedeniyle oluşan iklim değişikliği etkileriyle meydana gelen değişimlerin tespiti ve periyodik olarak izlenmesi de uzaktan algılama verileri ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalar arasında alg patlamaları ve su kalitesi analizleri ilk sıralarda yer almaktadır. Okyanus ve denizlerde yaşanan çevre felaketlerinin ve gemilerden bırakılan yağ atıklarının izlenmesi de yine uydu görüntüleri yardımıyla etkin olarak yapılabilmektedir. Bu bağlamda, hem Marmara müsilağının alansal büyüklüğünün, yoğunluğunun, zamansal hareketinin ve deniz suyu ile arasındaki ısı farkının takibi hem de yürütülen temizlik çalışmalarının etkilerinin tespiti için özellikle uzay kaynaklı uzaktan algılama teknolojilerinin kullanılması vazgeçilmez bir seçenektir (Kavzoglu vd., 2021). Optik uydu görüntüleri elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi bölgelerinde yer yüzeyinin görüntülenmesine olanak sağlayarak özellikle çevresel değişimlerin izlenmesi ve afet yönetimi uygulamalarında başvurulan temel veri kaynağıdır. Bu kapsamda Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından ücretsiz olarak kullanıma sunulan Sentinel-2 uydu görüntüleri, sahip olduğu önemli özelliklerle son yıllarda birçok bilimsel çalışmada etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Sentinel-2 uydu görüntüleri 10 m, 20 m ve 60 m mekânsal çözünürlüklü 13 spektral banda sahip olup, 5 günlük periyotlarda yer yüzeyinin görüntülenmesine imkân sağlamaktadır.

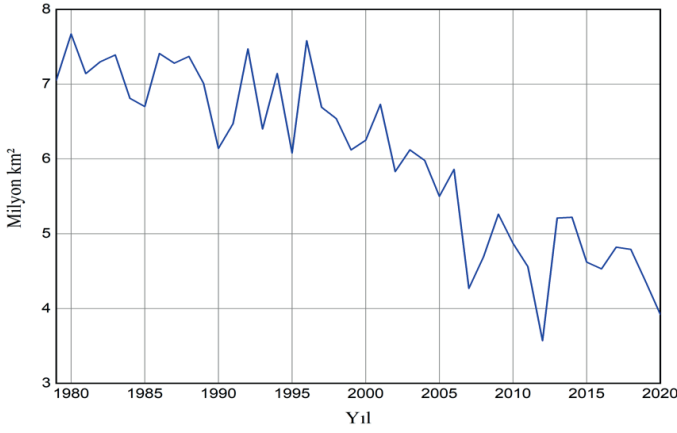
Marmara denizi, İstanbul ve Çanakkale boğazlarının bağlı olduğu ve çevresinde Türkiye'nin en büyük endüstriyel tesislerini ve sanayi bölgelerini barındıran, Ege denizi ve Karadeniz arasında geçişi sağlayan yoğun deniz trafiğinin olduğu bir denizdir. 2021 yılı bahar aylarında ortaya çıkan müsilağ kilometrelerce alanı kaplayarak ciddi boyutlara ulaşmıştır. Müsilağ, literatürdeki diğer adlarıyla ya da “Deniz Salyası”, yapısı itibarıyla genel olarak jelatinimsi agregalar bütünüdür. Müsilağ, denizel alanlarda temel gıda kaynağı olan bitkisel planktonun (fitoplankton) çevresel faktörlerin tetiklemesi sonucu aşırı çoğalmasıyla suya salgılandıkları organik madde olarak da tanımlanabilir. 24 saatlik sıcaklık değişimleri nedeniyle, müsilağ su sütununda yukarı ve aşağı hareket etme eğilimindedir. Gece boyunca sıcaklık düştüğünde, müsilağların içindeki kabarcıklar hacim ola-

rak azalır ve kütlenin birkaç metre batmasına izin verir. Günün en sıcak saatlerinde ise tersi durum oluşur ve müsilajlar yüzeye çıkar. Deniz tabanında biriken müsilajların orada bulunan bazı organizmaları ve balık yumurtalarını etkilediği de değerlendirilmektedir (Rinaldi vd., 1995). Müsilaj olaylarıyla ilgili ilginç olan durum ise müsilaj olaylarının sıklıkla yaşandığı denizlerde bile düzensiz şekilde ortaya çıkmasıdır. Tüm bu hususlar müsilajın oluşum zamanını, miktarını ve dağılımını belirlemenin zorluğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, 2021 yılı mayıs ayında Marmara denizinde yoğun olarak görülen müsilaj oluşumlarının, ciddi tehdit boyutlarına ulaştığı Kocaeli, Yalova ve Bursa illerine ait sahilleri içine alan bölgede, denizdeki müsilaj oluşumlarının tespitine yönelik müsilaj indeksi tanımlanması yapılarak ve Sentinel-2 uydu görüntüleri yardımıyla indeks haritaları üretilmiştir. Literatürde müsilaj indeksi 500 metre çözünürlükteki MODIS uydu görüntüleri için geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Vescovi vd., 2003; Gigliotti, 2013). Bu çalışmada tanımlanan müsilaj indeksi literatürde ilk kez 10 metre çözünürlükteki Sentinel görüntülerine uyarlandığından bir ilk olma özelliğine sahiptir. Bu sayede çok daha detaylı müsilaj haritaları üretilerek analizler yapılması mümkün hale gelmiştir. Çalışmada ayrıca 2020 ve 2021 mayıs aylarında elde edilen Landsat-8 uydusunun termal bantları yardımıyla deniz suyu ve müsilaj yüzey sıcaklıklarına ilişkin yüzey sıcaklık haritaları üretilmiştir. Haritaları üretmek için analize uygun bulutsuzluk oranlarında elde edilen Sentinel-2 ve Landsat-8 görüntüleri ile indeks ve yüzey sıcaklık haritaları üretilerek, müsilaj oluşumlarının çalışma alanındaki dağılımları incelenmiş, müsilaj oluşumları ile deniz yüzeyi sıcaklıkları arasındaki değişimler analiz edilmiştir.

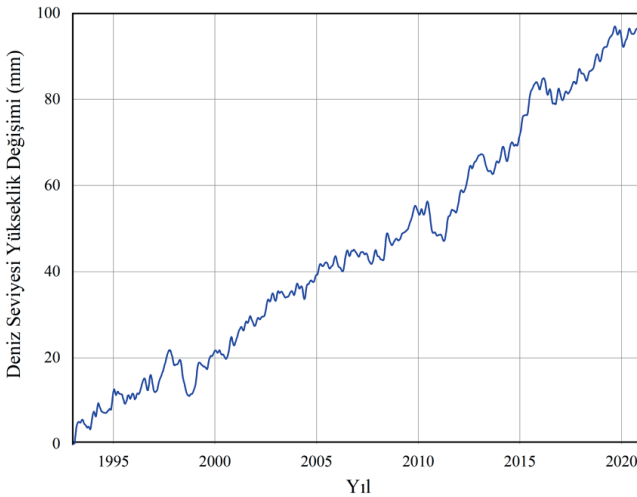
UZAKTAN ALGILAMA İLE KÜRESEL ISINMA ETKİLERİNİN İZLENMESİ

Dünya yörüngesindeki uydular ve diğer teknolojik gelişmeler, bilim insanlarının gezegenimiz ve iklimi hakkında küresel ölçekte birçok farklı veriyi toplayarak büyük resmi görmelerini sağlamıştır. Uzun yıllar boyunca toplanan veriler, değişen bir iklimin detaylarını ortaya koymuştur. Yapılan ölçümlere göre 1850 yılından bugüne insan faaliyetleri, önemli bir ısı tutucu (sera) gaz olan karbondioksitin atmosferik konsantrasyonlarını %48 artırmıştır. Bu, 20.000 yıllık bir süre boyunca doğal olarak meydana gelen miktardan daha fazlasını işaret etmektedir. Westerhold denizlerdeki karbon ve oksijen izotoplarını inceleyerek 66 milyon yıllık süreçte dünyanın iklim değişiklerini analiz etmiştir (Westerhold vd., 2020) ve atmosferdeki karbondioksit artışı devam ederse 2100 yılına kadar dünyanın ikliminin değişerek daha sıcak bir iklime dönüşeceği ifade edilmiştir. Grönland, Antarktika ve tropik dağ buzullarından çekilen buz çekirdekleri, Dünyanın ikliminin sera gazı seviyelerindeki değişikliklere tepki verdiğini göstermektedir. 1979 yılından itibaren yapılan uydu gözlemleriyle Arktik deniz buz kütlesindeki değişim hesaplanmakta ve değişim miktarı takip edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. 1979-2020 arasında Arktik deniz buz kütleindeki değişim (climate.nasa.gov)

