



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 26.05.2023
Kabul Tarihi : 25.09.2023

Received Date : 26.05.2023
Accepted Date : 25.09.2023

SENTINEL-2 MSI VE LANDSAT-9 OLI UYDU GÖRÜNTÜLERİYLE YANMIŞ ALANLARIN TESPİTİ: 2022 MUĞLA/MARMARİS ORMAN YANGINI

DETECTION OF BURNED AREAS WITH SENTINEL-2 MSI AND LANDSAT-9 OLI SATELLITE IMAGES: 2022 MUĞLA/MARMARİS FOREST FIRE

Emre YÜCER¹ (ORCID:0000-0003-0417-9338)

¹ Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karabük, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Emre YÜCER, emreyucer@karabuk.edu.tr

ÖZET

Orman yangınları canlılara ve bitki örtüsüne zarar vermekte, bunun yanında hava kirliliğine de neden olmaktadır. Bu nedenle orman yangınlarıyla mücadele önemli bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde görüntü işleme algoritmaları ve uzaktan algılamadaki farklı indeksler kullanılarak uydu görüntülerinden yanan alanların tespiti yapılabilmektedir. Bu çalışmada 21 Haziran 2022 tarihinde Muğla ili Marmaris ilçesinin Küfre koyu ve Hisarönü mahallesinde meydana gelen orman yangını Sentinel-2 MSI ve Landsat-9 OLI uydu görüntüleriyle analiz edilmiştir. Bu amaçla çalışma alanına ait yangın öncesi ve sonrasında ait uydu verilerinden Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI), Normalize Edilmiş Nem İndeksi (Normalized Moisture Index-NDMI), Normalize Edilmiş Yanma Oranı İndeksi (Normalized Burn Ratio Index-NBRI) ve Yanmış Alan İndeksi (Burned Area Index-BAI) hesaplanmıştır. Analizler sonucunda elde edilen yanmış alanlar Orman Genel Müdürlüğü (OGM) verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda OGM değerlerine en yakın sonuçların; Landsat-9 OLI görüntüsünde NDMI ve Sentinel-2 MSI görüntüsünde NDVI indekslerinin olduğu tespit edilmiştir. Sınıflandırma sonuçlarını değerlendirmek için hata matrisi hesaplanmıştır. Genel doğruluk ve Kappa değerlerine göre Sentinel-2 MSI görüntüsü, Landsat-9 OLI görüntüsüne göre daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Sentinel-2 MSI görüntüsünde 0,99 genel doğruluk ve 0,98 Kappa değeri ile NBRI indeksi en yüksek değerleri elde etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Landsat-9 OLI, orman yangını, Sentinel-2 MSI, uzaktan algılama indeksleri

ABSTRACT

Forest fires damage living creatures and vegetation, as well as cause air pollution. Therefore, the fight against forest fires is an important issue. Today, thanks to the developing technology, it is possible to detect the burned areas by using image processing algorithms, indexes used in remote sensing and satellite images. In this study, the forest fire that occurred on June 21, 2022 in Muğla province, Marmaris district, Küfre bay and Hisarönü neighborhood was analyzed with Sentinel-2 MSI and Landsat-9 OLI satellite images. For this purpose, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Moisture Index (NDMI), Normalized Burn Ratio Index (NBRI) and Burned Area Index (BAI) were calculated from the satellite data before and after the fire. As a result of the analysis, the burned areas were compared with the data of the General Directorate of Forestry. As a result of this comparison, it was determined that the closest results to the General Directorate of Forestry values were NDMI in the Landsat-9 OLI image and NDVI indices in the Sentinel-2 MSI image. The error matrix was calculated to evaluate the classification results. According to general accuracy and Kappa values, Sentinel-2 MSI image has higher values than Landsat-9 OLI image. The NBRI index obtained the highest values with 0,99 overall accuracy and 0,98 Kappa value in Sentinel-2 MSI image.

Keywords: Landsat-9 OLI, forest fire, Sentinel-2 MSI, remote sensing indices

ToCite: YÜCER, E., (2023). SENTINEL-2 MSI VE LANDSAT-9 OLI UYDU GÖRÜNTÜLERİYLE YANMIŞ ALANLARIN TESPİTİ: 2022 MUĞLA/MARMARİS ORMAN YANGINI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 866-880.

GİRİŞ

Orman yangınları doğal çevreye ve ekosisteme zarar veren en önemli afetlerdendir. Küresel ısınmayla birlikte meydana gelen iklim değişiklikleri orman yangınlarının sayısında artırmıştır. Son yıllarda, Avustralya'dan Kuzey Kutbu'na, Kuzey ve Güney Amerika'ya kadar dünya çapında rekor kıran orman yangını sezonları görülmektedir. Küresel sıcaklıkların artmasıyla, orman yangını riskini azaltma ihtiyacı ve bunun yanında yangınların tespiti her zamankinden daha kritik bir seviyede olmaktadır. Pek çok farklı iklim tipinde orman yangınları görülmekle birlikte orta kuşak iklimlerinde orman yangınları daha sık gözlemlenmektedir (Chung vd. 2019; Gonçalves & Sousa 2017). UNEP (United Nations Environment Programme-Birleşmiş Milletler Çevre Programı) hükümetlere artan orman yangınlarına karşı yaklaşımlarını yeniden düşünmeleri için acil bir çağrı yapmaktadır. Yeni bir "Yangına Hazır Formül" çağrısında bulunarak ve ekosistemin restorasyonunun önemini vurgulayarak, daha hazırlıklı olmak ve sonrasında yanmış alanların en iyi şekilde yeniden kazandırılarak orman yangını riskini en aza indirilebileceğini belirtmektedir (UNEP, 2023).

Ormanlar canlıların temel ihtiyacı olan oksijenin üretilmesinde, ekosistemin devamlılığı ve su kaynaklarının dengesinin sağlanmasında önemli rol almaktadır. Bu nedenle yeryüzünün yaşanabilir olması ve bunun devam ettirilmesi orman varlığının devamına bağlıdır. Kontrol edilemeyen ve aşırı orman yangınları insanlar, biyolojik çeşitlilik ve ekosistemler için yıkıcı olabilir. Ayrıca iklim değişikliğini şiddetlendirerek atmosfere önemli miktarda sera gazı salınmasına neden olur. Akdeniz bölgesinde bulunan ormanlar bitki örtüsü ve çeşitlilik açısından kuzey yarım kürede bulunan diğer ormanlara göre daha zengin yapıya sahiptir. Bunun yanında Akdeniz'deki ormanlar erozyon, su verimliliği ve şehir alanlarındaki mikroklima etkileri gibi pek çok faktörün üzerinde önemli etkilere sahiptir (Ertuğrul, 2005, Sarp vd. 2018).

Türkiye'de Akdeniz ikliminin yaygın olarak görüldüğü Ege ve Akdeniz bölgelerinde orman yangınlarının sayısı oldukça fazladır. Bunun sebebi Akdeniz ikliminde yarı nemli-kuru iklim şartlarının görülmesidir. Türkiye'de 2022 yılı içerisinde toplam 2160 orman yangını meydana gelmiştir. Bu yangınlarda toplam 12 799 hektar orman alanı zarar görmüştür. Toplam orman yangınları içerisinde en fazla orman yangının olduğu bölge müdürlükleri, 293 yangınla İzmir ve 273 yangınla Muğla bölge müdürlükleridir (OGM, 2023).

