

Marmara Denizi'ndeki Müsilaj Oluşumlarının Çok Zamanlı Optik ve Termal Uydu Görüntülerinden Makine Öğrenme Algoritması ile Tespiti ve Analizi

(Detection and Analysis of Marine Mucilage Bloom in the Sea of Marmara by a Machine Learning Algorithm from Multi-Temporal Optical and Thermal Satellite Images)

Taşkın KAVZOĞLU¹, İsmail ÇÖLKESEN¹, Umut Güneş SEFERCİK¹, Muhammed Yusuf ÖZTÜRK¹

Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze, Kocaeli
kavzoglu@gtu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 11.06.2021

Kabul Tarihi (Accepted): 30.06.2021

ÖZ

Küresel ısınmanın karasal alanların yanında denizel alanlarda da doğal dengeyi bozan etkileri bulunmaktadır. Bu bozucu etkilerden biri olan müsilaj ya da deniz salyası, iç deniz ve körfezlerde ortaya çıkan doğal felaketlerden biridir. Müsilaj, Marmara Denizi'nde 2021 yılının Mayıs ayından itibaren hızlı bir şekilde yayılarak akıntı ve rüzgâr etkisiyle Gemlik ve İzmit körfezleriyle İstanbul'un kıyı bölgelerinde etkili olmuştur. Bu çalışmada, Sentinel-2 ve Landsat-8 uydu görüntüleri yardımıyla müsilajın Marmara Denizi'nin İstanbul, Kocaeli, Yalova ve Bursa illerine ait sahilleri kapsayan yaklaşık 4000 km²'lik alanda başlangıçtan itibaren yayılımı, kapladığı alan ve deniz yüzeyinde müsilaj yoğunluğuna bağlı olarak oluşan ısıl değişimler detaylı şekilde analiz edilmiştir. Analizler için 14, 19 ve 24 Mayıs 2021 tarihlerinde çekilen Sentinel-2A görüntüleri ile 17 Mayıs tarihli Landsat-8 görüntüsünün termal bandı kullanılmıştır. Görüntü işleme teknikleri ve popüler makine öğrenme algoritması olan rastgele orman ile deniz yüzeyi müsilaj oluşumları %99 doğrulukla tespit edilmiştir. Müsilaj kaplı alan büyüklüğü, 14 Mayıs 2021 tarihinde 49,71 km² olarak hesaplanırken 24 Mayıs 2021 tarihinde 70,37 km² olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, 10 günlük süreçte %41'lik bir artışı işaret ederek durumun ciddiyetini ortaya koymuştur. Diğer taraftan, deniz suyu sıcaklığı kıyılardan uzak müsilaj olmayan alanlarda ortalama 14,5°C iken müsilajın yoğun olduğu bölgelerde 17°C'nin üzerinde tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar Marmara Denizi'nde 2007 yılında ilk kez görülen müsilaj olgusunun yılın özellikle bahar dönemlerinde ani sıcaklık artışları ve diğer etkenlerle birlikte kendini göstermeye devam edeceğini işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Müsilaj, Rastgele Orman, Sentinel-2A, Landsat-8, Termal bant

ABSTRACT

Global warming has effects that disrupt the natural balance in marine areas as well as terrestrial areas. One of these disruptive effects, mucilage, or sea saliva, is one of the natural disasters in the inland seas and bays. Mucilage has been spreading rapidly in the Sea of Marmara since May 2021 and has been effective in the Gemlik and İzmit Bays, and the coastal areas of İstanbul with the effects of currents and wind. In this study, the distribution of mucilage in an area of approximately 4000 km² covering the coasts of the Sea of Marmara,

Istanbul, Kocaeli, Yalova and Bursa. With the help of Sentinel-2 and Landsat-8 satellite images, the area covered and the thermal changes caused by the density of mucilage on the sea surface were analyzed in detail from the beginning of the phenomenon. In the analysis, May 14, 19 and 24, 2021 Sentinel-2A images and May 17, 2021 Landsat-8 thermal image were employed. With digital image processing techniques and random forest, a popular machine learning algorithm, sea surface mucilage formations were estimated with 99% accuracy. Whilst the size of the mucilage covered area was calculated as 49.71 km² on May 14, 2021, it was calculated as 70.37 km² on May 24. This result marked a 41% increase in the 10-day period, indicating the severity of the situation. On the other hand, the sea water temperature was found to be 14.5°C on average in areas without mucilage far from shore, while it was over 17°C in areas where mucilage was dense. All these results indicate that the mucilage phenomenon, first observed in the Marmara Sea in 2007, will continue to manifest itself together with sudden temperature increases and other factors, especially in the spring periods of the year.

Keywords: Mucilage, Random Forest, Sentinel-2A, Landsat-8, Thermal band

1. GİRİŞ

Marmara Denizi, İstanbul ve Çanakkale Boğazlarının bağlı olduğu ve çevresinde çok sayıda endüstriyel bölgeyi barındıran yoğun deniz trafiğinin olduğu önemli bir iç denizdir. 2021 yılı ilkbaharı ortalarında Marmara Denizi'nde ortaya çıkan müsilaj zamanla ciddi bir tehdit boyutuna ulaşmıştır. Uzunluğu kilometrelere ulaşabilen müsilaj, literatürdeki diğer adlarıyla "deniz sümüğü" ya da "deniz salyası" olgusunun yapısı jelinimsi agregalar bütünü olarak tanımlanmaktadır. Müsilaj, denizel alanlarda biyolojik üretimin önemli parçası olan bitkisel planktonun (fitoplankton) çevresel faktörlerin tetiklemesi sonucu aşırı çoğalmasıyla suya salgıladıkları organik maddedir. Bakteri ve virüs muhtevası barındıran müsilaj, uzun süre etkili olması durumunda özellikle endüstriyel balıkçılık ve turizm sektörleri için ciddi boyutlarda problem oluşturmaktadır (Azam ve diğerleri, 1999). Müsilajın devamlılığında ise ani sıcaklık