Dünyanın ortalama yüzey sıcaklığı, 19. yüzyılın sonlarından bu yana yaklaşık 1,18 °C yükselmiştir. Bu, büyük ölçüde atmosfer ve diğer insan faaliyetleri ile artan karbondioksit emisyonlarından kaynaklanan bir değişikliktir (Gaffney & Steffen, 2017). Isınmanın büyük bölümünün son 40 yılda meydana geldiği ve tarihteki en sıcak yılların son yıllarda art arda gerçekleştiği kayıtlara geçmiştir. Denizler, bu artan ısının çoğunu emmektedir. Okyanusların en üst 100 metresi, 1969 yılından bu yana 0,33 °C daha fazla ısınmıştır. Dünyanın ekstra enerjinin %90'ını denizlerde depoladığı da bilinmektedir. (URL-1, 2021). Bu enerji deniz sularının genleşmesine ve buzulların erimesine neden olmaktadır. NASA tarafından uydu verileriyle yapılan hesaplamalara göre 1993 yılından bu yana deniz seviyesi yıllık ortalama 3,3 mm değişim göstermiştir (Şekil 2).



Şekil 2. 1993-2021 yılları arasında deniz seviyesindeki değişim (climate.nasa.gov)

1992 yılında uzaya gönderilen TOPEX/Poseidon uydusu ile deniz yüzey topoğrafyası ölçülmeye başlanmıştır. Bu misyonu gelecek 30 yıl boyunca devam ettirecek olan Sentinel-6 uydusu 21.11.2020 tarihinde uzaya gönderilmiştir. Sentinel-6 sadece denizler hakkında değil atmosferin tüm katmanlarındaki değişimleri izlemek için bilim insanlarına önemli veriler sağlayacaktır. Diğer taraftan, 2002 yılında uzaya gönderilen GRACE uydu çifti ise, değişen mevsimler, hava ve iklim süreçleri nedeniyle su dünya etrafında kaydıkça yerel yerçekimindeki değişiklikleri ölçmüştür. Uydu çifti, dünyanın buz tabakalarından buz kütlelerinin kaybını izleyerek, deniz seviyesinin yükselişi ve okyanus dolaşım süreçlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Küresel yeraltı suyu kaynaklarının nerede azalıp nerede arttığıyla ilgili bilgiler yer gravite alanındaki değişimler hassas bir şekilde ölçülerek belirlenmektedir. Saka ve Yapar (2019), GRACE uydu verileriyle 2004-2014 yıllarını kapsayan dönem için Türkiye'deki toplam su kütlesi değişimlerini modellemiş, kurak geçen dönemleri ve su döngüsünü ortaya koymuştur.

Su Kütlelerindeki Olayların Uzaktan Algılama ile Tespiti ve İzlenmesi

Su kütlelerinde uzaktan algılama ile en yaygın şekilde çalışılan konular alg patlamaları (Tang vd., 2004; Stumpf & Tomlinson, 2007; Urquhart vd., 2017) ve su kalitesi analizleridir (Ritchie vd., 2003; Gholizadeh vd., 2016; Brando & Dekker, 2003). Belli dönemlerde konsantrasyon artışı kaydeden karbon, azot ve fosforun güneş ışınları ile birleşmesi neticesinde meydana gelen alg patlamalarının ve su bileşiğindeki fiziko-kimyasal parametrelerin (sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, tuzluluk, türbidite, iletkenlik, secchi disk derinliği, toplam organik karbon vb.) yüzeyde sebep oldukları farklı spektral imzaların analizi için en etkin yöntem optik uzaktan algılamadır. Optik uydu görüntüleri, geniş alanlarda alg patlamaları ile meydana gelen müsilaaj oluşumlarının yayılım alanları, dağılımları, hareket yönleri, yoğunlukları gibi konularda önemli bilgiler ortaya koyabilmektedir. Ancak, pasif prensiple güneşe bağımlı olarak çalışan optik uzaktan algılama sistemleri yalnızca yansıyan elektromanyetik enerjiyi görüntüleyebildiğinden bulutlu günlerde ve gece saatlerinde kullanılamamaktadır. Bu sınırlayıcı etkenler radar uzaktan algılama entegrasyonu ile aşılabilmektedir. Radar uydu misyonları, optik algılamaya nazaran çok daha geniş dalga boylu ve penetrasyon kabiliyeti yüksek mikrodalga sinyalleri ile her mevsim 7/24 bulutsuz veri elde etme potansiyeline sahiptir. Radar görüntüleri genellikle okyanus ve denizlerde yaşanan çevre felaketlerinin özellikle gemilerden bırakılan yağ atıklarının izlenmesi için tercih edilmektedir (Anderson vd., 2010). Radar sinyalinin dönüş gücünü azaltan yağ dokusu deniz ve okyanus sularına nazaran görüntüde daha koyu tonlarda görünmekte ve bu sayede tespit edilebilmektedir. Radar görüntülerinin müsilaaj oluşumlarının tespitinde kullanımının çıkış noktası, yağ sızıntılarını belirlemeye yönelik olarak geliştirilmiş otomatik algoritmaların yağ sızıntısı olarak alg patlamalarını tespit etmeleri olmuştur. Yapılan bu tespit, radar görüntülemenin alg patlamalarındaki performansını ortaya çıkarmış ve sonrasında deniz ve okyanuslarda alg fenolojisi araştırmaları dahil olmak üzere geniş bir alanda radar görüntüleri yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Radar görüntülerinde zayıf geri

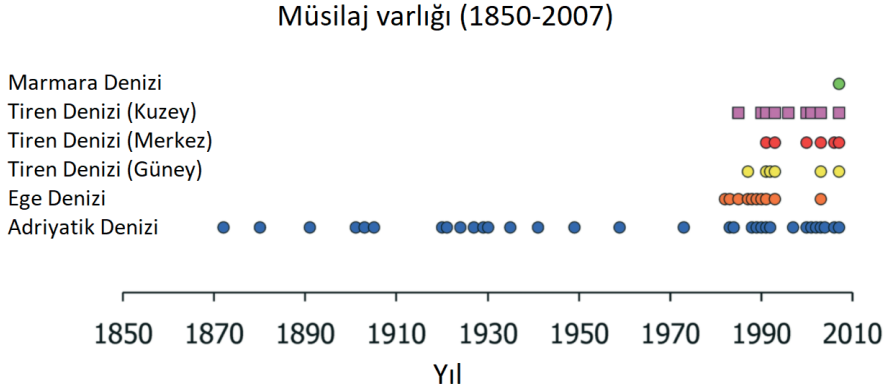
saçılma veren müsilaaj ile optik görüntülerde müsilaajın göstergesi olan endeksler negatif korelasyona sahiptir (Rathee, 2017). Sonuç olarak, ayrı ayrı avantajlara sahip uzay kaynaklı optik ve radar görüntülerinin füzyonu müsilaaj oluşumunun izlenmesi ve yönetimi konusunda veri devamlılığı açısından önemli bir unsurdur. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yörüngeye oturtulan Sentinel uydu misyonları halihazırda optik görüntülerin yanı sıra radar uydu verilerini de dünya genelinde 5-6 günlük periyotlarda ücretsiz olarak sunmaktadır.