Orman yangınlarının tespit edilmesi, izlenmesi ve yangın sonrasındaki hasarlı alanların iyileştirilmesi doğal çevrenin korunması için önemlidir. Uzaktan algılama platformlarından elde edilen veriler orman yangınlarından zarar görmüş alanların yüksek doğrulukta ve hızlı bir şekilde tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. 1980'li yıllardan itibaren orman yangınlarının hem global hem de bölgesel ölçekte, doğal çevrede meydana getirdiği değişikliklerin ortaya çıkarılması için pek çok uzaktan algılama teknikleri ve indeksleri geliştirilmiştir. Orman yangınları sonucunda bitki örtüsündeki ve arazi yüzeyindeki değişimler uydulardaki sensörler tarafından ölçülen spektral farklılıkların incelenmesine ve bunun sonucunda da farklı spektral indekslerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. NBRI, NDVI, BAI ve NDMI uydu verileri kullanılarak yanmış alanları ortaya çıkarmak için kullanılan indekslerin başında gelmektedir (Sarp vd. 2018; Navarro vd. 2017; Chen vd. 2015).

Navarro vd. (2017), Sentinel-2A uydu verilerinden yararlanarak 2016 yılında, Portekiz'in Maderia adasında meydana gelen yangını incelemişlerdir. Yanmış alanların tespit edilmesinde NDVI ve Yeşil Normalize Fark Bitki İndekslerinden (GNDVI- Green Normalized Difference Vegetation) ve NBRI indekslerinden yararlanmışlardır. Yangın öncesi ve yangın sonrasına ait görüntülerden fark görüntüleri elde edilerek yanmış alanlar ortaya çıkarılmıştır.

Çolak ve Sunar (2018), Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu verilerini kullanarak 2017 yılında İzmir'de meydana gelen yangını incelemişlerdir. Yanmış alanların ortaya çıkarılmasında BAI, Termal Normalleştirilmiş Yanma Oranı İndeksi (NBRT- Normalized Burn Ratio Thermal) ve Orta Kızılötesi Yanmış Alan İndeksi (MIRBI- Mid-infrared Burn Index) kullanmışlardır. Bunların yanında eğitilmiş ve eğitimsiz sınıflandırma yöntemlerini de uygulamışlardır. Elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında, Sentinel-2 MSI verilerinden elde edilen sonuçların doğruluklarının daha yüksek olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Quintano vd. (2018), 2015 yılında İspanyada meydana gelen orman yangının incelenmesinde Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI uydu verilerini kullanmışlardır. Yanmış alanların tespit edilmesinde NBRI indeksinden yararlanmışlardır. Yangın öncesi ve sonrasında ait NBRI indeksinden fark alınmıştır. Fark görüntülerinden Botella-Martínez ve Fernández-Manso (2017), çalışmasında kullandıkları eşik belirleme yöntemine göre fark

görüntülerinden yanmış alanlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda, kullanılan indeksin yanan alanların haritalandırılması ve hasar boyutunun ortaya çıkarılmasında yeterli doğrulukta olduğu tespit edilmiştir.

Sarp vd. (2018), 2017 yılı Temmuz ayında Mersin ilinin Anamur ilçesinde meydana gelen yangını çalışmalarında incelemişlerdir. Yapılan çalışmada Landsat 8 OLI-TIRS uydu görüntüleri kullanılarak yangın öncesi ve yangın sonrası durum karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırılmada NBRI, Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI-Soil Adjusted Vegetation Index), NDMI ve Yer Yüzey Sıcaklığı (LST- Land Surface Temperature) indeksleri kullanılmıştır. Yangın öncesi ve yangın sonrası NBRI, NDMI ve SAVI indekslerinin sonuçlarının kendi içerisinde farklılıkların olduğunu tespit etmişlerdir.

Chung vd. (2019), 2019 yılından Güney Kore'nin Gangwon eyaletinden meydana gelen yangın sonucunda ortaya çıkan hasarı belirlemek için Sentinel-2 MSI verileri kullanmışlardır. Çok zamanlı görüntü analizi, yaygın olarak kullanılan iki spektral indeks olan NDVI ve NBRI ile hem nesne hem de piksel tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yangından etkilenen bölgeleri doğal olarak değişen alandan ayırmak için 2018'in aynı dönemine ait ek görüntü çifti kullanılmış ve 2019'dan yalnızca bir çift görüntü kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İki indeksin karşılaştırılmasında NDVI sonuçlarının doğruluk değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

García-Llamas vd. (2019), İspanya'da 2017 yılında meydana gelen orman yangınını inceledikleri çalışmalarında Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu verilerinden yararlanmışlardır. Yanmış alanların tespit edilmesinde dNDVI ve dNBRI indekslerini kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda, Landsat-8 OLI uydu verisine göre daha iyi çözünürlüğe sahip Sentinel-2 MSI uydu verisinin doğruluğunun daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanında NBRI indeksinin, sensörden bağımsız olarak yanmış alanlarla daha güçlü korelasyon değerlerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Kesgin Atak ve Tonyaloğlu (2020), İzmir'in Gazıemir, Buca ve Karabağlar ilçelerinde 2019 yılında meydana gelen yangını inceledikleri çalışmalarında, yanmış alanların tespit edilmesinde Landsat-8 OLI ve Sentinel-2A uydu verilerini kullanmışlardır. NDVI, Atmosfere Dirençli Bitki İndeksi (ARVI- Atmospherically Resistant Vegetation Index), NBR, NBR2 ve BAI indeksleri yardımıyla yanmış alanları tespit etmeye çalışmışlardır. Bu indekslerin yanında nesne tabanlı görüntü sınıflandırma yöntemini de uygulamışlardır. Bu sınıflandırmayı çok çözünürlüklü segmentasyon ve en yakın komşu denetimli sınıflandırma yöntemi uygulanarak gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda NDVI, NBR2 ve ARVI indekslerinin yanmış alanların tespit edilmesinde yeterli doğrulukta sonuç çıktılarını üretebildiklerini ortaya koymuşlardır.

Cihan vd. (2022), 1 Temmuz 2017'de İzmir ilinin Menderes ilçesinde meydana gelen yangını inceledikleri çalışmalarında Landsat-8 OLI uydu görüntülerini kullanmışlardır. Yangın öncesinde ve yangın anına ait yer yüzey sıcaklık değerleri hesaplanmış ve farklılıklar irdelenmiştir. Yangın alanının belirlenmesinde NDVI ve NBRI indekslerinden yararlanılmıştır. Ayrıca piksel tabanlı görüntü sınıflandırma yöntemiyle de yanmış alanlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Arazi kullanım sınıflarının yangından nasıl etkilendiğini belirlemek için CORİNE arazi kullanım haritasından yararlanılmışlardır. İndekslerden hesaplanan ve piksel tabanlı sınıflandırma yöntemine göre elde edilen yanmış alan değerleri OGM değerleri ile karşılaştırılmış ve değerler arasında tutarlılık olduğunu gözlemlemişlerdir.