değişimleri, rüzgâr hızı ve aşırı yağışların etkili olduğu ifade edilmektedir (Yentur ve diğerleri, 2013). Müsilajın dünya üzerinde en etkili olduğu ve son iki yüz yıldır takip edildiği Adriyatik Denizi'yle ilgili bilimsel çalışmalar mevcuttur (Funari ve Ade, 1999; Giani ve diğerleri, 2005; Kraus ve Supić, 2015). Akdeniz ve Karadeniz'den gelen farklı ısı ve tuzluluk oranlarına sahip suların geçiş bölgesi olan Marmara Denizinde ise ilk müsilaj oluşumu 2007 yılı yaz aylarında gözlemlenmiş ve müsilaj alanlarının ortalama sıcaklığı $18,4\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür (Aktan ve diğerleri, 2008; Tüfekçi ve diğerleri, 2010; Tas ve diğerleri, 2020). Benzer şekilde Çanakkale Boğazı ve yakın çevresinde Ekim 2008'den Ağustos 2009'a kadarki süreçte müsilaj varlığı gözlemlenmiştir (Yentur ve diğerleri, 2013). Ülkemizde son müsilaj varlığı ise Çanakkale Boğazı'nda 2020 Aralık ayında Özalp (2021) tarafından rapor edilmiştir.

Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'nın 2014 yılından itibaren 5 günlük periyotta ve 10 metre konumsal çözünürlükte sunduğu ücretsiz uydu görüntüleriyle ABD'nin benzer şekilde ücretsiz sunduğu Landsat-8 termal bant uydu görüntüleri ile artık belirli zaman periyotlarında ortaya çıkan doğal olayların izlenmesi ve birçok analizin yapılması mümkün hale gelmiştir. Bu çalışmada, 2021 yılı Mayıs ayında Marmara Denizi'nde ortaya çıkan müsilaj oluşumlarının, ciddi tehdit boyutlarına ulaştığı İstanbul, Kocaeli, Yalova ve Bursa illerine ait sahilleri içine alan bölgede, denizdeki hareketleri ve alansal dağılımlarına ilişkin bilgilerin çok zamanlı optik ve termal uydu görüntüleri temelinde analiz edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, bulutluluk oranı analize uygun olan Sentinel-2 ve Landsat-8 uydu görüntüleri üzerinde makine öğrenme algoritmaları kullanılarak müsilajın otomatik sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma sonucu müsilajın alansal büyüklüğü, deniz suyu içerisinde kapladığı alanın yüzde bazındaki zamansal değişimi, deniz suyu ile arasındaki ısı farkı gibi konularda kantitatif hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve önemli bulgulara ulaşılmıştır. Denizlerdeki müsilaj oluşumunun ve hareketlerinin uzaktan algılama teknolojisiyle izlenmesi, zamansal ve konumsal tespitlerin yapılması konularında dünyada çok sınırlı sayıda çalışma bulunmakta olup (Zambianchi, 1992; Tassan, 1993; Gigliotti, 2013) ülkemizde yapılmış herhangi bir bilimsel çalışmaya rastlanmamıştır. Bu durum çalışmanın özgün değerini ortaya koymaktadır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİ

Bu çalışmada Marmara Denizi'nde meydana gelen müsilaj oluşumlarının çok zamanlı uydu

görüntüleri ile izlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanı olarak Marmara Denizi'nin doğu, kuzeydoğu ve güneydoğu kesimlerini kapsayan çözünmüş oksijen miktarının en az seviyede olduğu ve müsilaj oluşumunun en yoğun olarak gözlemlendiği yaklaşık 4000 km²'lik bir alan tespit edilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı kuzeyinde İstanbul, doğusunda Kocaeli ile Yalova ve güneyinde Bursa illerinin Marmara Denizi'ne komşu olan kıyı kesimlerini içermektedir. Çalışma alanına kıyısı olan şehirler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2020 nüfus istatistiklerine göre Türkiye nüfusunun yaklaşık %25'ni bünyesinde barındırmaktadır. Bölge içerisinde ulusal ve uluslararası deniz ticaretine katkı sağlayan limanlar yer alırken, deniz mahsulü açısından başta balıkçılık olmak üzere ülke ekonomisine önemli katkılar sağlamaktadır. Diğer taraftan, çalışma alanı kıyı kesimlerinde yer alan sahil rekreasyon alanları ve plajlar turizm sektörü açısından önemli cazibe merkezleridir.

Çalışma alanı olarak tespit edilen Marmara Denizi'nin yaklaşık 4000 km²'lik alanı özelinde müsilaj oluşumlarının çok zamanlı izlenmesi, tespiti ve haritalanması amacıyla ESA tarafından ücretsiz olarak servis edilen Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel-2 uydusu, Kopernik programı kapsamında geliştirilen ve 10 m, 20 m ve 60 m konumsal çözünürlüğe sahip 13 spektral bantlı görüntüler sunan Yer gözlem uydularından biridir. 60 m konumsal çözünürlüğe sahip 3 bant genellikle atmosferik düzeltme ve sirsir bulutlarının taranmasında kullanıldığı için literatürde genellikle 10 m ve 20 m konumsal çözünürlüğe sahip 10 spektral bant kullanılmaktadır. Mevcut konumsal ve spektral özelliklerinin yanında, zamansal çözünürlük noktasında 5 günlük periyotlarda görüntülerin kullanıcılara sunulması Sentinel-2A görüntülerinin birçok bilimsel çalışmada temel veri seti olarak kullanımını ortaya çıkarmıştır.