Müsilaajın havadan yüksek geometrik (mekânsal) çözünürlüklü ve çok bantlı olarak izlenmesinde en etkili uzaktan algılama teknolojileri ise geleneksel lazer tarama, fotogrametri ve insansız hava aracıdır (İHA). Uçak, helikopter vb. hava araçları kullanılarak gerçekleştirilen yüksek irtifalı (800 – 2.000 m) uçuşlar ile uygulanan geleneksel lazer tarama ve fotogrametri teknolojileri cm-dm mertebesinde geometrik çözünürlük sunabilmektedir. Ayrıca, yeşil lazer kullanımı, su altına da nüfuz eden ve derinliği fazla olmayan sularda batimetri amaçlı olarak da tercih edilen bir yöntemdir. Ancak, müsilaajın sürekli yer değiştirmesine bağlı olarak ihtiyaç duyulacak periyodik uçuşlar önemli donanım gereksinimi olan bu tekniklerin finansal yükünü artırmaktadır. Bu noktada alternatif çözüm, hızlı, periyodik ve düşük maliyetli olan İHA teknolojileridir. Özellikle, çoklu-spektral ve hiper-spektral kamera donanımlı İHA'lar ile elde edilen çok bantlı hava fotoğrafları ve ortomozaikler dünya genelinde su kalitesi ve çevresel izleme ile ilgili bilimsel çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır (Cândido vd., 2016; Özdoğan vd., 2021). İHA'lar özellikle ötrofik göllerdeki müsilaaj çalışmalarında sıkça tercih edilmektedir (Fráter vd., 2015; Sheng vd., 2021). İHA teknolojisini sınırlayan faktör ise alçak uçuş irtifası (maksimum 120 m) ve diğer yöntemlere göre daha az alanı kapsamasıdır.

Dünyada Gözlenen Müsilaaj Olaylarıyla İlgili Çalışmalar

Denizlerde müsilaaj oluşumları yeni bir olgu olmayıp ilk kez İtalya kıyılarında 1729 yılında gözlemlenmiştir (Bianchi, 1746). Müsilaaj olayının 1729 yılında yaşanmış olması deniz kirliliğinin tek başına bir neden olamayacağını göstermektedir (Vollenwider & Rinaldi, 1995). Müsilaajın ilk bilimsel tanımlanması 1872 yılında yapılmış ve sonrasındaki tüm gözlemler raporlanmıştır (Fonda Umani vd., 1989). Müsilaajın dünya üzerinde en etkili olduğu ve son iki yüz yıldır takip edildiği Adriyatik ve Tiren denizleriyle ilgili birçok bilimsel çalışmalar mevcuttur (örn. Funari & Ade, 1999; Giani vd., 2005; Kraus & Supić, 2015). Bu denizlerde son yüzyılda sıklıkla yaşanan müsilaaj olaylarında hem görülme sıklığında hem de yoğunlukta düzensizlik rapor edilmiştir (Rinaldi vd., 1995; Gigliotti, 2013). Denizlerindeki müsilaaj oluşumunun ve hareketlerinin uzaktan algılama teknolojisiyle izlenmesi, zamansal ve mekânsal tespitlerin yapılması konularında güncel tarihli sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Zambianchi, 1992; Tassan, 1993; Berthon & Zibordi, 2000; Gigliotti, 2013). 1920 yılından önce sadece Adriyatik Denizinde müsilaaj olayları görülürken 1980 yılından itibaren Ege Denizi ve Tiren Denizinde de rapor edilmeye başlanmıştır. Akdeniz ve çevresinde

1800'lerden bugüne gözlemlenen müsilağ olayları kronolojik olarak Danovaro et al. (2009) tarafından raporlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Akdeniz ve çevresinde 2007 yılına kadar rapor edilen müsilağ olayları (Danovaro vd., 2009)

Rinaldi vd. (1995), 1988-1991 yılları arasında Adriyatik Denizi'nde ölçümler ve gözlemler gerçekleştirilerek bazı önemli tespitlerde bulunmuştur. Buna göre, müsilağın zaman geçtikçe, boyutu ve şekli değişmekte, önce şeritler (ribbons) (10-30 cm uzunluğunda), sonra bulutlar (clouds) (birkaç cm'den 2-3 m'ye kadar) halinde gözlemlenmektedir. Hâkim akıntılar ve türbülans tarafından rahatsız edilen müsilağın büyük kısmı, yüzeyin birkaç metre altında gezinir. Sığ bölgelerde, orta seviyede bir fırtına müsilağın yavaşlamasına veya tamamen gerilemesine neden olabilmektedir. Adriyatik ve Tiren Denizleri özelinde yapılan çalışmalar sonucunda; hidrolojik koşullar değerlendirildiğinde, müsilağ oluşumu genellikle oligotropik şartlar altında oluştuğu (Buzzelli vd., 1997; Urbani vd., 2005), 1865-2002 dönemine ait meteorolojik verilerin analizi sıcaklık anomalileri ile müsilağların varlığı arasında belirgin korelasyon olduğunu göstermiştir (Deserti vd., 2005; Danovaro vd., 2009; Yılmaz, 2015).

Lancelot (1995) Kuzey Denizi'nin Hollanda kıyı bölgelerinde Mayıs 1988'de gözlemlenen yoğun müsilağ olayını ve muhtemel nedenlerini araştırmış ve temel neden olarak *Phaeocystis* çoğalmasını göstermiştir. Gotsis-Skretas (1995) ise Temmuz 1982 ile Eylül 1993 tarihleri arasında Yunanistan kıyılarında meydana gelen 23 adet müsilağ olayını bildirmektedir. Kirlilik seviyesi düşük kıyı ve körfezlerde genellikle yaz aylarında ortaya çıkan müsilağın doğrudan ötrofikasyonla ilişkisinin kurulamadığını ve bu nedenle kompleks bir ilişkinin var olduğunu ortaya koymuştur. Mecozzi vd. (2005) gerçekleştirdikleri analizler neticesinde, müsilağ oluşumunun, organik madde bozunma fazının sentez fazından daha yavaş hale geldiğinde ortaya çıktığını ve doğal sürecinde bir değişikliği olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, Precali vd. (2005) çalışmalarında 1999-2002 yılları arasında kuzey Adriyatik denizinde sualtı video kameralarla yaptıkları gözlemler sonucunda şekli ve rengine göre müsilağları 10 farklı tür olarak tanımlamıştır

(Şekil 4). Gözlemleri sonucunda meteorolojik şartların müsilaj oluşumunda etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Sıcak hava ve rüzgâr şiddetinin zayıf olduğu zamanlarda müsilaj yoğunluğunun arttığını, şiddetli rüzgarlar sonucunda ise dağıldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, küçük boyutlu müsilajların (sürü (flocs), iri sürü (macroflocs), iplikler (stringers)) sonbahar ve kış döneminde daha çok görüldüğünü, büyük boyutlu müsilajların (şeritler (ribbons), ağ (cobweb), bulutlar (clouds), yanalıcı zemin) ise ilkbahar sonu ve yaz aylarında daha çok görüldüğünü tespit etmişlerdir.



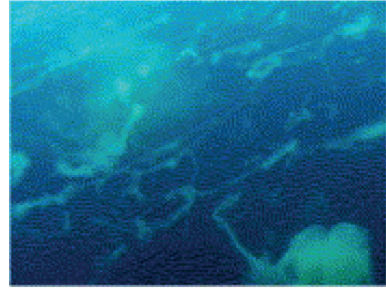
Sürü (flocs) (0,5 mm – 1cm)



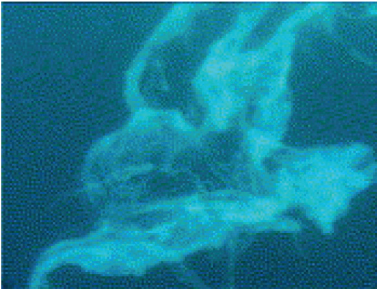
İri sürüler (macroflocs) (1–5 cm)



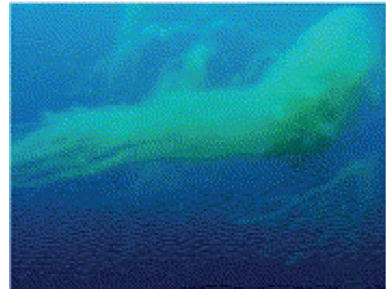
İplikler (stringers) (2 – 25 cm)



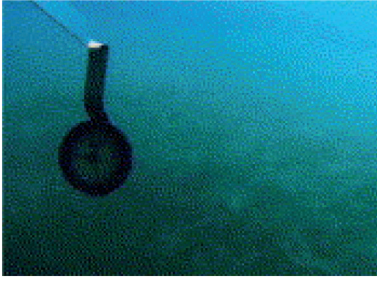
Şeritler (ribbons) (10 – 20 cm)



Ağ (cobweb)



Bulutlar (clouds) (0,5 – 4 m)



Yanıltıcı zemin (false bottom)



Örtü (blanket)



Kremsi yüzey tabakası



Jelatinimsi yüzey tabakası

Şekil 4. Kuzey Adriyatik Denizi'nde gözlenen müsilaj türleri (Precali vd. 2005)

Türkiye’de Gözlenen Müsilaj Olaylarıyla İlgili Çalışmalar

Marmara Denizi, biyoçeşitlilik ve su ürünleri açısından da oldukça zengin bir denizdir. Özsoy vd. 2016 yılında yayınladıkları çalışmada Marmara denizinin biyoçeşitliliği, su ürünleri, koruma ve yönetim stratejileri konularını kapsamlı şekilde ele almışlardır (Özsoy vd., 2016). Akdeniz’den ve Karadeniz’den gelen farklı ısı ve tuzluluk oranlarına sahip suların geçiş bölgesi olan Marmara denizinde ilk müsilaj oluşumu 2007 yılı yaz aylarında gözlemlenmiş ve müsilaj alanlarının ortalama sıcaklığı $18,4 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür (Aktan vd., 2008).