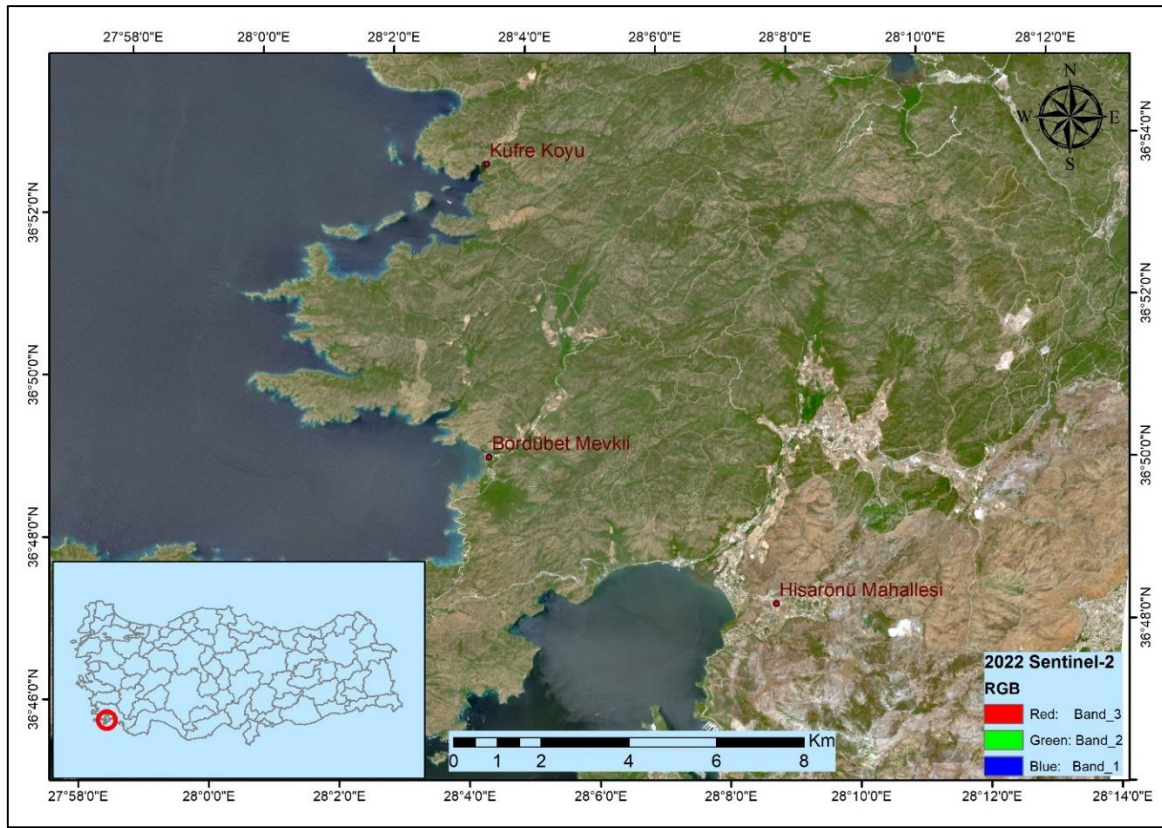
Yılmaz vd. (2022), çalışmalarında Çanakkale ilinin Gelibolu ilçesinde 2020 yılında meydana gelen orman yangınının incelemişler ve yanmış alanların tespit edilmesinde Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI uydu görüntülerinden yararlanmışlardır. Yangın alanının yangın öncesi ve yangın sonrasında ait BAI, NDVI, NBRI ve NDMI indekslerini hesaplamışlardır. Bu indeksler yardımıyla fark görüntüleri oluşturulmuş ve yanmış alanların tespitini yapmışlardır. Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI verilerinden elde edilen sonuçların doğruluk değerlendirmesini yapmış ve en doğru sonucu veren indeksin NDVI olduğunu tespit etmişlerdir.

Yapılan bu çalışmanın amacı, 21 Haziran 2022 tarihinde Muğla ili Marmaris ilçesinin Küfre koyu ve Hisarönü mahallesinde meydana gelen orman yangınında, yanmış alanların Sentinel-2 MSI ve Landsat-9 OLI uydu görüntüleriyle tespit edilmesidir. Navarro vd. (2017), Chung vd. (2019), Kesgin Atak ve Tonyaloğlu (2020), Yılmaz vd. (2022) çalışmalarında yanmış alanların tespit edilmesinde Sentinel-2 MSI uydu verilerini kullanmışlardır. Bu çalışmalarda ve yapacağımız çalışmada Sentinel-2 MSI verilerinin kullanılmasının temel nedeni yüksek zamansal çözünürlüğe (10 gün) sahip olmasıdır. Özellikle değişim belirleme çalışmalarında zamansal çözünürlük önemli faktördür. Buna ek olarak mekânsal çözünürlükte bantlara göre farklılık göstermekle birlikte Landsat verilerine göre

daha yüksektir. Çolak ve Sunar (2018), Quintano vd. (2018), García-Llamas vd. (2019), Yılmaz vd. (2022) çalışmalarında hem Sentinel-2 MSI hem de Landsat-8 OLI verileri kullanılmıştır. Her iki uydu verisinin kullanılmasıyla farklı verilerden elde edilen yanmış alan değerlerinin ve doğruluklarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kullanılan uydu verilerinden yanmış alanların tespit edilmesinde çalışmaların tamamında BAI, NDVI, NBRI, NDMI ve MIRBI gibi farklı indekslerden yararlanılmıştır. Literatürdeki çalışmalarla benzer amaç doğrultusunda tahrip olan orman alanlarının yangın öncesi ve yangın sonrasında ait Sentinel-2 MSI ve Landsat-9 OLI uydu verileri kullanılarak NBRI, NDVI, BAI ve NDMI uzaktan algılama indeksleri hesaplanmıştır. Yangın öncesi ve yangın sonrası ait indeks değerleri kullanılarak fark görüntüleri ve bu görüntülerden yanmış orman alanları hesaplanmıştır. İndekslerden elde edilen alanlar kendi içerisinde ve OGM'den elde edilen yanmış alan değeri ile karşılaştırılmıştır.

ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

Çalışma alanı olarak Muğla ilinin Marmaris ilçesi seçilmiştir. 21 Haziran 2022 tarihinde meydana gelen yangın Marmaris ilçesinin Hisarönü mahallesi, Bördübet mevki ve Küfre Koyunda etkili olmuştur (Şekil 1). Marmaris ilçesi Türkiye'nin güneybatısında yer almaktadır. Ülkenin bu kesiminde yaz aylarında orman yangınları sıklıkla görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma Alanı

Çalışmada Landsat-9 OLI ve Sentinel-2 MSI olmak üzere iki farklı uzaktan algılama verisi kullanılmıştır. Landsat-9 OLI 27 Eylül 2021'de Landsat serisinin son uydusu olarak uzaya fırlatılmıştır. Landsat-8 OLI'de bulunan sensörlerle benzerlik göstermektedir. Landsat-9 Collection 2 Level-2 verileri atmosferik düzeltmeleri ve radyometrik düzeltme işlemleri yapılmış halde kullanıma hazır şekilde sunulmaktadır. Landsat-9 OLI 11 spektral band içermektedir, termal ve pankromik band dışındakiler 30 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Termal band 100 m mekânsal çözünürlüğe, panoramik band ise 15 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir (USGS, 2023a; Tablo 1). Landsat-9 OLI verileri <https://earthexplorer.usgs.gov/> adresinden temin edilmiştir.

