

Yanmış Alanların Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI ile Tespiti ve Analizi: Çanakkale/Gelibolu Orman Yangını

Beyza Yılmaz^{1*}, Mehveş Demirel¹, Filiz Bektaş Balçık¹

¹Istanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul.

Özet

Son yıllarda artan orman yangınları bitki örtüsüne ve birçok canlıya ciddi zararlar vermektedir. Uzaktan algılama teknolojisi ve bazı algoritmalar orman yangını sonrası arazinin durumunu incelemek ve çeşitli analizler yapmak için kullanılmaktadır. Farklı özelliklere sahip uydu görüntüleri (Sentinel, Landsat, MODIS, SPOT, vb.), yangın hasarlarını belirlemek ve yanmış alanların haritalarını üretmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 6 Temmuz 2020 tarihinde Çanakkale ili Gelibolu ilçesinde meydana gelen orman yangını, Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI uydu görüntüleri ve uzaktan algılama indeksleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma bölgesine ait orman yangını öncesi ve orman yangını sonrası görüntüler ile Yanmış Alan İndeksi (BAI), Normalize Edilmiş Nem İndeksi (NDMI), Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR) ve Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) hesaplanmıştır. Yangın sonrası tahrip olmuş orman alanını hesaplamak amacıyla yangın öncesi ve sonrası için hesaplanan indekslerin farkları alınmıştır. Hata matrisi ile doğruluk değerlendirmesi için genel doğruluk, kullanıcı doğruluğu, üretici doğruluğu ve Kappa istatistiği hesaplanmış ve doğruluk değerlendirme sonuçları karşılaştırılarak Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI için performans değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda hem Landsat-8 OLI hem de Sentinel-2 MSI için en doğru indeksin Fark Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (dNDVI) olduğu bulunup Kappa sonuçları sırasıyla 0.94 ve 0.95 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler

Yanmış Orman Alanı, Sentinel-2 MSI, Landsat-8 OLI, Uzaktan Algılama İndeksleri, Doğruluk Değerlendirmesi

Detection and Analysis of Burned Areas with Sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI: Çanakkale / Gelibolu Forest Fire

Abstract

Recently, increasing wildfires have caused severe damage to vegetation and many living creatures. Remote sensing technologies and various algorithms are used to determine and analyze the burned forest areas. Different remotely sensed images such as Sentinel-2 MSI, Landsat, MODIS, SPOT were used to determine forest fire damage and to produce maps for burned areas. In this study, the 6 July 2020 dated wildfire that occurred in the Gallipoli district of Çanakkale province has been analyzed by using Sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI satellite images. Burned Area Index (BAI), Normalized Moisture Index (NDMI), Normalized Burn Ratio (NBR), and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were calculated with the pre and post-fire satellite images of the study area. The differences of the pre and post-fire indices were calculated to determine the burned forest area. Error matrix was produced for accuracy assessment. Overall accuracy, user accuracy, producer accuracy, and Kappa statistics were calculated, and performances were evaluated for different sensors and different indices by comparing the accuracy assessment results. The highest accuracy results were achieved with Differenced Normalized Difference Vegetation Index (dNDVI) for both Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI images, and Kappa statistic results were obtained as 0.94 and 0.95, respectively.

Keywords

Burned Forest Area, Sentinel-2 MSI, Landsat-8 OLI, Remote Sensing Indices, Accuracy Assessment

1. Giriş

En büyük doğal afetlerden biri olan orman yangınları ekosistem dengesizliğine ve yapısal hasara yol açar (Liu vd. 2010). Son yıllarda iklim değişiklikleriyle birlikte sık ormanlık alanlarda farklı sebeplerden dolayı orman yangını olasılığı artmıştır. Bu sebepten orman yangınlarının izlenmesi ve yangın sonrası değişimlerin tespit edilmesi sürdürülebilir çevre yönetimi için büyük önem taşımaktadır (Chung vd. 2019). Yangınlar dünyadaki birçok orman sisteminde sıklıkla gözlenmektedir ancak özellikle Akdeniz tipi ekosistemler için daha yaygındır. Orman yangınları ekolojik açıdan incelendiğinde ağaç topluluklarının hastalıklar, böcekler, rüzgâr ve don olayları gibi diğer tehlikelerden daha fazla tahrip olmasına neden olur. Yüzbinlerce yıllık gelişim sürecinde, bu ekosistemler yangınlara uyum yeteneklerini geliştirerek var olmaya devam etmişlerdir (Gonçalves ve Sousa 2017).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (212) 2853809 Faks: +90 (212) 2856587

Gönderim Tarihi / Received : 27/05/2021

E-posta: beyzayilmaz158@hotmail.com (Yılmaz B), mehvesdmrl96@gmail.com (Demirel M)

Kabul Tarihi / Accepted : 05/10/2021

bektasfi@itu.edu.tr (Bektaş Balçık F)

Akdeniz bölgesinde yer alan Türkiye'de yıllık orman yangınlarının sayısı çok fazladır ve anında müdahale ve sonrasında iyileştirme çalışmaları bölgenin çevresel zenginlikleri ve iklim özelliklerinin korunması için büyük önem taşımaktadır. Uzaktan algılama teknolojisi yanmış alanları yüksek doğrulukla ve hızlı tespit ederek sürdürülebilir çevresel izleme ve yönetimi için analiz yapmaya katkıda bulunmaktadır. Singh (1989)'e göre değişim tespiti, bir nesnenin veya olgunun durumundaki değişimleri farklı zamanlar için belirleme tekniğidir. Genel olarak, değişim tespiti, zamansal sonuçları nicel olarak analiz etmek için çok zamansal veri setlerinin kullanılmasını gerektirir (Lu vd. 2004). Değişim tespiti yöntemini kullanarak yanmış alanları belirlemek için birçok uzaktan algılama indeksi geliştirilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır (Marino ve Hajsek 2013). Orman yangınından sonra, uydu görüntüleri, tahrip olmuş alanın yüksek doğruluk ile haritasını üretmek için önemli bir role sahiptir (Chen vd. 2015). Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI gibi orman yangınlarından sonra / sırasında yanmış alanları belirlemek için orta mekansal çözünürlüğe sahip farklı uzaktan algılanmış veriler kullanılmıştır. Navarro vd. (2017), Ağustos 2016'da Madeira yangınlarını değerlendirmek için Sentinel-2A uydusundan gelen görüntüleri kullanmışlardır. Yangın sonrası için NDVI, Yeşil Normalize Fark Bitki İndeksi (GNDVI), NBR ve kırmızı kenar bantları kullanılmıştır. Yangın sonrası koşulları değerlendirmek için kırmızı kenar bantları (NDVIreXn) kullanarak Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksini hesaplamışlardır. Sentinel-2A MSI görüntülerini kullanarak yanmış alanı ayırt etmek için NDVIreIn'nin en iyi indeks olduğu önceki araştırma bulgularını teyit etmektedir.