Tüfekçi vd. (2010) Marmara Denizi’nde (Ekim 2007-Şubat 2008) müsilaj oluşumu süresince fitoplankton bolluğu ve çevresel şartları incelemiş ve müsilaj oluşumunda birkaç fitoplankton türünün rol oynadığı görüşüne varmışlardır. Müsilaj çevresindeki suda ölçülen ve müsilajın kurutulmuş fazında elde edilen yüksek organik karbon içeriği, yapının fitoplankton orijinli olduğu hipotezini desteklemiştir. Ayrıca İzmit Körfezi’nden alınan su örneklerindeki Nitrojen-Fosfor oranının düşüklüğüne dikkat çekilmiştir. Deniz suyunda bu orandaki farklılaşma da müsilaj oluşumunun bir nedeni olarak değerlendirilmektedir (Tüfekçi vd., 2010; Tas vd., 2020). Marmara Denizi’nin değişen oşinografik şartlarının izlenmesi projesi kapsamında 31 Temmuz 2007 ile 15 Ağustos 2007 arasında 45 hidrografik istasyonda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Proje raporunda, müsilaj oluşumunun “tür çeşitliliğinin erozyona uğraması sonucu, mevcut türlerin fert adetlerindeki artışının” bir sonucu olduğu vurgulanmış ve Eylül 2007’de gerçek-

leşen müsilaj agregat oluşumunun büyük kapsamlı bir alg patlamasının sonucu olduğu ifade edilmiştir (Artüz, 2008). Proje sonuç raporunda kısa ve uzun vadeli alınması gereken tedbirler sıralanmıştır. Isinibilir (2014) İzmit Körfezi'nde üç istasyonda 2008 yılında yaptığı ölçümlerde Nisan ayından itibaren denizanası popülasyonunda hızlı bir artışın yaşandığını ve ağustos ayında zirve yaptıktan sonra neredeyse tamamen kaybolduğunu ortaya koymuştur. Denizanası ayrışması İzmit Körfezi'nde büyük miktarda inorganik ve organik besin salınımına neden olabildiğinden Marmara Denizi'ndeki denizanası türleri, potansiyel olarak müsilaj oluşumu üzerindeki etkilerinin araştırılması gerekliliği ortaya konmuştur. 2007 yılında İzmit Körfezi'ndeki yoğun ve uzun süren müsilajın nedeni, körfezin Marmara Denizi'ne göre daha zayıf bir sirkülasyona sahip olması olarak yorumlanmıştır.

Yılmaz (2015), *Liriope* çoğalması ve müsilaj olayı sırasında zooplankton topluluğundaki değişimleri Marmara Denizi'nin kuzey kısımlarındaki istasyonlardan toplanan verilerle analiz etmiştir. Yaptıkları ölçümlerde 2007 kış aylarının normalin üstünde sıcak geçtiğini ve Marmara Denizi'nde müsilaj döneminde ve öncesinde görülen en önemli değişikliğin aşırı *Liriope* üretimi olduğunu saptamışlardır. Çalışmada, SeaWiFS uydu görüntülerinden *chl a* dağılımı, MODIS görüntülerinden de sıcaklık değişimleri analiz edilmiştir. Diğer taraftan, Çanakkale boğazı ve yakın çevresinde de Ekim 2008'den Ağustos 2009'a kadarki süreçte müsilaj olayı gözlemlenmiştir (Yentur vd., 2013). 2021 yılında yaşanan müsilaj olayından önceki son müsilaj ise Çanakkale boğazında 2020 aralık ayında Özalp (2021) tarafından rapor edilmiştir.

ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİ

Bu çalışmada Marmara Denizi'nde 2021 yılında görülen yüzey müsilaj oluşumlarının optik uydu görüntülerinden tespitine yönelik özel indeksi tanımlanması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak temel veri kaynağı olarak Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından kullanıcılara ücretsiz olarak sunulan 10m (Bant 2, 3, 4 ve 8) ve 20m çözünürlüğündeki bantlara (Bant 5, 6, 7, 8A, 11 ve 12) sahip Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Optik görüntülerin en büyük dezavantajı bulutluluk oranının fazla olduğu zaman periyotlarında alınan görüntüler üzerinden sağlıklı bilgi çıkarılamamasıdır. Bu nedenle Marmara Denizi'ni kapsayan ve bulutluluk oranının en düşük olduğu görüntüler araştırılmış ve 2021 Mayıs ayı içerisinde 5'er gün aralıkla çekimi yapılan 14 Mayıs 2021, 19 Mayıs 2021 ve 24 Mayıs 2021 tarihli görüntüler ESA internet sitesinden temin edilmiştir (URL-2, 2021). Görüntüler üzerinden Marmara denizinin İstanbul, Kocaeli, Yalova ve Bursa kıyılarını içerisine alan yaklaşık 4000 km²'lik deniz alanı çalışma alanı olarak tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında optik uydu görüntülerinin yanında Marmara Denizi'ndeki deniz suyu sıcaklığındaki değişimlerin ve müsilaj oluşumlarının yüzey sıcaklıklarının analizi için termal uydu görüntülerinden de faydalanılmıştır. Bu amaç

doğrultusunda 17 Mayıs 2021 ve 30 Mayıs 2020 tarihinde çekilen Landsat-8 uydü görüntülerinin 10,60-11,19 μm dalga boyu aralığında kaydedilen ve 100 m mekânsal çözünürlüğüne sahip termal bantları kullanılmıştır. Elde edilen termal görüntülerdeki piksel değerlerinden yüzey sıcaklıklarının hesaplanması amacıyla öncelikle atmosfer üstü radyans değerleri hesaplanmış, daha sonra atmosfer üstü parlaklık değerlerine ve en son yüzey sıcaklık değerlerine dönüşüm yapılarak yüzey sıcaklık haritaları üretilmiştir.

UYGULAMA

Optik uydü görüntüleri kullanıcılara yeryüzünün doğal ve yapay özelliklerine ilişkin önemli bilgiler sağlamasına karşın, görüntüleri oluşturan piksellerin parlaklık değerleri arasındaki spektral benzerlikler farklı yüzey özelliklerinin görüntü üzerinden ayırt edilmesi noktasında önemli problemler ortaya çıkarmaktadır (Çölkesen & Yomralıoğlu, 2014). Yeryüzünde farklı arazi örtüsü türlerini temsil eden görüntü piksellerinin birbirinden ayırt edilmesi, aralarındaki spektral ayrımın artırılması ve doğruluğu yüksek tematik haritaların üretilmesi amacıyla uydü görüntülerinin mevcut spektral bantlarına ilave olarak yardımcı veri setlerinin de kullanılması oldukça sık başvurulan bir yaklaşımdır. Literatürde optik uydü görüntülerinin spektral bantları yardımıyla oluşturulan vejetasyon indeksleri bitki, tarım, orman ve sulak alan çalışmaları başta olmak üzere birçok uygulamada en sık kullanılan yardımcı veri setleri arasında yer almaktadır (Bannari vd., 1995; Adam, Mutanga & Rugege, 2010, Huang vd., 2021). Müsilaj oluşumlarının uydü görüntüleri yardımıyla tespiti üzerine gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, Vescovi vd. (2003) tarafından Adriyatik Denizi'nde görülen müsilaj oluşumlarının MODIS görüntüleri üzerinden tespitine yönelik müsilaj vejetasyon indeksinin tanımlandığı ve başarıyla kullanıldığı görülmüştür. Tablo 1'de tanımlanan müsilaj indeksinin temel eşitliği ve hesaplamada kullanılan MODIS görüntüsünün bantları yer almaktadır. Benzer şekilde, Tiren ve Adriyatik denizlerinde 2010-2012 yılları arasında görülen müsilaj oluşumlarının MODIS üzerinden tespiti Gigliotti (2013) tarafından müsilaj indeksi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, Marmara Denizi'nde 2021 yılında görülen müsilaj oluşumlarının Sentinel-2 optik uydü görüntüleri üzerinden tespitine yönelik söz konusu müsilaj indeksinin uyarlanarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak Vescovi vd. (2003) tarafından MODIS için önerilen müsilaj indeksi Sentinel-2 uydü görüntüsünün spektral bant aralıkları ile eşleştirilerek müsilaj indeks haritaları üretilmiştir. Bu kapsamda Sentinel-2 için uyarlanan müsilaj indeksi eşitliği Tablo 1'de sunulmuştur.