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen Sentinel-2 MSI uydu verisi 13 multi-spektral banda sahip olup bunların mekânsal çözünürlükleri; görünür ve kızılötesi-1 bandlar 10 m, kırmızı kenar, kısa dalga kızılötesi ve yakın kızılötesi-2 bandlar 20 m, üç farklı atmosferik düzeltme bandı da 60 m dir (Tablo 1). Sentinel-2 MSI yaygın olarak

arazi örtüsünün araştırılması, arazi kullanımının belirlenmesi, tarım alanlarının izlenmesi ve su kalitesi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Sentinel-2 uydusu, 20,6° görüş alanına sahiptir. Uydunun zamansal çözünürlüğü 10 gün olup yeryüzünden 786 km yükseklikte güneşle senkronize kutupsal bir yörüngede 290 km genişliğinde alanı tarayabilmektedir. Sentinel-2 MSI uydu verisi <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> adresinden temin edilmiştir. (USGS, 2023b; Roy vd. 2017).

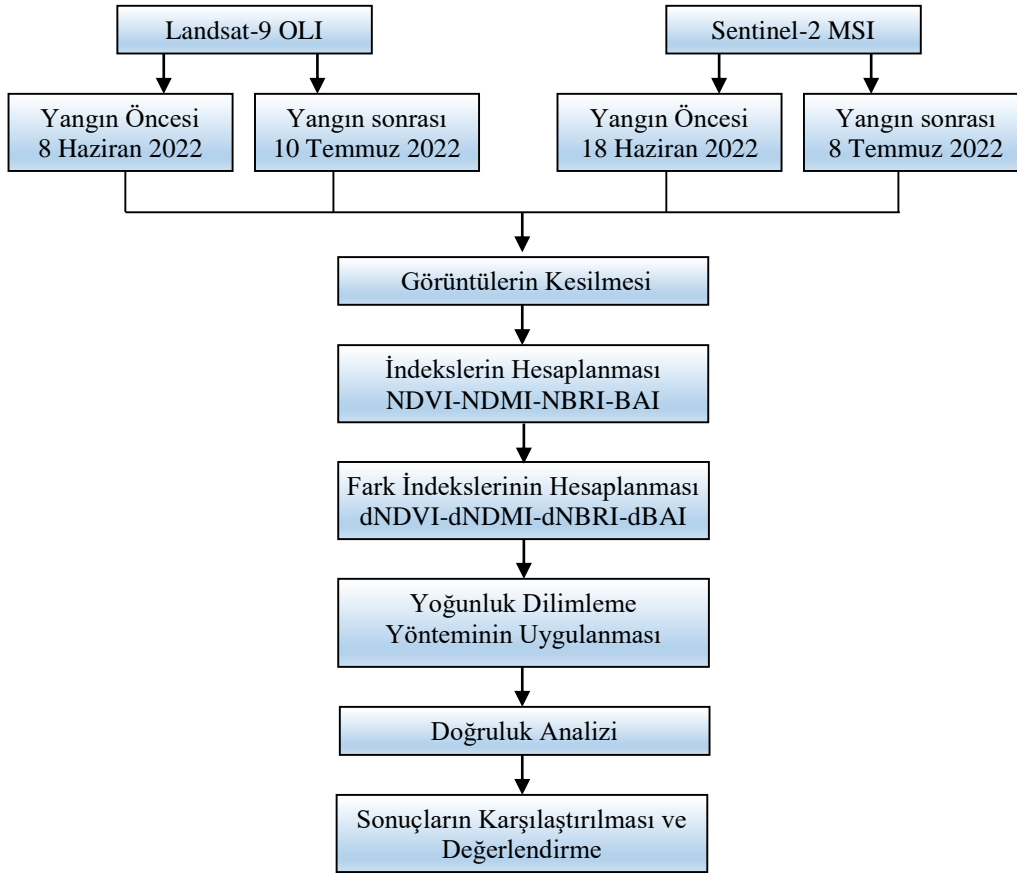
Tablo 1. Landsat-9 OLI ve Sentinel-2 MSI Uydularının Band Özellikleri (Landsat, 2023; Sentinels, 2023)

Sentinel-2 MSI			Landsat-9 OLI		
Bandlar	Mekânsal Çözünürlük	Spektral Çözünürlük (µm)	Bandlar	Mekânsal Çözünürlük	Spektral Çözünürlük (µm)
Band 1-Kıyı/Aerosol	60 m	0,443	Band 1-Kıyı/Aerosol	30 m	0,43 – 0,45
Band 2-Mavi	10 m	0,49	Band 2-Mavi	30 m	0,45 – 0,51
Band 3-Yeşil	10 m	0,56	Band 3-Yeşil	30 m	0,53 – 0,59
Band 4-Kırmızı	10 m	0,665	Band 4-Kırmızı	30 m	0,64 – 0,67
Band 5-Bitki Kırmızı Kenar	20 m	0,705	Band 5- Yakın Kızılötesi (NIR)	30 m	0,85 – 0,88
Band 6- Bitki Kırmızı Kenar	20 m	0,74	Band 6- Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-1)	30 m	1,57 – 1,65
Band 7- Bitki Kırmızı Kenar	20 m	0,783	Band 7- Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-2)	30 m	2,11 – 2,29
Band 8- Yakın Kızılötesi (NIR)	10 m	0,842	Band 8-Pankromik	15 m	0,50 – 0,68
Band 8A- Bitki Kırmızı Kenar	20 m	0,865	Band-9- Cirrus	30 m	1,36 – 1,38
Band 9- Su Buharı	60 m	0,945	Band 10-TIR-1	100 m	10,60 – 11,19
Band 10- Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-Sirrus)	60 m	1,375	Band 11-TIR-2	100 m	11,50 – 12,51
Band 11- Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-1)	20 m	1,61			
Band 12- Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-2)	20 m	2,19			

Çalışmada yangın öncesi ve yangın sonrası olmak üzere her iki uydu için farklı tarihli veri çiftleri kullanılmıştır. Yangın 21 Haziran tarihinde başlamış ve 25 Haziran tarihinde kontrol altına alınmıştır. Uydu verilerinin tarihleri seçilirken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yangın başlamadan öncesinde çalışma alanının ne durumda olduğunu ve yangın sonrasındaki durumunu ortaya koyabilmektir. Bunun yanında verilerdeki bulutluluk oranı da bir diğer önemli husustur. Bu durumlar göz önüne alınarak ve arşivdeki uydu verilerinin durumuna göre temin edilen Landsat-9 OLI verileri 8 Haziran 2022 ve 10 Temmuz 2022 tarihli, Sentinel-2 MSI uydu verileri 18 Haziran 2022 ve 8 Temmuz 2022 tarihli dir.