Uygulama kapsamında Sentinel-2 görüntülerinin temin edilmesinde öncelikle çalışma alanını kapsayan ve müsilaj tespiti noktasında özellikle deniz alanı üzerinde bulut etkisinin olmadığı görüntüler araştırılmıştır. Bu kapsamda, geometrik ve radyometrik düzeltmeleri yapılan; 14 Mayıs 2021, 19 Mayıs 2021 ve 24 Mayıs 2021 tarihlerinde çekilen Sentinel-2A görüntüleri kullanılmıştır (Copernicus Open Access, 2021). Bununla birlikte deniz suyu ve deniz yüzeyindeki müsilaj oluşumlarının yüzey sıcaklıklarının tespit edilmesi amacıyla, 17 Mayıs 2021 tarihinde Landsat-8 uydu görüntüsünün 10,60-11,19 µm dalga boyu aralığında kaydedilen 100 m konumsal çözünürlüğe sahip termal bandı da değerlendirilmiştir (EarthExplorer, 2021).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Marmara Denizi'nde etkili olan müsilaj oluşumlarının tespit edilmesi, zamansal değişimlerinin belirlenmesi ve haritalanması amacıyla çok zamanlı Sentinel-2 uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Çalışmada görüntü ön işleme, görüntü sınıflandırma ve Yer yüzeyi sıcaklığının hesaplanması şeklinde üç temel işlem adımı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

a. Veri Temini ve Ön İşleme

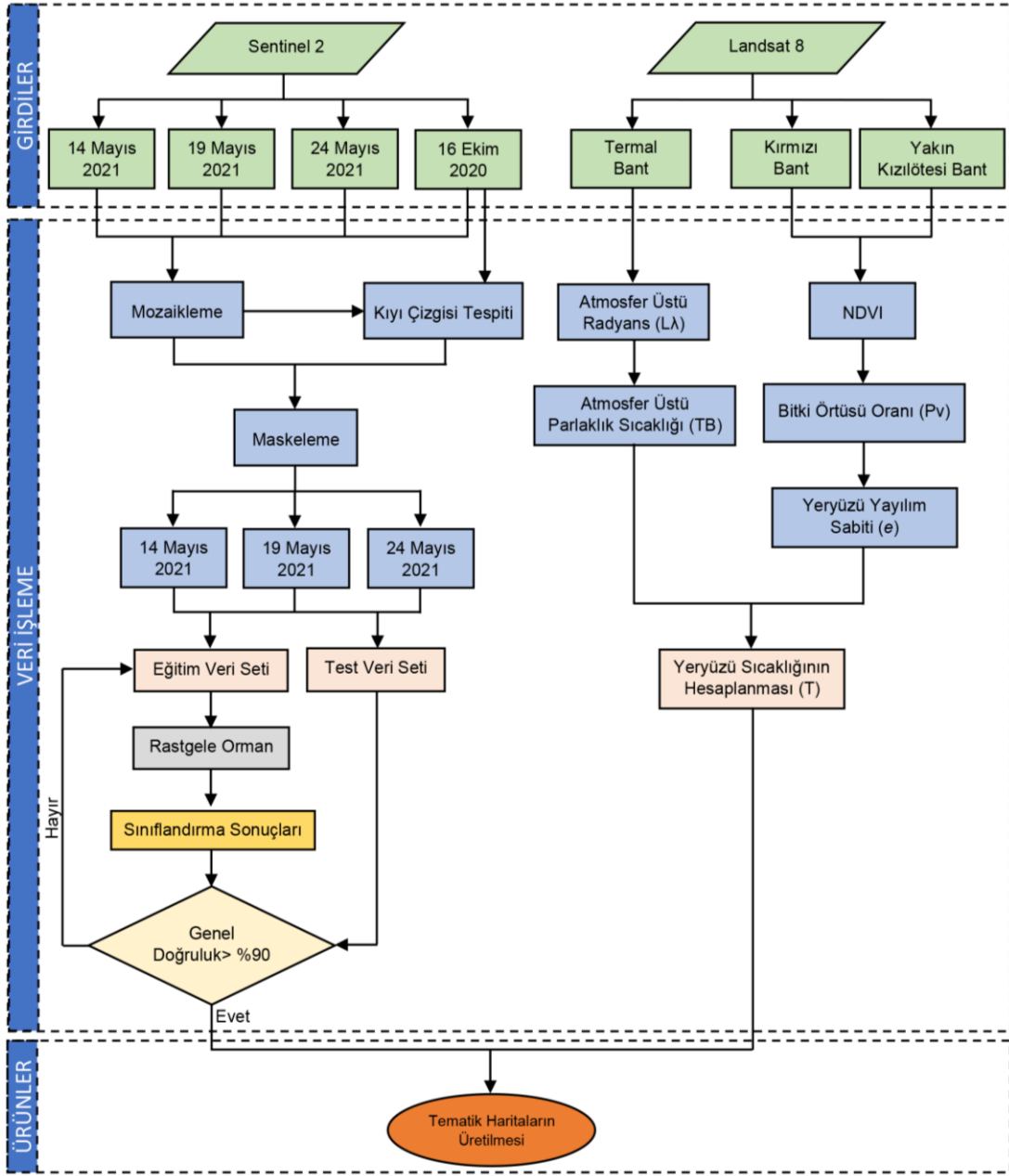
Çalışma kapsamında müsilaj oluşumlarının çok zamanlı uydu görüntüleri yardımıyla tespiti amacıyla 14, 19 ve 24 Mayıs 2021 tarihlerinde elde edilen Sentinel-2 uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanı olarak belirlenen yaklaşık 4000 km²'lik deniz alanı tek bir görüntü çerçevesine sığmamasından dolayı, aynı tarihte bindirmeli olarak çekilen ve Marmara Denizi'nin İstanbul ve Yalova illeri arasını, Kocaeli ve Bursa kesimlerini kapsayan üç görüntü çerçevesinden yararlanılmıştır (Tablo 1).