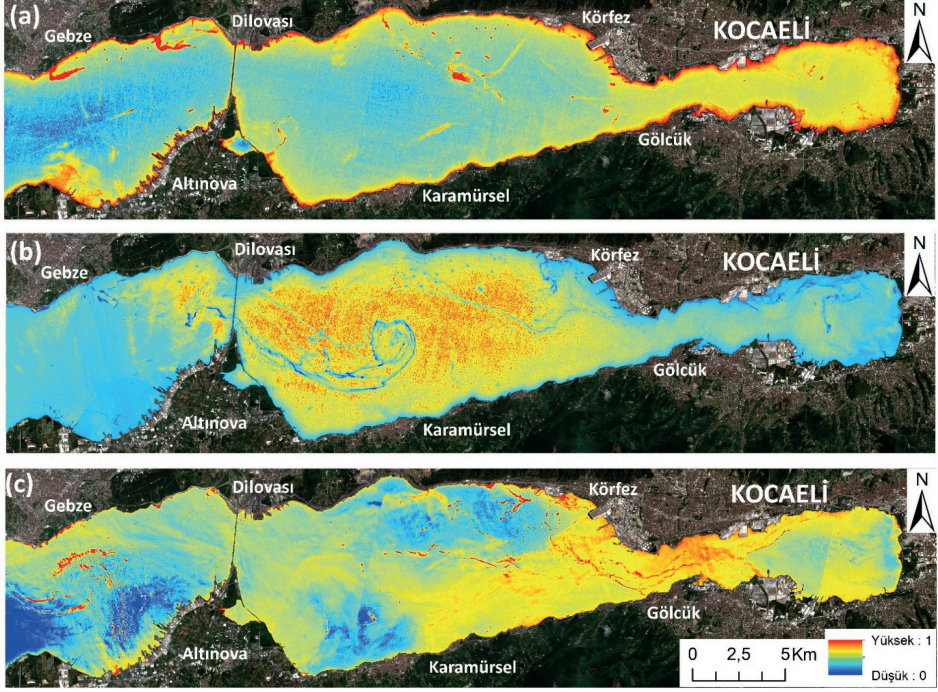
Tablo 1. MODIS ve Sentinel-2 uydu görüntüleri için uyarlanan Müsilaj indeksi.

<i>MODIS Müsilaj indeksi (Vescovi vd. 2003)</i>	<i>Sentinel-2 Müsilaj indeksi</i>
$MI = \frac{\frac{B2 + B4}{2} - B3}{B6}$	$MI = \frac{\frac{B8A + B3}{2} - B2}{B11}$
B2 = MODIS Bant 2 (841 - 876 nm)	B2=Sentinel-2 Bant 2 (458 - 523 nm)
B3 = MODIS Bant 3 (459 - 479 nm)	B3= Sentinel-2 Bant 3 (543 - 578 nm)
B4 = MODIS Bant 4 (545 - 565 nm)	B8A= Sentinel-2 Bant 8A (855 - 875 nm)
B6 = MODIS Bant 6 (1628 - 1652 nm)	B11= Sentinel-2 Bant 11 (1565 - 1655 nm)

Tablo 1'den görüleceği üzere müsilaj indeksi () hesaplamalarında Sentinel-2 uydu görüntülerinin 10 m mekânsal çözünürlüğündeki mavi (Band-2) ve yeşil (Band-3) bantları ile 20 m mekânsal çözünürlüğündeki kızılötesi (Band-8A) ve orta kızılötesi (Band-11) bantları bir arada kullanılmıştır. Bu nedenle müsilaj indeksi hesaplamadan önce Sentinel-2 uydu görüntülerinin 20 m mekânsal çözünürlüğündeki bantlarına pan-keskinleştirme işlemi uygulanarak 10 m spektral çözünürlüğüne dönüşümü işlemi gerçekleştirilmiştir. Pan-keskinleştirme işleminde Gram-Schmidt algoritması kullanılmıştır. Sentinel-2 uydu görüntüsünün pankromatik bandı bulunmadığından Selva vd. (2015) tarafından önerilen yaklaşımdan yararlanılmıştır. Bu yaklaşım, 20 m çözünürlüğündeki 5, 11 ve 12 nolu bantların 10 m çözünürlüğündeki Bant 4 ile keskinleştirme yapılmasını, 20 m çözünürlüğündeki Bant 6, 7 ve 8A bantlarının ise 10 m çözünürlüğündeki Bant 8 ile keskinleştirme işleminin yapılmasını önermektedir (Colkesen & Kavzoglu, 2017).

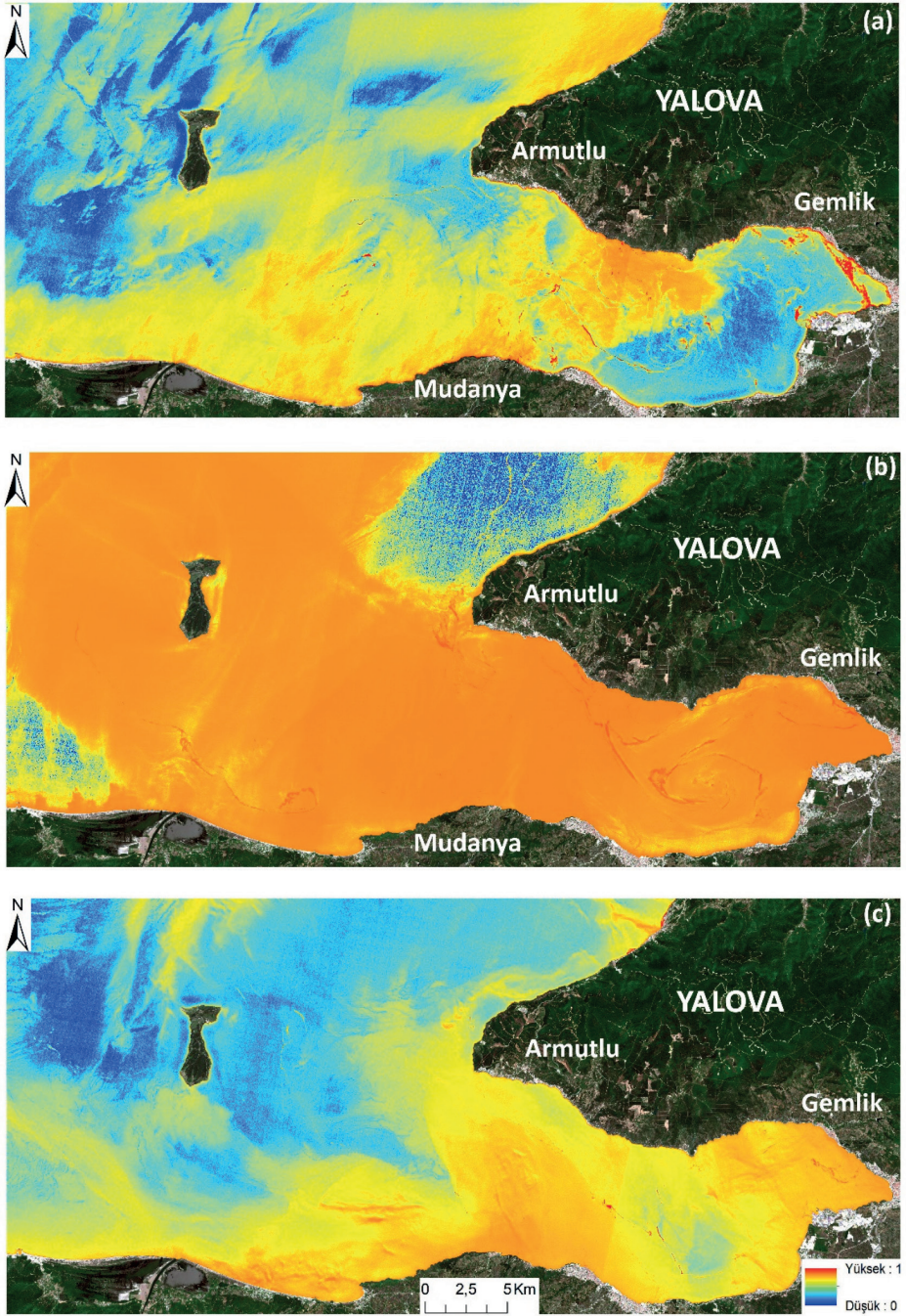
Gerçekleştirilen keskinleştirme işleminin ardından Sentinel-2 uydu görüntülerinin 2, 3, 8A ve 11. bantları kullanılarak 14 Mayıs, 19 Mayıs ve 24 Mayıs 2021 tarihleri için çalışma alanının müsilaj indeks haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalarda, indeks değerleri yorumlamanın kolaylaştırılması amacıyla 0-1 aralığına yeniden örneklenmiştir. Üretilen indeks haritalarından Mayıs ayı içerisinde yüzey müsilaj oluşumlarının en yoğun olarak gözlemlendiği Kocaeli-Yalova ve Yalova-Bursa kıyı kesimlerini kapsayan alanlar için elde edilen müsilaj indeks haritaları Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmuştur. Haritalar incelendiğinde, müsilaj oluşumlarının görüldüğü noktalarda müsilaj indeks değerlerinin maksimum değer olan 1 değerine yakın olduğu, deniz yüzeyinin ise daha düşük değerlerde oldu görülmüştür. Koceli-Yolava kesimi için üretilen indeks haritaları incelendiğinde, Kocaeli ilinde Darıca, Dilovası ve Körfez ilçeleri kıyı kesimi ile Eskişehir-Topçular güzergahı ve Osman Gazi köprüsü civarında 14 Mayıs 2021'den itibaren başlayarak 19 Mayıs ve 24 Mayıs tarihleri arasında müsilaj oluşumlarında gözle görülür bir artış yaşandığı görülmektedir (Şekil 5). 14 Mayıs 2021 tarihinde Darıca, Eskişehir ve Dilovası ilçeleri kıyı kesimlerinde müsilaj