YÖNTEM

Çalışmamızda Landsat-9 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu veri kullanılarak Muğla ili Marmaris ilçesinin Hisarönü mahallesi, Küfre koyu ve Bördübet mevkiilerinde etkili olan orman yangının farklı uzaktan algılama indeksleri kullanılarak tespit edilmiştir. Bu amaçla yangın öncesi ve sonrasına ait uydu verileri yangın alanın kapsayacak şekilde kesilmiştir. Sonrasında yangın tespit çalışmalarında kullanılan çeşitli indeksler hesaplanarak görüntüler işlenmiştir. Bu indekslerin yangın öncesi ve yangın sonrası değerleri kullanılarak fark görüntüleri elde edilmiştir. Fark görüntüleri kullanılarak her bir indekse ait doğruluk analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, genel doğruluk ve kappa değerlerinin olduğu hata matrisleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar kendi içerisinde karşılaştırılmıştır. Bunun yanında OGM Orman Yangınlarıyla Mücadele Şube Müdürlüğü ile temasa geçilerek incelenen yangında yanan orman alanına ait yüzölçüm değeri temin edilmiştir. Bu değer farklı indekslerde elde edilen yanmış alan değerleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmanın İş Akış Şeması

Uzaktan Algılama İndeksleri

Orman yangınlarının da yanmış alanların tespit edilmesinde farklı uzaktan algılama indeksleri kullanılmaktadır. Çalışmada NDVI, NDMI, NBRI ve BAI olmak üzere 4 farklı uzaktan algılama indeksi kullanılmıştır (Liu vd. 2020).

Bitki örtüsünün belirlenmesinde en yaygın kullanılan indekslerden biri olan NDVI yanmış alanların tespit edilmesinde etkili sonuçlar vermektedir. Yakın kızılötesi ve kırmızı band kullanılarak hesaplanan NDVI (Eşitlik 1) indeksi, yeşil bitki örtüsünün görünür bölgedeki kırmızı ışığı absorbe etmesi ve yakın kızıl ötesi bölgesindeki ışığın yüksek yansıtmasından yararlanmaktadır. NDVI +1 ile -1 arasında değerler almaktadır. Canlı bitki örtüsünün olduğu bölgelerde bu değer +1'e yaklaşırken, bitki örtüsün zayıfladığı veya sağlığının düştüğü yerlerde 0'a yaklaşmaktadır. Bitki örtüsünün bulunmadığı alanlarda bu değer -1 olmaktadır (Fornacca vd. 2018). Yangın sonrasında bitki örtüsü büyük oranda zarar görmekte ve bu zarar görme neticesinde NDVI değerinde düşüş meydana gelir. Meydana gelen bu azalma neticesinde yanmış alanlar tespit edilebilmektedir.

$$NDVI = \left[\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right] \quad (1)$$

NDMI indeksi NIR ve SWIR bantları kullanılarak hesaplanır (Eşitlik 2). Tarım alanlarının veya su stresi olan alanların belirlenmesinde kullanılmaktadır. NDMI indeksi -1 ile +1 arasında değerler alır. Su miktarının yeterli olduğu veya su stresinin olmadığı yerlerde NDMI değeri +1'e yaklaşmaktadır. Bunun yanında, kuraklıkların ve yangına eğilimli alanlarda yakıt seviyelerini izlemek içinde kullanılır (Yılmaz vd. 2022; Taloor vd. 2021). Yangın sonrasında yüzeydeki nemlilik azalmakta veya yangının şiddetine göre tamamen ortadan kalkmaktadır. Yangın öncesi ve yangın sonrasında meydana gelen bu ani değişik NDMI indeksi ile tespit edilebilmekte ve yanmış alanların ortaya çıkarılmasına imkân sağlamaktadır.

$$NDMI = \left[\frac{NIR - (SWIR1)}{NIR + (SWIR1)} \right] \quad (2)$$

Yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi bandlar (SWIR) kullanılarak oluşturulan bir diğer indeks ise NBRI indeksidir. NDVI formülünden farkı, kırmızı band yerine kısa dalga kızılötesi bandın kullanılmasıdır (Eşitlik 3). SWIR bandı nem içeriğine karşı duyarlıdır, bu nedenle yangın sonrasındaki bitki örtüsü değişikliklerinin tespit edilmesinde kullanılır. NBRI indeksi -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Bunun yanında yanmış alanlar SWIR bandında göreceli daha düşük yansıma sergilemektedir. Yüksek NBRI değeri genellikle sağlıklı bitki örtüsünü tanımlarken, düşük değerler çıplak zemini ve son zamanlarda yanmış alanları gösterir (Keeley, 2009; Miller ve Thode 2007; Key ve Benson 2005).

$$NBRI = \left[\frac{NIR - (SWIR2)}{NIR + (SWIR2)} \right] \quad (3)$$

BAI indeksi, kırmızı (RED) ve yakın kızılötesi (NIR) bandlardan yararlanarak yanmış alanları tespit etmektedir (Eşitlik 4). Bu indeks, yangın sonrası görüntülerde kömür sinyalini vurgulayarak kırmızından yakın kızılötesi spektruma kadar yanmış araziye vurgular. İndeks, her pikselden yakın zamanda yanan alanların birleştiği bir referans spektral noktasına olan spektral mesafeden hesaplanır. Çevresine göre daha parlak pikseller yanmış alanları gösterir (Chuvieco vd. 2002; Isabel, 1999).

$$BAI = \left[\frac{1}{(0,1 + RED)^2 + (0,06 + NIR)^2} \right] \quad (4)$$

Yoğunluk Dilimleme Yöntemi

İndekslerin yangın öncesi ve sonrasına ait görüntülerinden fark indeksleri elde edilir. Elde edilen fark indekslerinden yararlanarak orman yangınında tahrip olmuş alanlar ve yanmamış alanlar olarak iki sınıfa ayrılmasında yoğunluk dilimleme yöntemi kullanılmıştır. Yoğunluk dilimleme yöntemi, piksel değerlerinin farklı aralıklarla dilimlendiği ve her aralık için çıktı görüntüsünde tek bir değer veya rengin atandığı işlemidir. Yoğunluk dilimleme yöntemi seviye dilimleme yöntemi olarak da bilinmekte olup özellikle tek bantlı görüntülerde iyi sonuçlar vermektedir. Özellikle belirli bir yüzey özelliğinin benzersiz ve genellikle dar bir DN değerleri kümesine sahip olduğu durumlarda yararlıdır (Khorshid, 2016).

Doğruluk Değerlendirmesi

Yanmış alanların belirlenmesine yönelik indekslerin doğruluklarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Doğruluk değerlendirilmesinde sınıflandırılmış veri ve arazi kullanım sınıflarının karşılaştırılması şeklinde yapılmaktadır. Bu karşılaştırmalarda hata matrisi kullanılması oldukça yaygın bir tekniktir. Hata matrisi referans verileri ve bu verilere karşılık gelen o sınıfa ait piksellerin ifade edildiği satır ve sütunlardan oluşan bir matristir (Rwanga ve Ndambuki, 2017). Hata matrisinde satırlar ve sütunlar biri referans verisini diğeri sınıflandırılan veriyi temsil edecek şekilde düzenlenir (Şekil 3).

		j = Sütunlar (Referans)			Satır toplamı n _{i+}
		1	2	k	
i = Satırlar (Sınıflandırma)	1	n ₁₁	n ₁₂	n _{1k}	n ₁₊
	2	n ₂₁	n ₂₂	n _{2k}	n ₂₊
	k	n _{k1}	n _{k2}	n _{kk}	n _{k+}
Sütun toplamı n _{-j}		n ₊₁	n ₊₂	n _{+k}	n