Görüntü ön işleme adımında öncelikli olarak Sentinel Application Platform (SNAP) yazılımı (SNAP, 2021) yardımıyla görüntülerin 60 m bantları dışındaki tüm spektral bantları 10 m konumsal çözünürlüğe yeniden örneklendirilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ilişkin bilgiler.

Uydu Görüntüsü	Görüntü Tarihi	Pencere No	Kullanım Amacı
Sentinel-2	14.05.2021	T35TPF	Müsilaj alanlarının tespiti
		T35TQF	
		T35TPE	
	19.05.2021	T35TPF	
		T35TQF	
		T35TPE	
24.05.2021	T35TPF	Kıyı çizgisi çıkarımı	
	T35TQF		
	T35TPE		
16.10.2020	T35TPF	Yüzey sıcaklık haritası üretimi	
	T35TQF		
	T35TPE		
Landsat-8	17.05.2021	Path:180 Row:032	

Bu adımdan aynı tarihli üç görüntüye mozaikleme işlemi R yazılımında gerçekleştirilmiştir. Mozaikleme işleminde; çakışan görüntülerden ilkindeki piksel değerlerinin esas alındığı yaklaşım kullanılmıştır (Jensen, 2015).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan iş akış diyagramı.

Mozaikleme işleminin ardından oluşan görüntü üzerinden Marmara Denizi'ni kapsayan alanların çıkarılması ve kara alanlarının maskelenmesi amacıyla kıyı çizgisi tespiti işlemi yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda müsilaj oluşumlarının deniz yüzeyinde ve kıyı kesimlerinde gözlemlenmediği 16 Ekim 2020 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü orta kızılötesi (SWIR) kıyı çizgisinin tespit edilmesinde Marmara Denizi'nin yüzeyinin en net görülebildiği 16 Ekim 2020 tarihli Sentinel-2 görüntüsü kullanılmıştır. Kıyı çizgisinin otomatik olarak tespitinde söz konusu uydu görüntüsünün 1,565-1,655 μm dalga boyu aralığında görüntülenen orta kızılötesi bandı (B11)

kullanılmıştır. Deniz ve su yüzeylerinin spektral karakteristikleri gereği SWIR bölgede hemen hemen hiç yansıma vermemektedir. Bu özellikten yararlanarak Sentinel-2 görüntüsünün SWIR bandına ilişkin histogram dağılımı üzerinden deniz ve kara ayrımı yapılarak, 16 Ekim 2020 tarihinde çalışma alanına ilişkin kıyı çizgisi otomatik olarak tespit edilmiştir. Oluşturulan vektör formatındaki kıyı çizgisi yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile ilişkilendirilerek doğrulaması yapılmış ve tespit edilen hatalar manuel olarak düzeltilmiştir. Oluşturulan sonuç kıyı çizgisi Marmara Denizi'nde 4000 km^2 'lik bir alanı ve yaklaşık 840 km uzunluğundaki bir sahil şeridini kapsamaktadır.

Görüntü işleme aşamasının son adımında mozaikleme işlemi ile oluşturulan 14, 19 ve 24 Mayıs 2021 tarihli ham görüntüler üzerinden vektör olarak oluşturulan Ekim 2020 tarihli kıyı çizgisi yardımıyla maskeleme işlemi yapılarak sadece çalışmaya konu olan deniz alanlarını içeren görüntüler elde edilmiştir.

b. Görüntü Sınıflandırma

Çalışma alanı olarak belirlenen ve ön işlemler sonucu elde edilen üç farklı tarihli uydu görüntüsü üzerinden müsilaj alanlarının tespiti ve haritalanması amacıyla piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma yaklaşımı kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda üç farklı tarih için çalışma alanındaki müsilaj oluşumları, deniz yüzeyi ve gemileri temsil eden örnekleme noktaları ayrı ayrı belirlenmiştir. Söz konusu örnekleme noktalarının yaklaşık %70'i eğitim verisi olarak etiketlenirken, eğitim verisinde yer almayan %30'luk kısmı test verisi olarak değerlendirmeye alınmıştır.