yoğunluğu olduğu görüldüğü, 19 Mayıs tarihinden itibaren Eskihisar-Topçular güzergâhı ve Osman Gazi köprüsü civarında ve Körfez ilçesi kesimlerinde yoğunlaşmaların arttığı tespit edilmiştir.



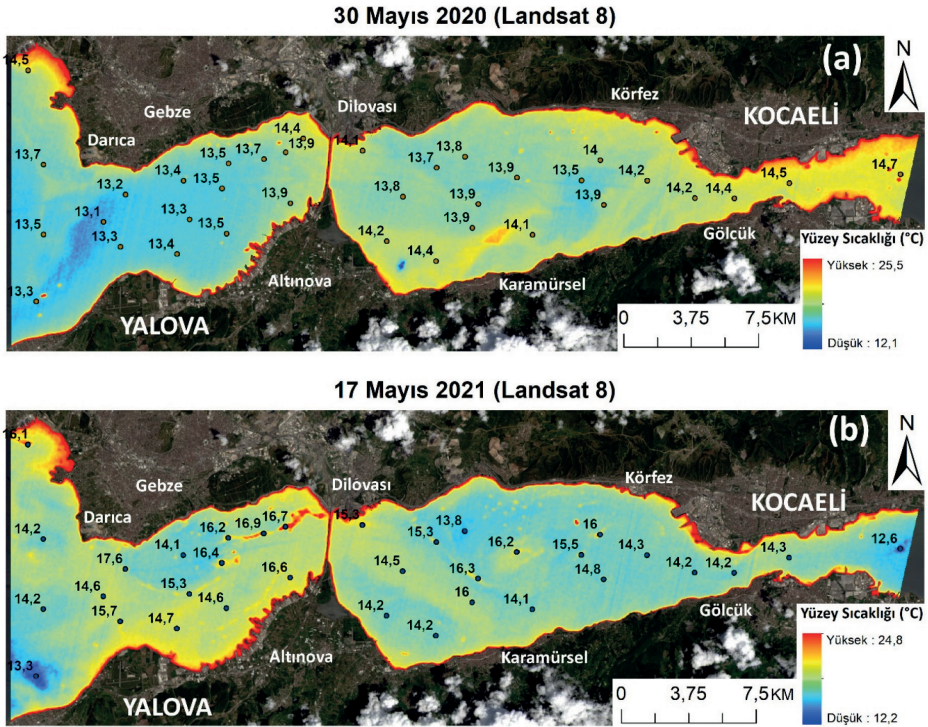
Şekil 5. Kocaeli-Yalova kesimi için üretilen müsilağ indeks haritaları a) 14 Mayıs 2021, b) 19 Mayıs 2021, c) 24 Mayıs 2021.

Yalova-Bursa kesimi için üretilen müsilağ indeks haritaları Şekil 6'da verilmiştir. İndeks haritaları üzerinden müsilağ oluşumlarının konumları ve zaman içindeki değişimleri görülmektedir. İncelemeye alınan tarih aralığında Armutlu, Gemlik ve Mudanya sahil kesiminde 14 Mayıs 2021'de yoğun bir şekilde görülen müsilağ oluşumlarının 19 Mayıs'ta Gemlik kıyılarında azaldığı ve 24 Mayıs'ta söz konusu bölgede müsilağ yoğunluğunun oldukça düşük seviyeye indiği tespit edilmiştir.



Şekil 6. Yalova-Bursa kesimi için üretilen müsilağ indeks haritaları a) 14 Mayıs 2021, b) 19 Mayıs 2021 ve c) 24 Mayıs 2021.

Landsat-8 uydusundan elde edilen termal görüntüler yardımıyla 30 Mayıs 2020 ve 17 Mayıs 2021 tarihleri için yüzey sıcaklık değerleri hesaplanarak termal haritalar üretilmiştir. Marmara Denizi'nde müsilaj oluşumlarının en yoğun olarak gözlemlendiği Kocaeli ili Darıca ilçesinden başlayarak ve Yalova ili Altınova ilçe kıyılarını içerisine alan bölge için oluşturulan yüzey sıcaklık haritaları Şekil 7'de verilmiştir. Yüzey sıcaklık haritasında deniz yüzeyi üzerinde her iki tarih için eş-konumlu 33 noktada örnek sıcaklık değerleri hesaplanmış ve bu değerler şekil üzerinde °C biriminde işaretlenmiştir. Müsilaj oluşumlarının henüz görülmediği 30 Mayıs 2020 tarihinde örnekleme noktalarındaki sıcaklık dağılımı incelendiğinde, deniz suyu sıcaklığının 13,1 °C ile 14,7 °C arasında değiştiği ve ortalama deniz yüzeyi sıcaklığının $13,8 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan müsilaj oluşumlarının yoğun olarak gözlemlendiği 17 Mayıs 2021 tarihinde temiz deniz yüzeyinde sıcaklık ortalaması $14,2 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ 'iken minimum ve maksimum sıcaklık değerleri $12,6^{\circ}\text{C}$ ve $16,7^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Müsilaj oluşumlarının görüldüğü noktalarda ise müsilaj yoğunluğu ile ilişkili olarak maksimum sıcaklık değeri $17,6^{\circ}\text{C}$ ve minimum sıcaklık değeri $15,3^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Örnekleme noktaları içerisinde müsilaj yüzeyleri üzerindeki noktalar için hesaplanan ortalama yüzey sıcaklık değeri $16,1 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ 'dir.



Şekil 7. Kocaeli-Yalova kesimi için üretilen yüzey sıcaklık haritaları a) 30 Mayıs 2020 ve b) 17 Mayıs 2021.