Çolak ve Sunar (2018), İzmir ilinde Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI ile yanmış alanların haritalarını üretmek ve sonuçları değerlendirmek için sınıflandırma yöntemi kullanmışlardır. Sonuç olarak farklı yanmış alan indeksleri; BAI, Termal Normalleştirilmiş Yanma Oranı İndeksi (NBRT) ve Orta Kızılötesi Yanmış Alan İndeksi (MIRBI) yanmış ve yanmamış alanları doğru bir şekilde ayırt etmek için analiz edilmiş ve Sentinel-2 MSI verileri (10 m) ile Landsat-8 OLI verilerinden daha iyi performans sağlandığı belirtilmiştir.

Quintano vd. (2018), 11 Ağustos 2015 tarihinde Sierra Gata'da (orta-batı İspanya) bulunan büyük bir orman yangınında (yaklaşık 8000 hektar) yangın hasarını değerlendirmek için Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI uydularını karşılaştırmışlardır. Bunun için yangın öncesi ve sonrası NBR görüntülerini hesaplamışlardır. Sonuçlar, Landsat-8 OLI ile üretilen yanma şiddeti haritalarının, hasar derecesinin (κ istatistik = 0.80) ve orman yangını acil durum müdahalesinde mekansal dağılımının yeterli bir değerlendirmesini sunduğunu göstermiştir.

Chung vd. (2019), Nisan 2019'da Güney Kore, Gangwon Eyaleti, Gangneung'un iğne yapraklı ormanında orman yangınının neden olduğu hasarı değerlendirmek için Sentinel-2 MSI görüntüleriyle çalışarak 2018 ve 2019'un aynı döneminde yaygın olarak kullanılan NDVI ve NBR indeksleri ile yangından etkilenen alanları doğal olarak değişen alandan ayırmışlardır. Kappa istatistiklerini hesaplayarak NDVI indeksinin daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Liu vd. (2020), Landsat-8 OLI görüntülerini kullanarak Amerika Birleşik Devletleri, güneydoğu Avustralya ve Avrupa'da yanmış orman alanını yanmamış alandan Orta Kızılötesi Yanmış Alan İndeksi (MIRBI), Termal Normalize Yanma Oranı İndeksi (NBRT), Yakın Kızılötesi-Kısa Dalga Kızılötesi NIR-SWIR-Sıcaklık Versiyonu 2 (NSTV2), NDVI, Küresel Çevre İzleme Endeksi (GEMI), NBR, BAI, Normalleştirilmiş Fark SWIR (NDSWIR), Orta Kızılötesi Bispektral İndeks gibi indeksler kullanarak ayırmak istemişlerdir. Sonuç olarak, tüm veri setlerinde elde edilen deneysel sonuçların Normalize edilmiş Yanmış Oran SWIR (NBRSWIR) değişim tespiti yönteminin yanmış alanların tespitinde açık ara avantajları olduğunu doğruladığını bulmuşlardır. Ardından NBR, NSTV2, NBRT, MIRBI ve NDSWIR dahil olmak üzere yangın indeksi tabanlı değişim tespiti yöntemleri izlediğini vurgulamışlardır.

Garcia-Llamas vd. (2019), Ağustos 2017'de 9.939 hektarın yandığı İspanya'nın kuzeybatısında bulunan Cabrera sıradağlarında meydana gelen orman yangınında yangın hasarını değerlendirmek için Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu görüntülerini kullanarak dNDVI ve dNBR indekslerini hesaplamışlardır. NBR indeksinin yanma şiddetini değerlendirmede kırmızı ve NIR bantlarına ve termal bilgilere dayanan indekslere göre daha etkili olduğunu doğrulamışlardır. Yüksek çözünürlüklü Sentinel-2 MSI görüntüleri, Landsat-8 OLI görüntülerine kıyasla NBR tabanlı indekslerin daha iyi sonuç gösterdiğini vurgulamışlardır.

Kesgin Atak ve Tonyaloğlu (2020), İzmir Karabağlar'da yanmış ve yanmamış alanları ayırt etmek için spektral indekslerin performansını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Landsat-8 OLI ve Sentinel-2A uyduları kullanılarak yangın öncesi ve sonrası görüntüler için NDVI, Atmosfere Dirençli Bitki İndeksi (ARVI), (NBR ve NBR2) iki versiyonu ve BAI indeksleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak NBR2, NDVI ve ARVI indekslerinin yanmış alanları yüksek doğruluk ile ayırt edebildiği belirtilmiştir.

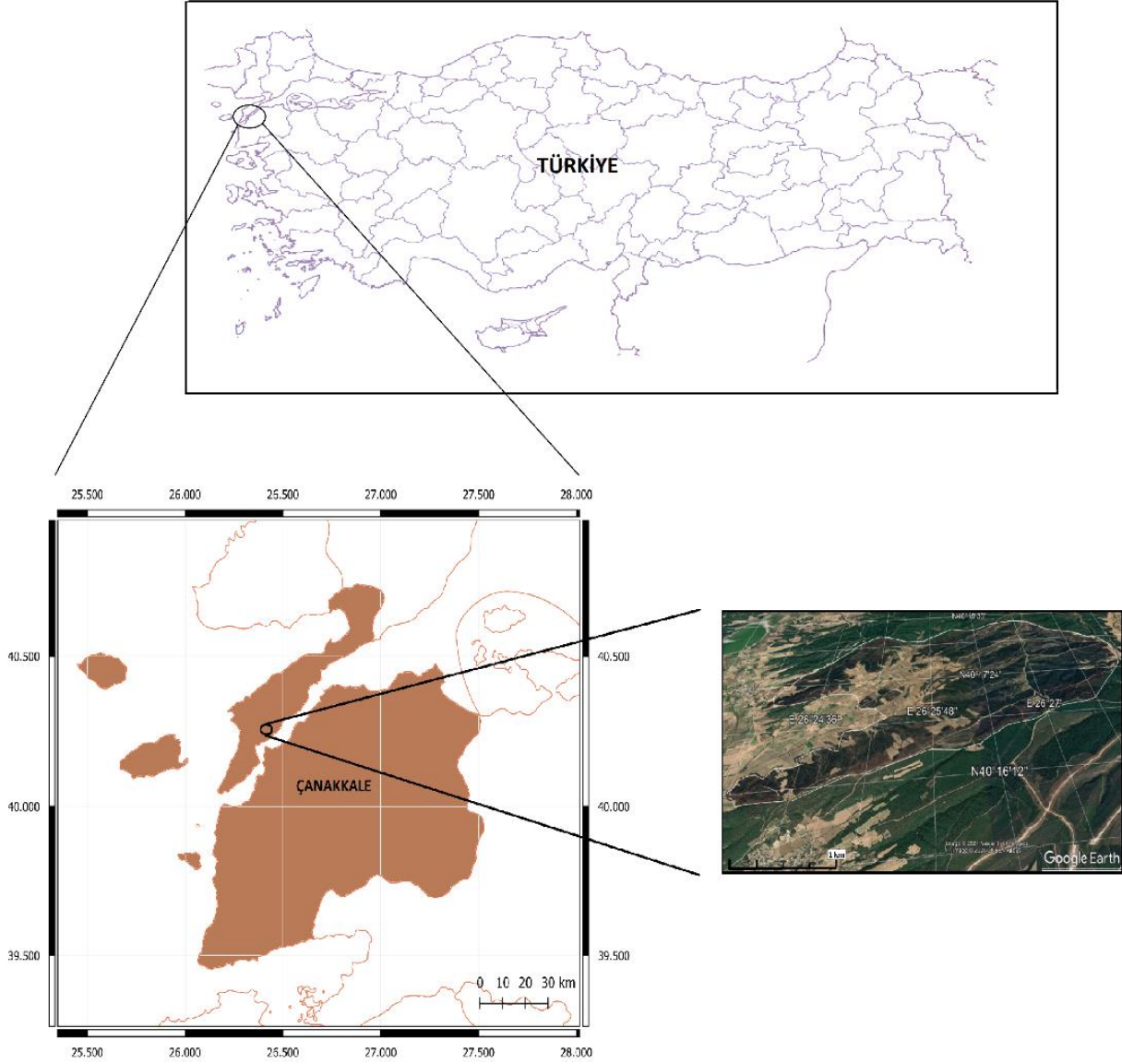
Bu çalışmanın amacı, Çanakkale ili Gelibolu ilçesinde 6 Temmuz 2020 yılında meydana gelen ve yaklaşık 1247 (ha) (12,47 km²) alanın tahrip olmasına sebep olan orman yangını sonrası Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI uydu görüntüleri ile tahrip olmuş alanın tespit edilmesidir. Çalışmada, yangın öncesi ve sonrası görüntüleri ile hesaplanan NBR, NDVI, BAI ve NDMI uzaktan algılama indeksleri ile çalışmada kullanılan indekslerin ve kullanılan uzaktan algılama verilerinin performanslarına ait değerlendirme yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, yanmış orman alanını belirlemek için yangın öncesi ve yangın sonrası Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntüleri kullanılarak farklı uzaktan algılama indekslerinin ve farklı algılayıcıların performanslarını değerlendirmek için çeşitli analizler yapılmıştır.