Şekil 3. Hata matrisinin gösterimi

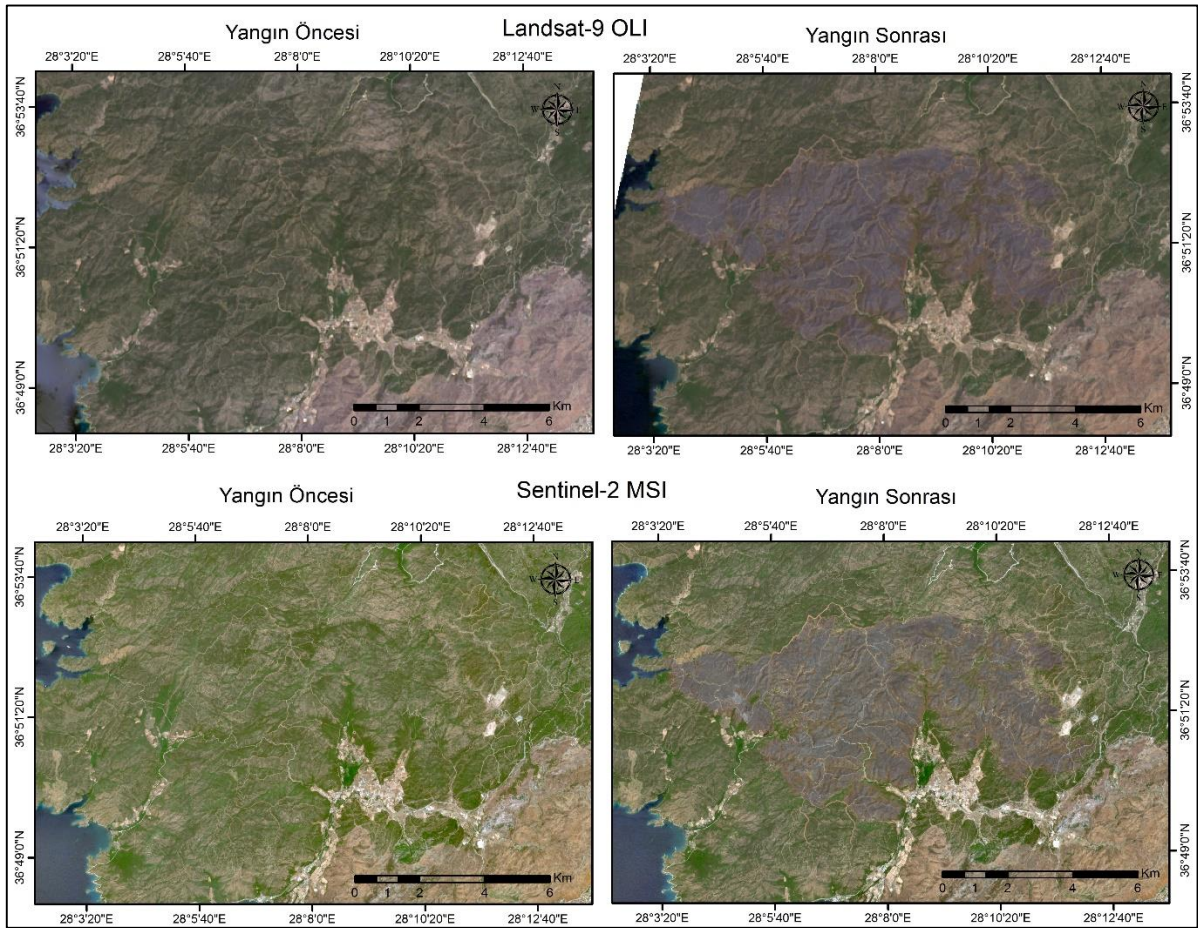
Hata matrisinde genellikle sütunlarda referans verileri, satırlarda sınıflandırılmış veriler listelenmektedir. Matrisin ana köşegeninde doğru sınıflandırılmış örnekler, ana köşegen dışındaki satırlar omisyon hatasını, ana köşegen dışındaki sütunlar ise komisyon hatasını ifade etmektedir. Her bir sınıf için üretici ve kullanıcı doğruluğu olmak üzere iki farklı doğruluk kriteri vardır. Doğru sınıflandırılmış örnek sayısının o kategorideki toplam sütun sayısına bölünmesiyle üretici doğruluğu bulunur. Doğru sınıflandırılmış örnek sayısının o kategorideki toplam satır sayısına

bölünmesiyle ise kullanıcı doğruluğu bulunur. Genel doğruluk ana köşegeninde bulunan doğru sınıflandırılmış örnek sayısının toplam örnek sayısına bölünmesiyle bulunur. Bir diğer doğruluk değerlendirme ölçütü olan Kappa doğruluk analizi, hata matrisinin genel doğruluğu ve olasılık doğruluğu arasındaki fark olarak tanımlanır (Lillesand vd. 2015).

Üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu ve genel doğruluk için genel bir sınırlama olmayıp çalışmanın amacına göre değişiklik göstermektedir. Bu doğruluklar yüzdesel değeri temsil ettiği düşünüldüğünde başarılı bir sınıflandırma için bu değerlerin %70 üzerinde olması beklenmektedir. Kappa değeri 0-1 arasında değerler almaktadır. 0,20'den küçük değerler çok zayıf uyum, 0,21-0,40 arası değerler zayıf uyum, 0,41-0,60 arası değerler orta derece uyum, 0,61-0,80 arası değerler iyi uyum, 0,81-1,00 arası değerler ise güçlü uyumun olduğunu göstermektedir (Feizizadeh vd. 2022; Öztürk, 2022). Çalışmada indekslerin doğruluklarını değerlendirmek için üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, genel doğruluk ve kappa değerleri hesaplanmıştır (Rwanga & Ndambuki, 2017).