SONUÇ VE ÖNERİLER

2021 yılı mayıs ayı başından itibaren Türkiye'nin gündeminde önemli yer tutan konulardan biri Marmara Denizi'nde gözlenen ve diğer denizlerimize sıçrayıp sıçramayacağı tartışılan müsilaj olayı olmuştur. Küresel ısınmanın bir sonucu olarak deniz suyundaki sıcaklık artışı ve beraberindeki deniz kirliliği global ölçekte bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada 2021 yılında Marmara Denizi'nde görülen müsilaj oluşumlarının optik uydu görüntüleri üzerinden tespiti amacıyla Sentinel-2 uydu görüntüleri için müsilaj indeksi tanımlanmıştır. Bu tanımlama literatürde bir ilk olma özelliğine sahiptir. Tanımlanan müsilaj indeksi Sentinel-2 görüntüsünün görünür ve kızılötesi dört farklı spektral bantının bir arada kullanılması esasına dayanmaktadır. Önerilen indeks kullanılarak üretilen müsilaj indeksi haritalarında yüzey müsilajlarının 1'e yakın değerler aldığı, müsilaj oluşumlarının, görülmediği alanlarda ise 0'a yakın değerler aldığı görülmüştür. Sentinel-2 uydu görüntüsü için oluşturulan müsilaj indeksi haritaları, basit bir hesaplamayla hızlı bir şekilde müsilaj oluşumlarının görüntülenmesi ve dağılımlarının analiz edilmesine imkân sağlayan önemli bir veri setidir. Bununla birlikte özellikle sınıflandırma işleminde orijinal spektral bantlarla birlikte kullanılmasıyla tematik harita doğruluğunu arttırabilecek şekilde bir veri seti olduğu ifade edilebilir. Marmara deniz yüzeyi sıcaklıklarının termal görüntüler yardımıyla analizi neticesinde 2020 ve 2021 Mayıs aylarında ortalama deniz suyu sıcaklarındaki farklılığın yaklaşık 0,5°C olduğu hesaplanmıştır. 17 Mayıs 2021 tarihi için üretilen sıcaklık haritasında müsilaj oluşumlarının yüzey sıcaklığı yoğunluklarına bağlı olarak temiz deniz yüzeyine göre yaklaşık 3°C fazla olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde; müsilaj oluşumlarının tespiti ve izlenmesi noktasında hem optik hem de termal uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen görüntülerin önemli bir veri kaynağı olduğunu göstermektedir. Özellikle müsilaj oluşumlarının belirli periyotlarda izlenmesi ve dağılımlarının tespiti, alınan önlemlerin etkinliğinin ortaya konulması noktasına da değerli bir altlık durumundadır. Üretilen müsilaj haritaları ve termal haritalar; drenaj kanalları, arıtma tesisleri ve potansiyel sanayi alanlarına ilişkin verilerle bir arada değerlendirmeye alınarak özellikle müsilaj oluşumunda dış etkilerin azaltılması hususunda nokta bazlı analizlerin yapılmasına imkân verebilecek özelliktedir.

Kaynakça / References

- Adam, E., Mutanga, O. & Rugege, D. (2010) Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: A review. *Wetlands Ecology and Management*, 18, 281-296. <http://dx.doi.org/10.1007/s11273-009-9169-z>
- Aktan, Y., Isinibilir, M., Topaloğlu, B., Dede, A. & Çardak, M. (2008). Mucilage event associated with diatoms and dinoflagellates from the Marmara Sea, Turkey. *Harmful Algae News*, May 2008, 36, 1-7.
- Anderson, S., Raudsepp, U. & Uiboupin, R. (2010). Oil spill statistics from SAR images in the north eastern Baltic Sea ship route in 2007-2009, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 25-30 Temmuz, Honolulu (ABD), 1883-1886. doi:10.1109/IGARSS.2010.5653222
- Artüz, M. L. (2008). Marmara Denizi genelinde gözlemlenen karışık alg patlaması sonucunda oluşan musilaj agregat konusunda rapor. *Sevinç ve Erdal İnönü Vakfı*. 31.03.2008.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. & Huete, A. R. (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13(1-2), 95-120. doi:10.1080/02757259509532298
- Berthon, J-F. & Zibordi, G. (2000). Marine optical measurements of a mucilage event in the northern Adriatic Sea. *Limnology and Oceanography*, 45 (2), 322-327. doi:10.1109/TGRS.2003.812907
- Bianchi G. (1746). Descrizione del Tremuoto grande che vi fu in Arimino l'anno 1672 adì 14 aprile il Giovedì Santo alle ore 22 in circa. Raccolte d'Opuscoli scientifici e filosofici, t. XXXIV, pp. 243-258.
- Brando, V. E. & Dekker, A. G. (2003). Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water quality. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(6), 1378-1387, doi: 10.1109/TGRS.2003.812907.
- Buzzelli, E., Gianna, R., Marchori, E. & Bruno, M., (1997). Influence of nutrient factors on production of mucilage by *Amphora coffeaeformis* var. *perpusilla*. *Continental Shelf Research*. 17, 1171-1180. doi:10.1016/S0278-4343(97)00009-5
- Cândido, A. K. A. A., Filho, A. C. P., Haupenthal, M. R., Silva, N. M., Correa, J. S. & Ribeiro, M. L. (2016). Water Quality and Chlorophyll Measurement Through Vegetation Indices Generated from Orbital and Suborbital Images. *Water, Air, & Soil Pollution*. 227(7). doi:10.1007/s11270-016-2919-7.
- Colkesen, I. & Kavzoglu, T. (2017). Ensemble-based canonical correlation forest (CCF) for land use and land cover classification using Sentinel-2 and Landsat OLI imagery. *Remote Sensing Letters*, 8(11), 1082-1091. doi:10.1080/2150704X.2017.1354262
- Cracknell, A. (2001). *Remote Sensing and Climate Change: The Role of Earth Observation*. Springer, Berlin. doi:10.1002/joc.847
- Çölkesen, İ. & Yomraloğlu, T. (2014). Arazi örtüsü ve kullanımının haritalanmasında WorldView-2 uydur görüntüsü ve yardımcı verilerin kullanımı. *Harita Dergisi*, 152(2), 12-24.
- Danovaro, R., Fonda-Umani, S. & Pusceddu, A. (2009). Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the Mediterranean Sea. *PloS One*. 4, e7006. doi:10.1371/journal.pone.0007006
- Deserti, M., Cacciamani, C., Chiggiato, J., Rinaldi, A. & Ferrari, C.R., (2005). Relationships between northern Adriatic Sea mucilage events and climate variability. *Science of the Total Environment*. 353, 82-88. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.009
- Ernest, S., Nduganda, A. & Kashaigili, J. (2017). Urban climate analysis with remote sensing and climate observations: a case of Morogoro Municipality in Tanzania. *Advances in Remote Sensing*, 6, 120-131. doi: 10.4236/ars.2017.62009.