2.1.Çalışma Alanı ve Materyal

Çalışma bölgesi olarak Çanakkale, Gelibolu Yarımadasında bulunan Yalova Köyü ve Ilgardere İlçesi arasında kalan ormanlık bölge seçilmiştir (Şekil 1). Yangın ormanlık alan civarında bulunan ekili tarım arazilerine (buğday, arpa, yulaf, çavdar, susam, fasulye, nohut tarlalarına) ve Gelibolu ormanlık alanının bir kısmına zarar vermiştir.



Şekil 1: Çalışma alanı

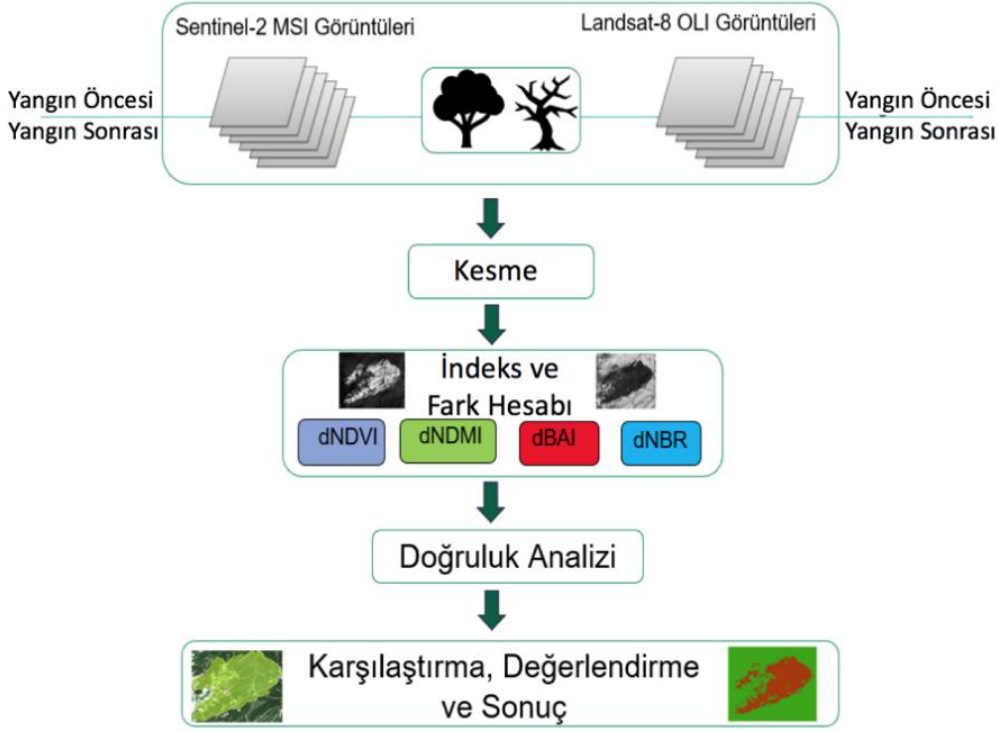
Bu çalışmada iki farklı algılayıcı kullanılmıştır. Algılayıcılardan, Sentinel-2 MSI, 10 m, 20 m ve 60 m mekansal çözünürlüğe sahip 13 spektral bant içerir (Chung vd. 2019). Bu bantlar elektromanyetik spektrumun 443-2190 nm aralığında bulunmaktadır. 290 km çerçeve genişliği vardır. Bu bantlar 10 m mekansal çözünürlüğe sahip olan dört görünür ve yakın kızılötesi-1 bant, 20 m mekansal çözünürlüğe sahip kırmızı kenar, yakın kızılötesi-2 ve kısa dalga kızılötesi bant ve 60 m mekansal çözünürlüğe sahip üç atmosferik düzeltme bandı şeklindedir. Bu uydunun öncelikli görevlerinden bir tanesi de arazi örtüsü ve kullanımına ilişkin haritalama işlemleridir (Dereli 2019). Diğer algılayıcı, Landsat-8 OLI, 30 m mekansal çözünürlüğe sahip 11 spektral bant içerir (100 m - termal, 15 m pankromatik). Landsat-8 OLI; 30 m mekansal çözünürlüğe sahip Kıyı/ Aerosol (0,433- 0,455 μm), Mavi (0,450-0,510 μm), Yeşil (0,530-0,590 μm), Kırmızı (0,640-0,670 μm), Yakın Kızılötesi (0,850- 0,880 μm), Kısa Dalga Kızılötesi (1,570-1,650 μm), Kısa Dalga Kızılötesi (2,100-2,290 μm) ve Sırrus (1,360-1,380 μm) bandına sahiptir. Özellikle uzun zamanlı değişimleri izlemek için önemli bir veri kaynağıdır (Mert vd. 2016). Sentinel-2 MSI için 29 Haziran 2020 ve 16 Temmuz 2020'de ve Landsat-8 OLI için 29 Haziran 2020 ve 15 Temmuz 2020'de olmak üzere iki çift görüntü üzerinde çalışıldı. Landsat 8 OLI ve Sentinel-2 MSI özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. NIR yakın kızılötesi, SWIR kısa dalga kızılötesi anlamlarına gelmektedir.