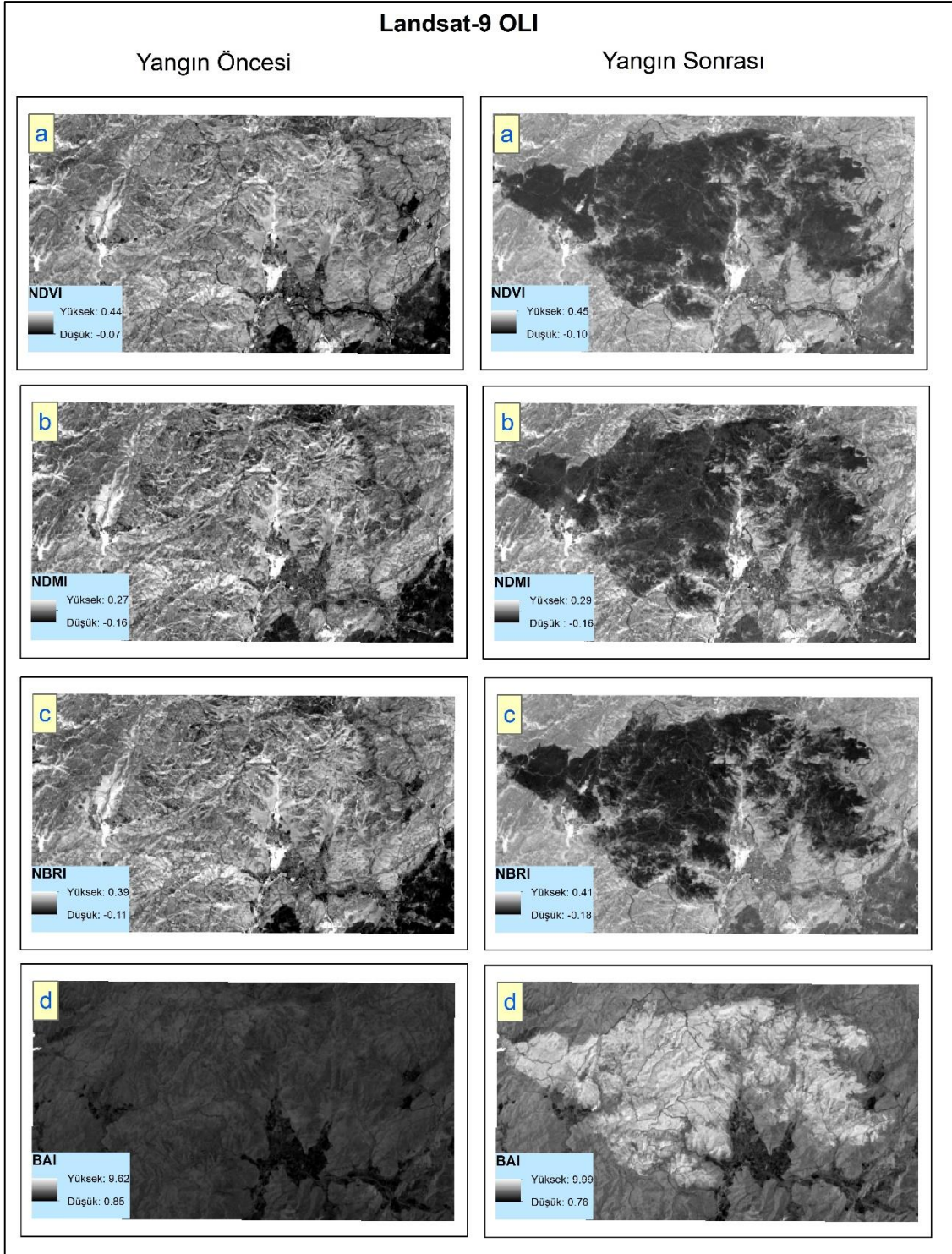
BULGULAR

Muğla ili Marmaris ilçesinin Hisarönü mahallesi, Küfre Koyu ve Bördübet mevkiilerinde etkili olan yangının tahrip ettiği orman alanının tespit edilmesi için Landsat-9 OLI ve Sentinel-2 MSI uydu verileri kullanılmıştır. Yangından etkilenen alanın doğal renk kombinasyonundaki yangın öncesi ve yangın sonrası durumu her iki uydu verisi için Şekil 4'de görülmektedir. Doğal renk kombinasyonu hem Landsat-9 OLI hem de Sentinel-2 MSI uydu verileri için Kırmızı: Band 4, Yeşil: Band 3 ve Mavi: Band 2 şeklindedir.

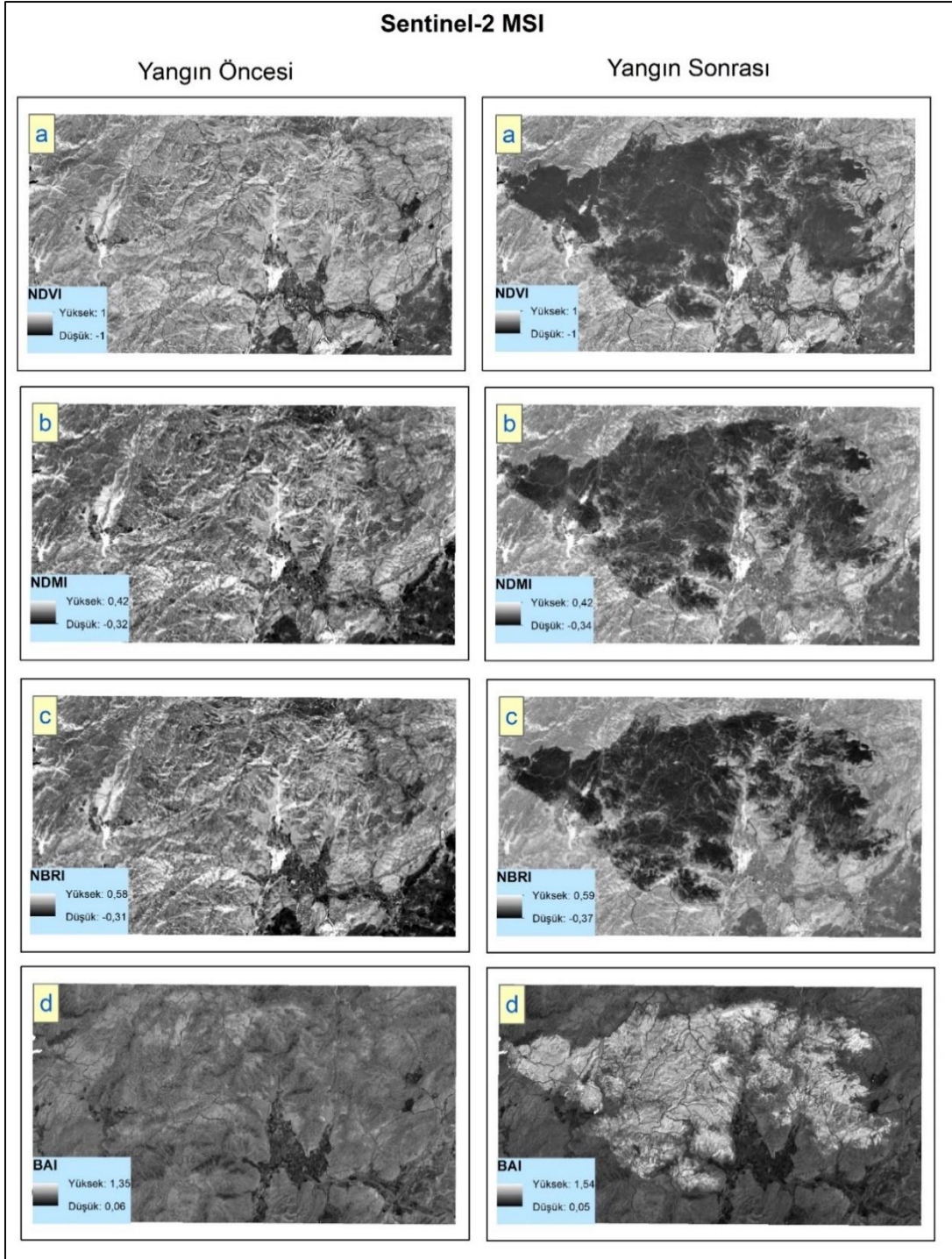


Şekil 4. Çalışma alanının Landsat-9 OLI ve Sentinel-2 MSI Yangın Öncesi ve Yangın Sonrası Görüntüleri

Yangından hasar gören alanı ortaya çıkarmak için NDVI, NDMI, NBRI ve BAI olmak üzere 4 farklı uzaktan algılama indeksi hesaplanmıştır. Bu indeksler hesaplanırken yangın öncesi ve yangın sonrası için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekil 5, Şekil 6).