Sınıflandırma işlemin gerçekleştirilmesinde popüler makine öğrenme algoritmalarından rastgele orman (RO) algoritması kullanılmıştır. RO algoritması, görüntü sınıflandırma aşamasında gösterdiği etkili, hızlı ve güçlü performansından dolayı literatürde birçok görüntü sınıflandırma çalışmasında temel sınıflandırıcı olarak kullanılmaktadır (Immitzer ve diğerleri, 2012; Fu ve diğerleri, 2017; Colkesen ve Kavzoglu, 2017; Sheykhmousa ve diğerleri, 2020). RO, sınıflandırma modelini kurmak için birçok karar ağacını kullanmakta ve bu ağaçların bir araya gelmesiyle oluşan yapıya ise karar ormanı olarak adlandırılmaktadır (Breiman, 2001). Karar ormanı içindeki ağaçların eğitilmesi için orijinal eğitim veri seti alt kümelerle bölünür. Bu kümelerin 2/3'ü sınıflandırma modelini kurmak için, kalan 1/3'ü ise oluşturulan sınıflandırma modelinin doğruluğunu test etmek için kullanılmaktadır (Kavzoglu, 2017). Sınıflandırma işlemi sırasında sınıf etiketi belli olmayan bir piksel ormandaki karar ağaçlarından tek tek geçirilir ve sınıf etiketinin tahmini için bir oy alır. Son aşamada tüm oylardan en fazla orana sahip olan sınıf etiketi o örneğin sınıfı olarak atanır.

c. Yeryüzü Sıcaklık Haritasının Üretilmesi

Çalışma alanı içerisinde kalan müsilaj ve deniz suyunun sıcaklık değerlerinin analizini yapmak amacıyla Landsat 8 uydusu tarafından 17 Mayıs 2021 tarihinde çekilen ve 30 m konumsal çözünürlüğe yeniden örneklenmiş olarak sunulan termal görüntü (Bant 10) kullanılmıştır. Çalışma bölgesi içinde kalan termal bant yardımıyla yüzey

sıcaklık değerinin hesaplanmasında Suresh ve diğerleri, (2016) tarafından önerilen işlem adımları takip edilmiştir (Şekil 2).

Yüzey sıcaklık değerlerinin hesaplanmasında, ilk adım termal görüntü için Eşitlik (1) yardımıyla atmosfer üstü radyans değerleri hesaplanmıştır. Eşitlikte L_{λ} atmosfer üstü radyans değerini, M_L termal görüntüye ait çarpımsal yeniden ölçeklendirme faktörünü, Q_{cal} görüntü piksel değerlerini ve A_L termal görüntüye ait katkı yeniden örnekleme faktörünü ifade etmektedir.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Elde edilen radyans değerleri ikinci adımda, atmosfer üstü parlaklık sıcaklığına dönüştürülmüştür. Eşitlik (2)'den görüleceği üzere Kelvin (K) olarak elde edilen parlaklık sıcaklığının santigrat (°C) birimine dönüştürmek için elde edilen parlaklık değerinden 273.15 çıkarılmıştır.

$$BT = K_2 / \ln(K_1 / L_2 + 1) - 273.15 \quad (2)$$

Eşitlikte, BT : Atmosfer üstü parlaklık sıcaklık değeri (°C), K_1 , K_2 : Görüntüye ait termal dönüşüm sabitlerini ifade etmektedir.

Yeryüzü sıcaklığının doğru belirlenebilmesi için gerekli olan en önemli parametrelerden birisi yeryüzü yayılım değeridir. Yeryüzü yayılım değeri, yüzeyin ısı enerjisini radyan enerjiye dönüştürebilme yeteneği olarak tanımlanabilir (Sekertekin ve Bonafoni, 2020). Yeryüzü yayılım değeri, bitki örtüsü oranı değerine bağlı olarak değişmektedir. Bitki örtüsünün oranına ait değer ise arazideki bitki örtüsü kondisyonunu gösteren normalize edilmiş fark bitki örtüsü indisi (NDVI) değerlerinden elde edilmektedir (Avdan ve Jovanovska, 2016). NDVI değerleri Landsat 8 uydusundan elde edilen kırmızı ve yakın kızıl ötesi bantlar kullanılarak Eşitlik (3) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$NDVI = \frac{Yakın\ Kızıl\ ötesi - Kırmızı}{Yakın\ Kızıl\ ötesi + Kırmızı} \quad (3)$$

Elde edilen NDVI değerleri yardımıyla Eşitlik (4)'teki bağıntı kullanarak bitki örtüsü oranı sabiti (P_v) hesaplanmıştır.

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{mak} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

NDVI ve P_v değerleri daha sonra Eşitlik (5)'de verilen yüzey yayılım değerinin (e) hesabında kullanılmaktadır.

$$e = 0.004 \times P_v + 0.986 \quad (5)$$

Son işlem adımında termal görüntüdeki piksel değerleri Eşitlik (6) yardımıyla atmosferik etkilerden arındırılmış gerçek yüzey sıcaklık değerlerine dönüştürülmüştür. Bu eşitlikte λ termal görüntünün ortalama dalga boyunu ve c ışık hızıdır.

$$T = \frac{BT}{1 + \left(\frac{\lambda x BT}{c^2} \right) \times \ln(e)} \quad (6)$$