Tablo 1: Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI kullanılan bant özellikleri

LANDSAT-8 OLI			
Spektral Bantlar	Dalgaboyu (nm)	Piksel Boyutu (m)	Radyometrik Çözünürlük
1 (Kıyı/Aerosol)	430-455	30	16
2 (Mavi)	450-510	30	16
3 (Yeşil)	530-590	30	16
4 (Kırmızı)	640-670	30	16
5 (NIR)	850-880	30	16
6 (SWIR1)	1570-1650	30	16
7 (SWIR2)	2100-2290	30	16
8 (Pankromatik)	500-680	15	16
9 (Sırrus)	1360-1380	30	16
10 (TIRS) 1	10600-11190	100	16
11 (TIRS) 2	11500-12510	100	16
SENTINEL-2 MSI			
Spektral Bantlar	Dalgaboyu (nm)	Piksel Boyutu (m)	Radyometrik Çözünürlük
1 (Kıyı/Aerosol)	443	60	12
2 (Mavi)	490	10	12
3 (Yeşil)	560	10	12
4 (Kırmızı)	665	10	12
5 (Bitki Kırmızı Kenar)	705	20	12
6 (Bitki Kırmızı Kenar)	740	20	12
7 (Bitki Kırmızı Kenar)	783	20	12
8 (NIR)	842	10	12
8A (NIR)	865	20	12
9 (Su Buharı)	945	60	12
10 (SWIR-Sırrus)	1375	60	12
11 (SWIR1)	1610	20	12
12 (SWIR2)	2190	20	12

2.2. Yöntem

Uzaktan algılama teknolojisi ile orman yangını sonrası yanmış alanların tespiti hızlı ve yüksek doğruluk ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, ücretsiz olarak kullanılan Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntüleri kullanılarak yanmış orman alanı farklı uzaktan algılama indeksleri ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 2). Orman yangının öncesi ve sonrasına ait görüntüler kullanılarak yanmış alanları belirlemek için ilk önce yangın öncesi ve sonrası olmak üzere Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI görüntüleri elde edilmiştir. Bu görüntülere kesme işlemi uyguladıktan sonra literatür araştırması sonuçlarına göre seçilen çeşitli indekslerle işleme tabi tutulmuştur. Sonrasında yangın öncesi ve yangın sonrası hesaplanan indeks görüntülerinin farkları belirlenmiştir. Bu fark indekslerinin her iki algılayıcı için ayrı ayrı doğruluk değerlendirme analizleri hata matrisleri ile yapılmış olup en sonunda karşılaştırma ve değerlendirmeler yapılarak sonuca ulaşılmıştır.



Şekil 2: Akış şeması

2.2.1 Uzaktan Algılama İndeksleri

Yanmış alanları belirlemek için spektral indekse dayalı yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Liu vd. 2020). Bu çalışmada Tablo 2’de görüldüğü gibi Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu görüntüleri kullanılarak yanmış alanı belirlemek için Yanmış Alan İndeksi (BAI), Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Normalize Edilmiş Nem İndeksi (NDMI), Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR), Fark Yanmış Alan İndeksi (dBAI), Fark Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (dNDVI) Fark Normalize Edilmiş Nem İndeksi (dNDMI), Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (dNBR) seçilmiştir. Bu fark indeksleri yangın öncesi ve sonrası değişimi belirlemek için kullanılmıştır.

Tablo 2: Seçilmiş uzaktan algılama indeksleri

Kısaltma	Spektral indeks	Formül	Eşitlik
NDVI	Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi	$(NIR-RED)/(NIR+RED)$	(1)
BAI	Yanmış Alan İndeksi	$1/((0.1 + RED)^2 + (0.06 + NIR)^2)$	(2)
NBR	Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti	$(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)$	(3)
NDMI	Normalize Edilmiş Nem İndeksi	$(NIR-MIR)/(NIR+MIR)$	(4)
dNDVI	Fark Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi	NDVIönce - NDVIsonra	(5)
dBAI	Fark Yanmış Alan İndeksi	BAIönce - BAIsonra	(6)
dNBR	Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti	NBRönce - NBRsonra	(7)
dNDMI	Fark Normalize Edilmiş Nem İndeksi	NDMIönce- NDMIsonra	(8)

NDVI, yakın kızılötesi ışığın sağlıklı bitki örtüsü ile kaplı alanlarda yüksek yansımalarının aksine, yeşil bitki örtüsünün güçlü görünür kırmızı ışığı absorbe etmesinden yararlanan en bilinen ve en çok kullanılan indekslerden biridir. Bitki örtüsü yangın nedeniyle zarar gördüğünde NDVI değerleri önemli ölçüde azalır. Bu nedenle yanmış alanlar için doğru sonuçların elde edilebileceği etkili bir yöntemdir (Fornacca vd. 2018).

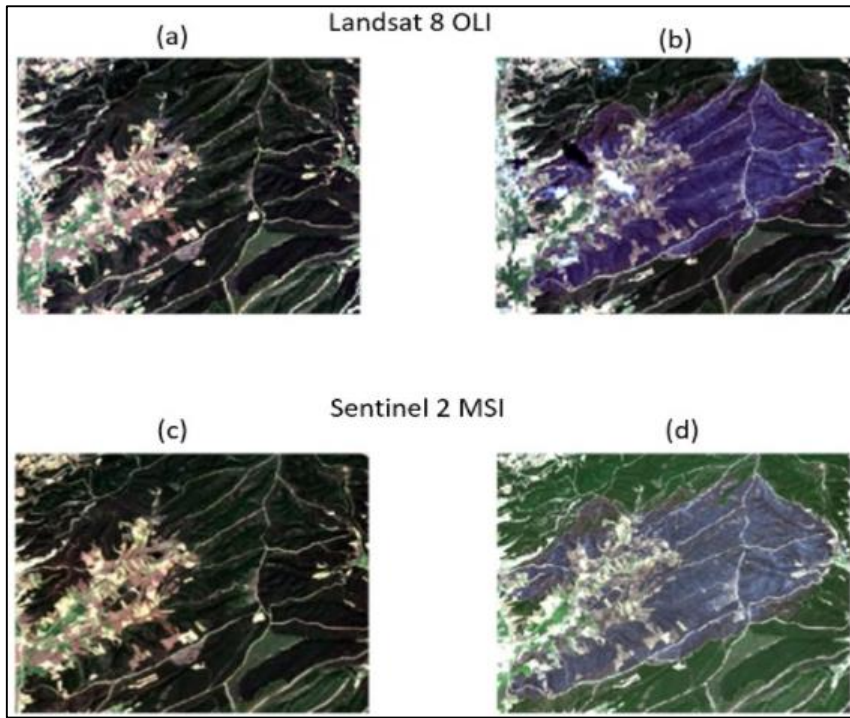
NDVI değeri -1'e yaklaşırsa bitki örtüsü azalmış 1'e yaklaşırsa bitki örtüsü artmış demektir. BAI yangından etkilenen arazi alanlarını belirlemek için spektrumun kırmızı ve NIR kısmındaki yansıma değerlerini kullanır ve formülü gereği negatif değer alma şansı yoktur. NBR, bir yangından sonra ortaya çıkan bitki örtüsündeki değişikliklere, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantlarındaki nem içeriğine duyarlıdır (Miller ve Thode 2007). Sağlıklı bitki örtüsü, NIR'de çok yüksek bir yansıma, spektrumun SWIR kısmında düşük yansıma gösterir. NBR değerinin yüksek olması sağlıklı bitki örtüsü anlamına gelmektedir (Keeley 2009). NBR değer aralığı -1 ila 1'dir. Normalize Edilmiş Nem İndeksi (NDMI), NDVI ile benzer şekilde hesaplanır, ancak kırmızı dalga boyları yerine kısa dalga kızılötesi (SWIR) kullanır. NDMI, su stresi sorunları olan yeşil alan veya tarım alanlarını anında belirlemeyi mümkün kılar. NDMI da -1 ile 1 arasında değer alır ve 1'e yaklaştığında yeterli suyun olduğunu, su stresinin olmadığını ifade eder. NIR ile karşılaştırıldığında, SWIR bölgede yansımadaki azalma doku suyunun emilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle indeks değeri bitki örtüsünün su içeriğini hesaplamak için kullanılabilir.