- Fonda Umani S., Ghirardelli E. & Specchi M. (1989). Gli episodi di “mare sporco” nell'Adriatico dal 1729 ai giorni nostri. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Direzione Regionale dell'Ambiente, 178s.
- Fráter, T., Yuzakova, T., Lauer, J., Dióssy, L., & Rédey, Á. (2015). Unmanned Aerial Vehicles in Environmental Monitoring—An Efficient Way for Remote Sensing. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 4, 85-91. doi:10.17265/2162-5298/2015.02.004.
- Fu W., Ma J., Chen P. & Chen F. (2020). Remote Sensing Satellites for Digital Earth. In: Guo H., Goodchild M.F., Annoni A. (eds) *Manual of Digital Earth*. Springer, doi: 10.1007/978-981-32-9915-3_3.
- Funari E. & Ade P. (1999). Human health implications associated with mucilage in the northern Adriatic Sea. *Ann Ist Super Sanita*, 35(3), 421–425 5. PMID: 10721208.
- Gaffney, O. & Steffen, W. (2017). The Anthropocene equation, *The Anthropocene Review* 4(1), 53–61. doi:10.1177/2053019616688022
- Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M. & Reddi, L. A. (2016). Comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16, 1298. doi:10.3390/s16081298
- Giani M., Savelli F., Berto D., Zangrando V., Cosović B. & Vojvodić V. (2005). Temporal dynamics of dissolved and particulate organic carbon in the northern Adriatic Sea in relation to the mucilage events. *Science of the Total Environment*, 353(1–3), 126–38. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.062
- Gigliotti, A. (2013). Extracting temporal and spatial distributions information about marine mucilage phenomenon based on Modis satellite images; a case study of the Tyrrhenian and the Adriatic Sea, 2010-2012. *Master of Science in Geospatial Technologies*, Universidade Nova.
- Gotsis-Skretas, O. (1995). Mucilage appearances in Greek waters during 1982-1994. *The Science of the Total Environment*. 165, 229–230.
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y. & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32, 1-6. doi:10.1007/s11676-020-01155-1
- İsinibilir, M. (2014). Changes in jellyfish populations during mucilage event in Izmit Bay (the northeastern Marmara Sea). *ICES Annual Science Conference 2014: Sustainability in a Changing Ocean*, A Coruña, Spain, ss.1-2.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Sefercik, U. G. & Öztürk, M. Y. (2021). Marmara Denizi'ndeki müsilaj oluşumlarının çok zamanlı optik ve termal uydı görüntülerinden makine öğrenme algoritması ile tespiti ve analizi. *Harita Dergisi*, Temmuz.
- Kraus, R. & Supić, N. (2015). Sea Dynamics impacts on the macroaggregates: A case study of the 1997 mucilage event in the northern Adriatic. *Progress in Oceanography*, 138, 249–267. doi:10.1016/j.pocean.2015.06.005
- Lancelot, C. (1995). The mucilage phenomenon in the continental coastal waters of the North Sea. *The Science of the Total Environment*, 165, 83–102. doi:10.1016/0048-9697(95)04545-C
- Lechner, A. M., Foody, G. M. & Boyd, D. S. (2020). Applications in remote sensing to forest ecology and management. *One Earth*, 2(5), 405–412. doi: 10.1016/j.oneear.2020.05.001.
- McGuire, B. (2010). Potential for a hazardous geospheric response to projected future climate changes. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1919), 2317–2345. doi:10.1098/rsta.2010.0080
- Mecozzi, M., Pietrantonio, E., Noto, V. & Papai, Z. (2005). The humin structure of mucilage aggregates in the Adriatic and Tyrrhenian seas: hypothesis about the reasonable causes of mucilage formation. *Marine Chemistry*, 95, 255–269. doi:10.1016/j.marchem.2004.09.005

- Mertikas, S. P., Partsinevelos, P., Mavrocordatos, C. & Maximenko, N. A. (2021). Environmental applications of remote sensing. *Pollution Assessment for Sustainable Practices in Applied Sciences and Engineering*. 107-163. doi: 10.1016/B978-0-12-809582-9.00003-7.
- Milesi, C. & Churkina, G. (2020). Measuring and monitoring urban impacts on climate change from space. *Remote Sensing*, 12(21), 3494. doi: 10.3390/rs12213494
- Özalp, H.B. (2021). First massive mucilage event observed in deep waters of Çanakkale Strait (Dardanelles), Turkey. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(1), 49–66.
- Özdoğan, N., Sefercik, U.G., Kılınç, Y., Çalışkan, E. & Atalay, C. (2021). Su kalitesinin insansız hava aracı verileri ve fiziko-kimyasal parametrelerin analizi ile belirlenmesi: Aydınlar (Güllüç) Çayı örneği, *European Journal of Science and Technology*, 23, 572-582. doi:10.31590/ejosat.887105.
- Özsoy, E., Çağatay, N. M., Balkis, N. & Öztürk, B. (2016). *The Sea of Marmara: Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance*. Turkish Marine Research Foundation, Publication No: 42. 957s.
- 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. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.066
- Rathee, G. (2017). Detection of algal blooms in lakes using Sentinel-1 C-band SAR images. MSc thesis, Wageningen University and Research, the Netherlands.
- Rinaldi, A., Vollenweider, R. A., Montanari, G., Ferrari, C. R. & Ghetti, A. (1995). Mucilages in Italian seas: the Adriatic and Tyrrhenian Seas, 1988–1991, *Science of the Total Environment*, 165(1–3), 165–183. doi:10.1016/0048-9697(95)04550-K
- Ritchie, J. C., Zimba, P. V. & Everitt, J. H. (2003). Remote sensing techniques to assess water quality. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 6, 695–704. doi:10.14358/PERS.69.6.695
- Rogan, J. & Chen, D. (2004). Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in Planning - PROG PLAN*. 61, 301-325. doi: 10.1016/S0305-9006(03)00066-7.
- Saka, M. H., & Yapar, E. O. (2019). GRACE uydu verileri ile Türkiye'nin uzun dönemli su kütle değişiminin incelenmesi. 72. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*. 28 Ocak-1 Şubat 2019, Ankara.
- Selva, M., Aiazzi, B., Butera, F., Chiarantini, L. & Baronti, S. (2015). Hyper-sharpening: A first approach on SIM-GA data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(6), 3008-3024. doi: 10.1109/JSTARS.2015.2440092
- Seto, K.C. & Christensen, P. (2013). Remote sensing science to inform urban climate change mitigation strategies. *Urban Climate*, 3, 1-6. doi: 10.1016/j.uclim.2013.03.001.
- Sheng, L. Y., Azhari, A. W. & İbrahim, A. H. (2021). Unmanned aerial vehicle for eutrophication process monitoring in Timah Tasoh Dam, Perlis, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 646(012057).
- Stumpf, R. P & Tomlinson, M.C. (2007). Remote Sensing of Harmful Algal Blooms. *Remote Sensing of Coastal Aquatic Environments. Remote Sensing and Digital Image Processing*, Miller R.L., Del Castillo C.E., Mckee B.A. (eds), vol 7. Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-1-4020-3100-7_12
- Tang, D. L., Kawamura, H., Doan-Nhu, H. & Takahashi, W. (2004). Remote sensing oceanography of a harmful algal bloom off the coast of southern Vietnam. *Journal of Geophysical Research*, 109, C03014, doi:10.1029/2003JC002045.
- Tas, S., Kus, D. & Yılmaz, I. N. (2020). Temporal variations in phytoplankton composition in the north-eastern Sea of Marmara: Potentially toxic species and mucilage event. *Mediterranean Marine Science*, 21(3), 668–683. doi:10.12681/mms.22562

- 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. doi:10.1016/0034-4257(93)90079-D
- Tüfekçi, V., Balkıs, N., Beken Polat, Ç., Ediger, D. & Mantukçı, M. (2010). Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Biology*, 34, 199–210. doi:10.3906/biy-0812-1
- Urbani, R., Magaletti, E., Sist, P. & Cicero, A.M. (2005). Extracellular carbohydrates released by the marine diatoms *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira pseudonana* and *Skeletonema costatum*: effect of P-depletion and growth status. *Science of the Total Environment*. 353, 300–306. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.026
- URL-1: Yer yüzeyinin zamana bağlı sıcaklık anomalileri. <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20170118> (19.06.2021).
- URL-2: Sentinel uydu görüntülerine erişim adresi, <https://scihub.copernicus.eu> (25.05.2021).
- URL-3: Dünya yörüngesindeki uydulara ait veritabanı, <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database> (29.06.2021).
- Urquhart, E. A., Schaeffer, B. A., Stumpf, R. P., Loftin, K. A. & Werdell, P. J. (2017). A method for examining temporal changes in cyanobacterial harmful algal bloom spatial extent using satellite remote sensing, *Harmful Algae*, 67, 144–152. doi:10.1016/j.hal.2017.06.001
- Vescovi F.D., Merletto V. & Montanari, G. (2003). Monitoraggio MODIS di mucillagini nel Mare Adriatico. Atti della VII Conferenza nazionale ASITA, Verona, 28 –31 Ekim, ss. 1847–1852.
- Vollenwider, R. A. & Rinaldi, A. (1995). Editorial. *The Science of the Total Environment*, 165(1995), 213–224.
- Weiss, M., Jacob, F. & Duveiller, G. (2019). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*. 236(111402), 1-19. doi: 10.1016/j.rse.2019.111402.
- Westerhold, T., Marwan, N., Drury, A. J., Liebrand, D., Agnini, C., Anagnostou, E., Barnet, J. S. K. ... & Zachos, J. C. (2020). An astronomically dated record of Earth's climate and its predictability over the last 66 million years. *Science*, 369, 1383–1387. doi:10.1126/SCIENCE.ABA6853
- Yılmaz, I. N. (2015). Collapse of zooplankton stocks during *Liriope tetraphylla* (Hydromedusa) blooms and dense mucilaginous aggregations in a thermohaline stratified basin. *Marine Ecology*, 36, 595-610. doi:10.1111/maec.12166