4. UYGULAMA

Çalışma kapsamında çok zamanlı Sentinel-2 uydu görüntülerinin sınıflandırılması amacıyla her bir tarih için tespit edilen eğitim veri setleri kullanılarak ayrı ayrı RO tahmin modelleri oluşturulmuştur. RO ile tahmin modeli oluşumunda ağaç sayısı 500 ve her bir düğümdeki örnek sayısı $\sqrt{10 \text{ bant}} \cong 3$ olarak alınmıştır. Oluşturulan RO tahmin modelleri öncelikle test veri setlerine uygulanmış ve test veri setleri için müsilaj sınıfına ilişkin F-skor (Hellden's ölçütü) değerleri %99'un üzerindedir. Sonuç modeller üç farklı tarihli veri setlerine uygulanarak müsilaj oluşumları tespit edilmiştir. Şekil 3'te 14, 19 ve 24 Mayıs 2021 tarihleri arasında tespit edilen müsilaj oluşumları ve çalışma alanındaki dağılımları gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yaklaşık 4000km²lik çalışma alanı içerisinde müsilaj oluşumlarının 14 Mayıs 2021 tarihinde yaklaşık 50 km²lik bir alanda etkili olduğu, bu oluşumların çalışma alanının %1,24'ne denk geldiği görülmüştür (Tablo 2). 19 Mayıs 2021 tarihinde ise çalışma alanındaki müsilaj yoğunluğunun alansal açıdan %15 artarak 57 km²'ye yükseldiği görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, ilk görüntüden beş gün sonrasında çalışma alanındaki müsilaj yoğunluğu %1,42'ye yükselmiştir. Diğer taraftan, çalışmada değerlendirmeye alınan 24 Mayıs tarihli son görüntünün sınıflandırma sonuçları incelendiğinde müsilaj yoğunluğunun çalışma alanında 70km²lik bir alanda etkili olduğu belirlenmiştir. Bu, elde edilen miktar değerlendirmeye alınan görüntüler içerisinde müsilaj miktarının en yoğun tespit edildiği dönem olmuştur. Nitekim müsilaj miktarındaki artış oranı 14 Mayıs tarihine göre %41, 19 Mayıs tarihine göre %22 artmıştır.

Bununla birlikte 4000 km²lik deniz alanının %1,75'inde müsilaj oluşumu tespit edilmiştir.

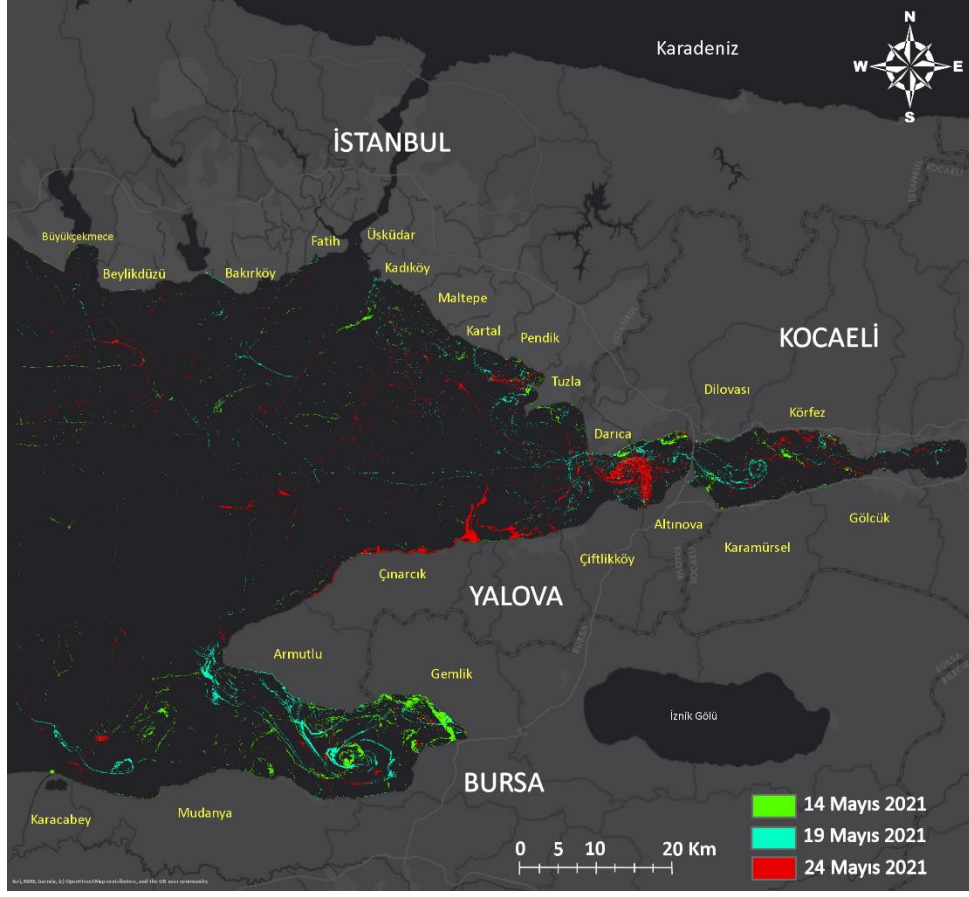
Tablo 2. Çalışma bölgesinde, zamansal olarak belirlenen Müsilaj yoğunluk oranlarına ilişkin değerler.

Tarih	Müsilaj kaplı alan	
	Alansal (km ²)	Oransal (%)
24.05.2021	70,37 km ²	% 1,75
19.05.2021	57,32 km ²	% 1,42
14.05.2021	49,71 km ²	% 1,24