2.2.2 Doğruluk Değerlendirmesi

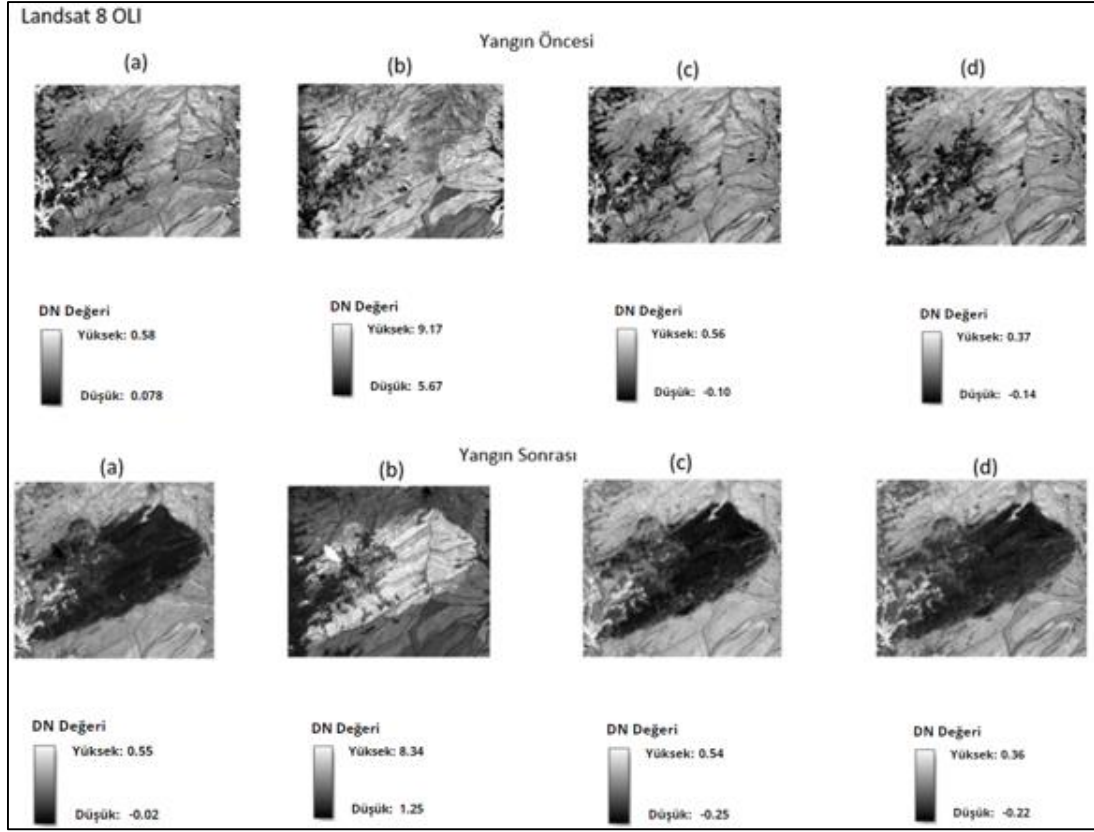
Tüm işlemlerden sonra sonuçların tematik doğruluğunu belirlemek için doğruluk değerlendirme analizi yapmak önemlidir. Doğruluk değerlendirme, piksellerin doğru arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarına ne kadar doğru atandığının değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Rwanga ve Ndambuki 2017). Bu çalışmada, hesaplanan indekslerin tematik doğruluğunu belirlemek için hata matrisi yöntemi kullanılmıştır. Hata matrisi, referans verilerine göre o kategoriye karşılık gelen piksel sayısını ifade eden satırlar ve sütunlar içeren bir kare matristir (Flasse vd. 2005). Kullanıcı Doğruluğu (KD), Üretici Doğruluğu (ÜD), Genel Doğruluk (GD) ve Kappa İstatistiği oluşturulan hata matrisi kullanılarak hesaplanmaktadır.