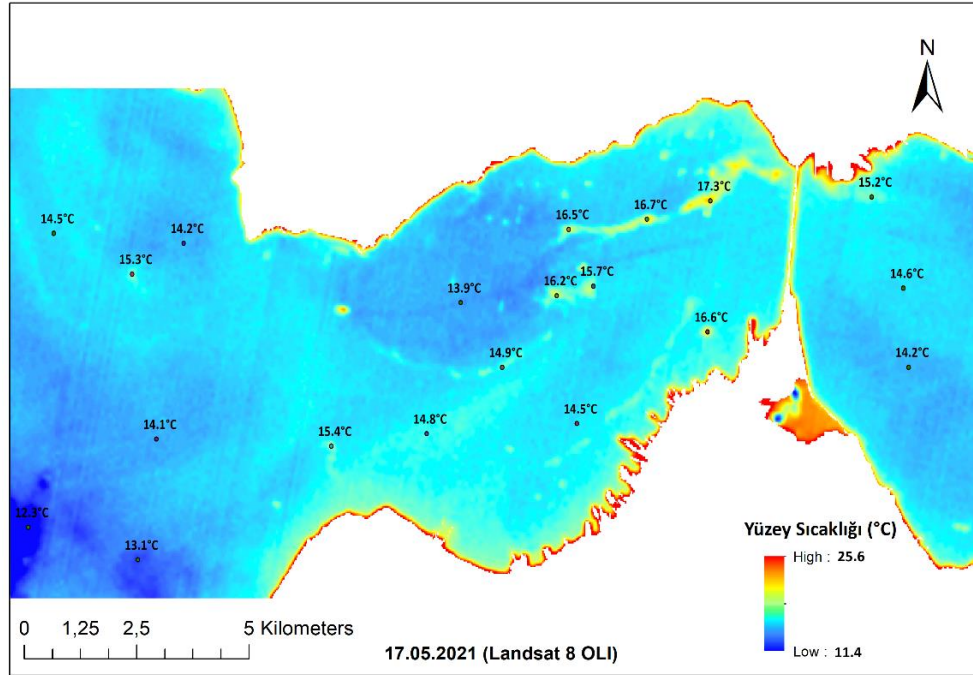
Çalışma alanı içerisindeki tespit edilen müsilaj oluşumlarının konumsal dağılımları incelendiğinde, 14 Mayıs 2021 tarihinde özellikle Yalova ve Bursa illerinin Armutlu-Gemlik-Mudanya kesiminde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu tarihte Kocaeli/Darıca kıyı kesiminde ve İstanbul/Kadıköy, Kartal, Pendik ve Tuzla sahil kesimlerinde sınırlı miktarda müsilaj oluşumları gözlenmiştir. 19 Mayıs 2021 tarihinde ise müsilaj oluşumlarının Gemlik Körfezi'nden uzaklaşarak Marmara Denizi açıklarına doğru hareketlendiği, bu sırada Armutlu ve Karacabey kıyı kesimlerinde yoğunlaşmaların arttığı izlenmiştir. Diğer taraftan müsilaj oluşumları İstanbul/Kadıköy-Tuzla sahil kesimi boyunca ve devamında Kocaeli Darıca-Körfez sahil kesimine kadar etkili olduğu görülmektedir.

24 Mayıs tarihi itibarıyla ise müsilaj oluşumlarının Marmara Denizi'nin genelinde yoğunlaştığı, özellikle Yalova/Çınarcık-Altınova sahil kesimlerinde ve Altınova-Darıca kıyıları arasında kalan bölgele önemli miktarlarda müsilaj kümelenmelerinin olduğu açıkça görülmektedir. İstanbul kesiminde ise özellikle sahil kenarlarında ve Pendik-Tuzla kıyı şeridinde yoğunlaşmaların olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma alanında deniz yüzeyi sıcaklığı ve müsilaj oluşumlarının yüzey sıcaklığının incelenmesi amacıyla, 17 Mayıs 2021 tarihli Landsat-8 görüntüsünün termal bandı yardımıyla oluşturulan yüzey sıcaklığı haritası Şekil 4'te verilmiştir. Yüzey sıcaklığı haritası üzerinde bazı noktalarda tespit edilen yüzey sıcaklık değerleri de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere temiz deniz yüzeyinde 17 Mayıs 2021 tarihinde ortalama yüzey sıcaklığı yaklaşık 14,5°C iken, müsilaj oluşumlarının yoğun olarak gözlemlendiği alanlarda genel olarak 3°C lik artışlar belirlenmiş olup, deniz yüzey sıcaklığının 17,3°C değerine kadar da yükselmiş olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Tespit edilen müsilaj oluşumları ve çalışma alanındaki dağılımları.



Şekil 4. Çalışma alanındaki yüzey sıcaklığı haritası.


5. SONUÇ VE ÖNERİLER


Uzaktan algılama teknolojileri yeryüzünde meydana gelen zamana bağlı doğal ve yapay değişimlerin izlenmesi ve tespiti noktasında önemli bir veri kaynağı durumundadır. Bu çalışmada, Marmara Denizi'nin büyük bölümünde deniz yüzeyinde oluşan müsilaj Sentinel-2A ve Landsat-8 görüntüleri kullanımıyla zamansal olarak haritalanmıştır. Ayrıca, yüzey sıcaklıklarının analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Mayıs ayı ortasından itibaren Gemlik ve İzmit Körfezlerinde yoğun tabakaların rüzgâr ve akıntıyla hareketleri gözlemlenmiştir. Müsilaj oluşumunun 14 Mayıs 2021 tarihinden itibaren 10 günlük zaman diliminde %41'lik bir artış göstererek yaklaşık 70 km²lik bir alanda etkili olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu bulgu, müsilaj oluşumunun çok hızlı bir şekilde artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Termal görüntü yardımıyla elde edilen yüzey sıcaklık değerleri analiz edildiğinde, müsilaj oluşumlarının yüzey sıcaklığı yoğunluğa bağlı olarak temiz deniz yüzeyine göre yaklaşık 3°C fazla olduğu ve ortalama 17±1°C seviyesine kadar ulaştığı görülmüştür. Bu bulgu, 2008 yılında İstanbul Boğazı ve İzmit Körfezinde yaşanan müsilaj oluşumları üzerine yapılan çalışmaları doğrular niteliktedir (Aktan ve diğerleri, 2008). Marmara Denizi'nde çözünmüş oksijenin azaldığı ve partikül organik maddelerin artış gösterdiği, dalga hareketinin ve akıntının olmadığı bölgelerde yüzey sıcaklığının artış gösterdiği değerlendirilmektedir. Optik ve termal görüntülerde bulutluluk oranının bahar döneminde yüksek olması nedeniyle tüm Marmara Denizi değerlendirmeye tabi tutulamamış ve Haziran ayı başlangıcı için değerlendirme gerçekleştirilememiştir. Devam eden çalışmalarla, yaz döneminde müsilaj hareketliliğinin beş gün aralıklarla periyodik olarak takibi yapılabilecek ve müsilaj yoğunluğu ile sıcaklık ilişkisi modellenebilecektir.

ORCID

Taşkın KAVZOĞLU  <https://orcid.org/0000-0002-9779-3443>

İsmail ÇÖLKESEN  <https://orcid.org/0000-0001-9670-3023>

Umut Güneş SEFERCİK  <https://orcid.org/0000-0003-2403-5956>

Muhammed Yusuf ÖZTÜRK  <https://orcid.org/0000-0001-6459-9356>

KAYNAKLAR

- Avdan, U. ve Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016, 1–8. doi: 10.1155/2016/1480307
- Aktan, Y., Isinibilir, M., Topaloğlu, B., Dede, A. ve Çardak, M. (2008). Mucilage event associated with diatoms and dinoflagellates from the Marmara Sea, Turkey. *Harmful Algae News*, May 2008, 36, 1-7.
- Azam F., Fonda-Umani S. ve Funari E. (1999). Significance of bacteria in the mucilage phenomenon in the northern Adriatic Sea. *Ann Ist Super Sanita*, 35(3), 411-9. PMID: 10721207.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. In *Machine Learning* (pp. 5–32). Chapman and Hall/CRC.
- Colkesen, I. ve 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
- Copernicus Open Access (Sentinel uydu görüntülerine erişim), (2021, 25 Mayıs). Erişim adresi: <https://scihub.copernicus.eu>.
- Danovaro, R., Fonda-Umani, S. ve 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
- EarthExplorer (Landsat uydu görüntülerine erişim), (2021, 20 Mayıs) <http://earthexplorer.usgs.gov/>.
- Fu, B., Wang, Y., Campbell, A., Li, Y., Zhang, B., Yin, S., Xing, Z. ve Jin, X. (2017). Comparison of object-based and pixel-based Random Forest algorithm for wetland vegetation mapping using high spatial resolution GF-1 and SAR data. *Ecological Indicators*, 73, 105–117. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.09.029
- Funari E. ve Ade P. (1999). Human health implications associated with mucilage in the northern Adriatic Sea. *Ann Ist Super Sanita*, 35(3), 421-5. PMID: 10721208.

- Giani, M., Savelli, F., Berto, D., Zangrando, V., Cosović, B. ve 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*, <https://run.unl.pt/bitstream/10362/9205/1/TGE00095.pdf>
- Immitzer, M., Atzberger, C. ve Koukal, T. (2012). Tree species classification with random forest using very high spatial resolution 8-band WorldView-2 Satellite data. *Remote Sensing*, 4(9), 2661–2693. doi: 10.3390/rs4092661
- Jensen, J. R. (2015). Introductory digital image processing: A remote sensing perspective (4th. ed.). Prentice Hall Press, USA.
- Kavzoglu, T. (2017). Object-oriented random forest for high resolution land cover mapping using Quickbird-2 Imagery. *Handbook of Neural Computation*, 2017, 607-619.
- Kraus, R. ve Supić, N. (2015). Sea Dynamics impacts on the macroaggregates: A case study of the 1997 mucilage event in the northern Adriatic. *Progress in Ocenaography*, 138, 249-267. doi: 10.1016/j.pocean.2015.06.005
- Mecozzi, M., Acquistucci, R., Noto, V., Pietrantonio, E., Amici, M. ve Cardarilli, Demetria. (2001). Characterization of mucilage aggregates in Adriatic and Tyrrhenian Sea: Structure similarities between mucilage samples and the insoluble fractions of marine humic substance. *Chemosphere*, 44, 709-20. doi: 10.1016/S0045-6535(00)00375-1
- 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.
- Sekertekin, A. ve Bonafoni, S. (2020). Land surface temperature retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over rural areas: Assessment of different retrieval algorithms and emissivity models and toolbox implementation. *Remote Sensing*, 12(2), 294. doi: 10.3390/rs12020294
- Sheykhmousa, M., Mahdianpari, M., Ghanbari, H., Mohammadimanesh, F., Ghamisi, P. ve Homayouni, S. (2020). Support vector machine versus random forest for remote sensing image classification: A Meta-analysis and systematic review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 6308–6325. doi: 10.1109/JSTARS.2020.3026724
- SNAP (Sentinel Application Platform), (2021, 24 Haziran), <https://step.esa.int/main/download/snap-download>.
- Suresh, S., Ajay Suresh, V. ve Mani, K. (2016). Estimation of land surface temperature of high range mountain landscape of Devikulam Taluk using LANDSAT 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05(01), 92–96.
- Tas, S., Kus, D. ve 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. ve Mantıkçı, 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
- Yentur, R.E., Buyuates, Y., Ozen, O. ve Altin, A. (2013). The environmental and socio-economical effects of a biologic problem: Mucilage. *Marine Science and Technology Bulletin*, 2(2), 13-15.
- Zambianchi, E., Calvitti, C., Cecamore, P., D'Amico, F., Ferulano, E. ve Lanciano, P. (1992). The mucilage phenomenon in the Northern Adriatic Sea, summer 1989: a study carried out with remote sensing techniques. *Marine Coastal Eutrophication*, 126, 581-598. doi: 10.1016/B978-0-444-89990-3.50053-5