3. Bulgular

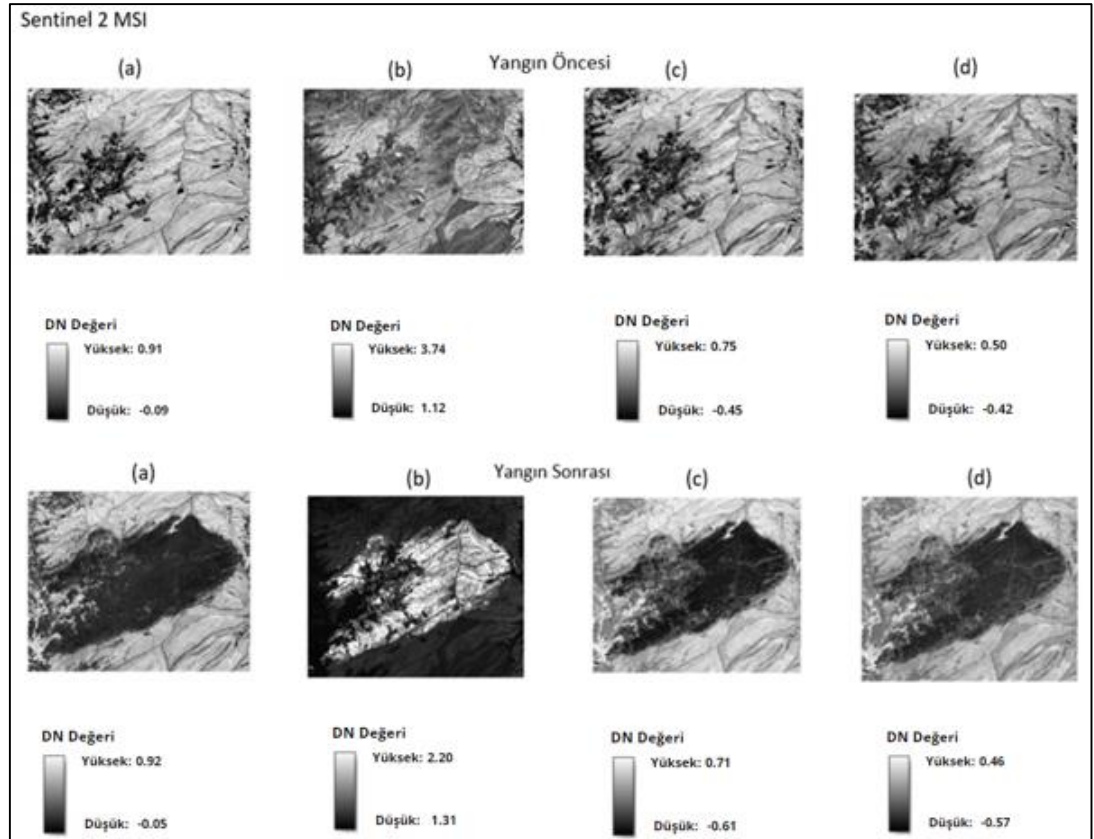
Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI uyduları kullanılarak Çanakkale / Gelibolu orman yangını sonrası tahrip olmuş alan tespit edilmiş ve farklı yöntemler ile farklı verilerin performansları doğruluk değerlendirme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yangında hasar gören bölgeleri tespit etmek için sırasıyla kırmızı ve NIR, NIR ve SWIR, NIR ve MIR, kırmızı ve NIR bantlarından NDVI, NBR, NDMI, BAI indeksleri hesaplanmıştır. Şekil 3'te Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI için yangın öncesi ve sonrasına ait gerçek renk görüntüleri gösterilmiştir. Şekil 4'te Landsat-8 OLI ve Şekil 5'te Sentinel-2 MSI için orman yangını öncesi ve sonrası için hesaplanan uzaktan algılama spektral indekslerinin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 3: Landsat-8 OLI ve Sentinel 2 MSI kesme görüntüleri a) yangın öncesi c) yangın öncesi b) yangın sonrası d) yangın sonrası



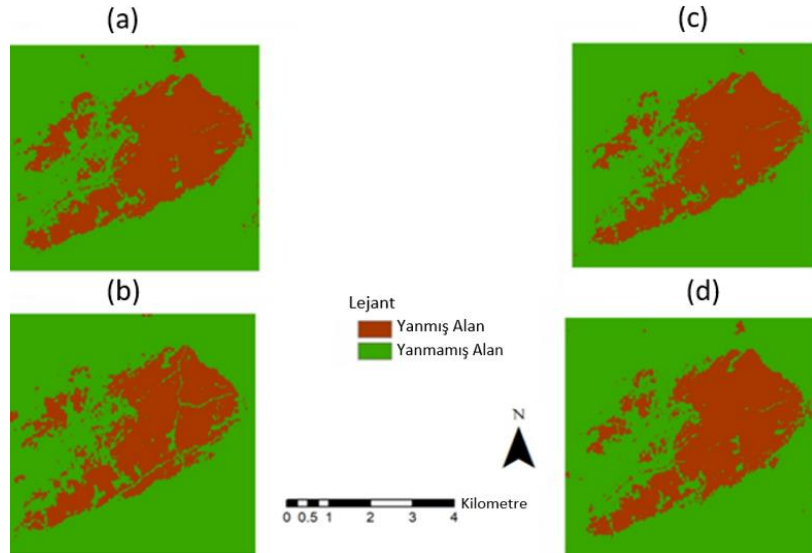
Şekil 4: Landsat-8 OLI spektral yanma indeksleri a) NDVI b) BAI c) NBR d) NDMI



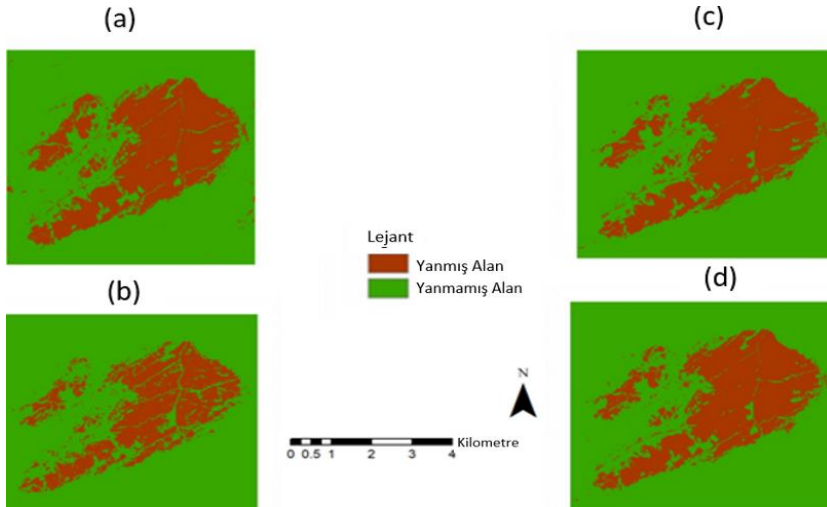
Şekil 5: Sentinel 2 MSI spektral yanma indeksleri a) NDVI b) BAI c) NBR d) NDMI

Yangın öncesi ve sonrası Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntüleri ile hesaplanan indeksler görsel olarak yorumlandığında yanmış alanların sahip olduğu yansıtım değerinin BAI indeksi için yangın öncesine göre daha yüksek (beyaz renkli), diğer hesaplanan indeksler NDVI, NBR ve NDMI için ise daha düşük değerlere (koyu renkli) sahip olduğu gözlenmiştir. BAI indeksinin değerlerinin diğer indekslerden yüksek olduğu gözlenmiştir. NDVI indeksi öncesi ve sonrası için değer aralığı yaklaşık -1 ile 1 arasında elde edilmiştir. NDVI değerinin yangın sonrası negatife düşmesinin nedeni ise yangından dolayı bitki örtüsünün zarar görmüş olmasıdır çünkü NDVI değeri -1'e yaklaşırsa bitki örtüsü azalmış, +1'e yaklaşırsa bitki örtüsü artmış demektir. Aynı şekilde NBR değeri yangın sonrası negatife düşmüştür çünkü sağlıklı bitki örtüsü azalmıştır. NDMI değerinin negatife düşmesinin nedeni ise su ve nem kaybından dolayı su stresi oluşmuştur.

Yangından zarar görmüş alanların tespit edilmesi için yangın öncesi ve yangın sonrası görüntülerinden hesaplanan indekslerin farkları alınarak dNDVI, dNBR, dNDMI ve dBAI indeksleri seçilen bölge için elde edilmiştir. Şekil 6'da Landsat-8 OLI ve Şekil 7'de Sentinel-2 MSI için fark indeksleri gösterilmiştir. Yanmış orman alanının yanmamış alanlardan ayırt edilebilmesi için yoğunluk dilimleme (density slicing) sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, amaç yanmış alanların en yüksek doğrulukla belirlendiği algılayıcı ve indeksi belirlemektir. Bu sebepten, yoğunluk dilimleme yöntemi kullanılarak elde edilen fark indeks görüntüleri yanmış alanlar ve yanmamış alanlar olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Yoğunluk dilimleme yöntemi görsel yorumlama ve görüntü histogram değerlerini dikkate alarak gerçekleştirilmiş ve her bir fark indeksi ve algılayıcı için belirlenen farklı eşik değerler ile yanmış alanlar diğer alanlardan ayırt edilmiştir. Bu değerlendirme esnasında yanmış orman alanına ait Maxar Teknoloji tarafından elde edilen yüksek çözünürlüklü Google Earth görüntüleri referans olarak kullanılmıştır.



Şekil 6: Landsat-8 OLI için fark indeksleri a) dNDVI b) dBAI c) dNBR d) dNDMI



Şekil 7: Sentinel-2 MSI için fark indeksleri a) dNDVI b) dBAI c) dNBR d) dNDMI

Elde edilen fark görüntülerinin doğruluk değerlendirmesi işlemi hata matrisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Doğruluk değerlendirmesi için rastgele dağılıma sahip bölgeyi ve tespit etmek istediğimiz iki kategoriye homojen olarak temsil edecek 50 yanmış alan ve 50 yanmamış alan için olmak üzere toplam 100 test noktası seçilerek hesaplanan tüm fark indeksleri ve iki farklı algılayıcı için hata matrisleri oluşturulmuştur. Kullanıcı Doğruluğu, Üretici Doğruluğu, Genel Doğruluk ve son olarak Kappa istatistiği için hesaplanan değerler Tablo 3'te gösterilmiştir. Elde edilen doğruluk değerlendirme sonuçlarına göre dNDVI, hem Landsat-8 OLI hem de Sentinel-2 MSI için en yüksek genel doğruluk ve Kappa istatistiği değerine sahip indeks olarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre Landsat-8 OLI için en yüksek doğruluk değeri 0.94 ve Kappa değeri 0.95 olarak hesaplanmıştır. Sentinel-2 MSI görüntüsünden elde edilen sonuçlara göre dNDVI genel doğruluk değeri 0.96 ve Kappa değeri 0.95 olarak hesaplanmıştır. En düşük genel doğruluk değeri Landsat-8 OLI için dNBR ile 0.82 ve Sentinel-2 MSI için dBAI ile 0.83 olarak bulunmuştur. Kappa istatistiği değerleri ise 0.81 dNBR (Landsat-8 OLI) ve 0.81 dBAI (Sentinel-2 MSI) olarak hesaplanmıştır. En yüksek kullanıcı doğruluğu yanmış alanlar için hem Landsat-8 OLI hem de Sentinel-2 MSI için dNDVI ile 0.94 olarak hesaplanmıştır. Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI için en yüksek üretici doğruluğu ise yanmış alanlar için dNDVI ile 0.96 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak seçilen indeksler arasında seçilen bölge için yanmış orman alanını en yüksek doğruluk ile belirleyen indeks dNDVI olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç Kesgin Atak ve Tonyaloğlu (2020) İzmir Karabağlar yangını için Landsat-8 OLI verileri ile gerçekleştirmiş oldukları çalışma ile desteklenmektedir. dNDVI indeksi ile yüksek doğruluk elde edilmesinin en önemli sebebi seçilen çalışma bölgesi bitki örtüsünde meydana gelen hasarın (yeşil bitkinin azalması ya da tamamen ortadan kalkması) en doğru şekilde kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar ile ifade edilmesidir. Elde edilen hata matrisi ile hesaplanan dNDVI doğruluk değerlendirme sonuçlarına göre ise Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntülerinin çok benzer performans gösterdikleri belirlenmiştir. Genel doğruluk ve Kappa istatistiği değerlerinde dNDVI için sadece 0.01'lik bir fark ile Sentinel-2 MSI görüntüsünün performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. Diğer indeksler için sonuçları değerlendirdiğimizde Landsat-8 OLI için en düşük genel doğruluk ve Kappa değeri dNBR indeksi ile hesaplanırken Sentinel-2 MSI için en düşük değerler dBAI için elde edilmiştir.

Tablo 3: Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI için doğruluk değerlendirmesi sonuçları

Landsat-8 OLI ve Sentinel 2 MSI Fark İndeksleri için Doğruluk Değerleri						
Landsat-8 OLI	Kullanıcı Doğruluğu		Üretici Doğruluğu		Genel Doğruluk	Kappa Doğruluğu
	Yanmış	Yanmamış	Yanmış	Yanmamış		
dNDVI	0.94	0.96	0.96	0.94	0.95	0.94
dNBR	0.72	0.92	0.73	0.9	0.82	0.81
dBAI	0.78	0.94	0.8	0.92	0.86	0.84
dNDMI	0.74	0.96	0.76	0.94	0.85	0.83
Sentinel-2 MSI	Kullanıcı Doğruluğu		Üretici Doğruluğu		Genel Doğruluk	Kappa Doğruluğu
	Yanmış	Yanmamış	Yanmış	Yanmamış		
dNDVI	0.94	0.98	0.96	0.96	0.96	0.95
dNBR	0.84	0.94	0.86	0.92	0.89	0.87
dBAI	0.68	0.98	0.69	0.96	0.83	0.81
dNDMI	0.78	0.96	0.8	0.94	0.87	0.85

Doğruluk değerlendirmesi işleminden sonra Google Earth üzerinden Maxar Teknoloji tarafından elde edilmiş yüksek mekansal çözünürlüklü veri üzerinden sayısallaştırma ile elde edilen yanmış alan sınırı farklı indeksler ile Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntülerinden elde edilen yanmış alan değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen değerler Tablo 4'te gösterilmiştir. Referans veri ile elde edilen yanmış alan sınırı 12.47 km² olarak hesaplanmıştır. Referansa en yakın alan değeri hem Landsat-8 OLI hem de Sentinel-2 MSI için dNDVI indeksi ile elde edilmiştir. Sonra sırasıyla dNBR ve dNDMI'nın takip etmesiyle beraber son olarak dBAI'nın referans ile en farklı alan değerine sahip olduğu gözlenmiştir. İndekslerin farkı ile hesaplanan alanların her iki görüntü için de referans veriden üretilen alan değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir.

Alan fark sonuçları incelendiğinde Landsat-8 OLI kullanılarak hesaplanan dNDVI indeksi ile referans veriye en yakın yanmış alan değerine ulaşıldığı belirlenmiştir. Alan karşılaştırması sonucunda diğer kullanılan tüm indeksler için en iyi performans Landsat-8 OLI verisi ile elde edilmiştir.

Tablo 4: Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI için referans ve fark indeksleri alan sonuçları

	Referans (km ²)	dBAI (km ²)	Fark (km ²)	dNDVI (km ²)	Fark (km ²)	dNDMI (km ²)	Fark (km ²)	dNBR (km ²)	Fark (km ²)
Landsat-8 OLI (km ²)	12.47	9.75	2.72	11.25	1.22	10.19	2.28	10.52	1.95
Sentinel-2 MSI (km ²)	12.47	7.83	4.64	10.85	1.62	9.83	2.64	10.09	2.38

Bu çalışmada, ücretsiz olarak elde edilen farklı çözünürlük özelliklerine sahip iki farklı uydu görüntüsünün performansları seçilen farklı indeksler için yanmış orman alanının belirlenmesi için test edilmiştir. Çalışmada iki farklı yöntem ile doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Hata matrisi kullanılarak elde edilen doğruluk değerlendirme sonuçları her iki algılayıcı için birbirine çok yakın çıkmıştır. Değerlere bakıldığında Sentinel-2 MSI görüntüsü daha yüksek bir performansa sahiptir. Referans veri ile yapılan alan karşılaştırmasında ise Landsat-8 OLI verisinin yanmış alanı daha doğru belirlediği tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Dünyanın en önemli doğal zenginlik kaynağı ormanlardır. Orman yangınları çok değerli ekolojik ve çevresel faydaya sahip orman alanları için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Uzaktan algılama sürdürülebilir yangın yönetimi ve orman yangınları sonrası tahrip edilmiş alanların yüksek doğrulukla tespit edilmesi için yaygın olarak kullanılan etkili bir yöntemdir. Yanmış alanı tespit etmek için farklı spektral indeksler kullanılabilir. Bu çalışmada, 6 Temmuz 2020 tarihinde Çanakkale ili Gelibolu ilçesinde meydana gelen orman yangını sonucunda yanan alanı Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu görüntüleri ile tespit etmek ve haritalarını üretmek için literatürde yaygın olarak kullanılan indeksler kullanılmıştır. Seçilmiş spektral indekslerin (BAI, NDVI, NDMI ve NBR) ve iki farklı algılayıcının (Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI) orman yangını sonrası yanmış alanı yanmamış alanlardan ayırma kapasitesi doğruluk değerlendirmesi yöntemleri ile analiz edilmiştir. Yanarak tahrip edilmiş orman alanı en yüksek doğruluğa sahip dNDVI yöntemi ile Landsat-8 OLI ile 11.25 km² ve Sentinel-2 MSI ile 10.85 km² bulunmuştur.

Sonuç olarak, özellikle ücretsiz olarak elde edilen uzaktan algılama görüntüleri yanmış alanların tespitinde ve analizinde büyük bir öneme sahiptir. Bu analizler bölgede meydana gelen tahribatın büyüklüğü, şiddeti ve dağılımı hakkında yüksek doğruluğa sahip bilgi üretimine imkan verir. Yanmış alanların izlenmesi ve belirlenmesi, yangın sırasında etkili müdahale ve yangın sonrası hasar görmüş alanların yeniden ağaçlandırılması çalışmaları için uzaktan algılama görüntüleri büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, orman yangını tespitinde uzaktan algılama uygulamaları, hızlı ve güvenilir sonuçlar için daha yaygın kullanılmalıdır.

Kaynaklar

- Chen G., Metz M.R., Rizzo D.M., Meentemeyer R.K., (2015), *Mapping burn severity in a disease-impacted forest landscape using Landsat and ASTER imagery*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 40(2015), 91-99.
- Chung, M., Jung, M., & Kim, Y., (2019), *Wildfire damage assessment using multi-temporal Sentinel-2 data*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 42(3/W8), 97-102.
- Çolak E., Sunar A.F., (2018), *Remote sensing & GIS integration for monitoring the areas affected by forest fires: A case study in Izmir, Turkey*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives, 42(3W4), 165-170.
- Dereli M., (2019), *Sentinel-2A uydu görüntüleri ile Giresun il merkezi için kısa dönem arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(2), 361-368.
- Flasse S., (2005), *Remote sensing and GIS accuracy assessment*, The Photogrammetric Record, 20(111), 306-307.
- Fornacca D., Ren G., Xiao W., (2018), *Evaluating the best spectral indices for the detection of burn scars at several post-fire dates in a mountainous region of northwest Yunnan, China*, Remote Sensing, 10(8), 1196, doi: 10.3390/rs10081196.
- García-Llamas P., Suárez-Seoane S., Fernández-Guisuraga J. M., Fernández-García V., Fernández-Manso A., Quintano C., Taboada A., Marcos E., Calvo L., (2019), *Evaluation and comparison of Landsat-8, Sentinel-2 and Deimos-1 remote sensing indices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 80(2019), 137-144.
- Gonçalves A.C., Sousa A.M.O., (2017), *The fire in the mediterranean region: a case study of forest fires in Portugal*, Mediterranean Identities - Environment, Society, Culture, Prof. Borna Fuerst-Bjeliš (Ed.), ss. 305-335. doi:10.5772/intechopen.69410.
- Keeley J.E., (2009), *Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage*, International Journal of Wildland Fire, 18(1), 116-126.

- Kesgin Atak B., Tonyaloğlu E., (2020), *Evaluating spectral indices for estimating burned areas in the case of Izmir/Turkey*, Eurasian Journal of Forest Science, 8(1), 49-59.
- Liu Y., Stanturf J., Goodrick S., (2010), *Trends in global wildfire potential in a changing climate*, Forest Ecology and Management, 259(4), 685-697.
- Liu S., Zheng Y., Dalponte M., Tong X., (2020), *A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data*, European Journal of Remote Sensing, 53(1), 104-112.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E., (2004), *Change detection techniques*, International Journal of Remote Sensing, 25(12), 2365-2401.
- Marino A., Hajsek I., (2013), *A change detector based on an optimization with polarimetric SAR imagery*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 52(8), 4781-4798.
- Mert A., Aksan Ş., Özkan U., Özdemir İ., (2016), *Landsat-8 OLI uydu görüntüsünden çıkarılan arazi çeşitliliği ile kuş türü zenginliği arasındaki ilişkiler*, Turkish Journal of Forestry 17(1), 68-72.
- Miller J.D., Thode A.E., (2007), *Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)*, Remote Sensing of Environment, 109(1), 66-80.
- Navarro G., Caballero I., Silva G., Parra P.C., Vázquez Á., Caldeira R., (2017), *Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 58(2017), 97-106.
- Quintano C., Fernández-Manso A., Fernández-Manso O., (2018), *Combination of Landsat and Sentinel-2 MSI data for initial assessing of burn severity*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 64(2018), 221-225.
- Rwanga S., Ndambuki J., (2017), *Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS*, International Journal of Geosciences, 8(04), 611-622.
- Singh A., (1989), *Digital change detection techniques using remotely sensed data*, International Journal of Remote Sensing, 10(6), 989-1003.