Şekil 5. Yangın Öncesi ve Yangın Sonrasının Landsat-9 OLI Verisine Göre Spektral İndeksler, NDVI (a), NDMI (b), NBRI (c), BAI (d)

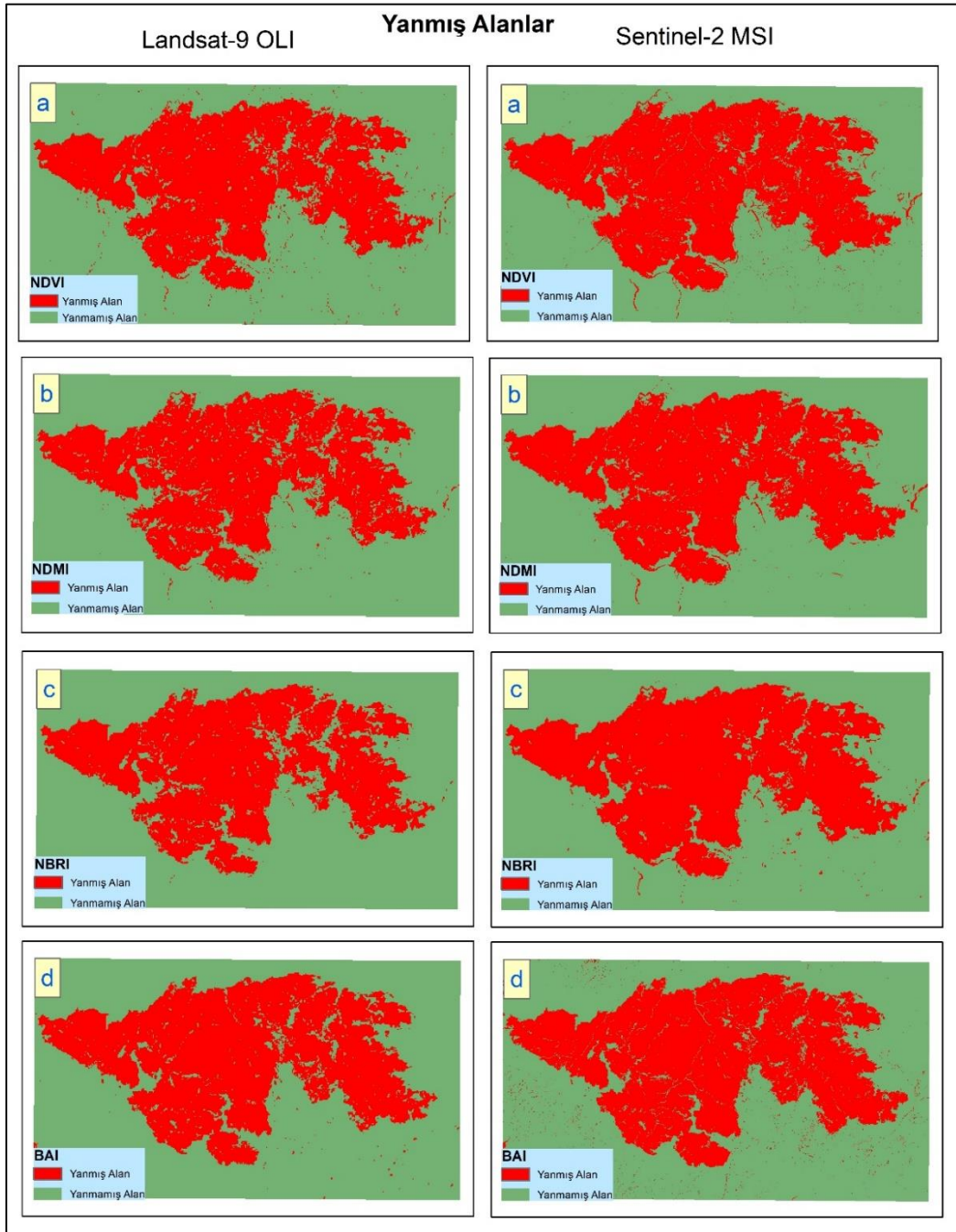


Şekil 6. Yangın Öncesi ve Yangın Sonrasının Sentinel-2 MSI Verisine Göre Spektral İndeksler, NDVI (a), NDMI (b), NBRI (c), BAI (d)

Landsat-9 OLI ve Sentinel-2 MSI görüntülerinden hesaplanan indekslerin görsel olarak yorumlanmasında; NDVI, NDMI ve NBRI indekslerinde yanmış alanların yangın öncesi durumuna göre daha koyu renkte, BAI indeksinde ise yanan alanların daha açık renkte olduğu görülmektedir. Bunun yanında BAI dışındaki indekslerde yanmış alanlar daha düşük piksel değerleri ile temsil edilirken, BAI indeksinde yanmış alanlar daha yüksek piksel değerleri ile temsil edilmektedir. Yangın öncesinde BAI indeksinde en yüksek piksel değeri 1,35 iken, yangın sonrasında 1,54 olmuştur. DN değerinin arttığı yerlerin yanmış alanlar olduğu görülmektedir. Özellikle Landsat-9 OLI verisinden elde edilen BAI indeksindeki piksel parlaklık değerleri diğer indekslere göre daha yüksek değere sahiptir. Landsat-9 OLI görüntüsüne ait NDVI indeksinde yangın öncesinde -0,07 olan en düşük değer, yangın sonrasında -0,10 olduğu görülmektedir. Yangın sonrasında bitki örtüsünün zarar görmesinden dolayı bu durum ortaya çıkmıştır. Sentinel-2 MSI görüntüsünde yangın öncesi ve yangın sonrası NDVI indeksi -1 ile +1 arasında değerler almıştır. Yangın

sonrasında piksel parlaklık değeri -1'e yakın piksellerin sayılarının arttığı gözlemlenmiştir. Yangın sırasında ortamdaki nem ve su kaybından dolayı NDMI indeksinde yanan alanlardaki değerler düşmüştür. Benzer durum NBRI indeksi içinde ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak, yangın sonrasında sağlıklı bitki örtüsündeki azalma NBRI indeksindeki değerlerin düşmesine neden olmuştur. Yanmış alanların tespitinde çalışma alanının tamamını ait görüntülerdeki minimum ve maksimum değerlerde dikkate değer düşüşler meydana gelmeyebilir. Burada yanan alanın tespitindeki önemli nokta, aynı piksellerde meydana gelen dramatik değişimlerdir. Bu değişimlerde fark görüntüleri alınarak ortaya çıkarılmaktadır.

Yanmış alanların tespit edilmesinde indekslere ait yangın öncesi ve yangın sonrası görüntülerin farkları alınarak fark indeksleri hesaplanmıştır (Şekil 7). Yoğunluk dilimleme yöntemiyle fark görüntüleri yanan ve yanmamış alan olarak sınıflandırılmıştır. Fark görüntülerinin yoğunluk dilimleme yöntemine göre iki sınıfa ayrılmasında hem görüntülerin histogram dağılımından hem de görsel yorumlamayla eşik değeri belirlenmiştir. Belirlenen bu eşik değeri kullanılarak görüntü yanan ve yanmamış alan olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 7. Landsat-9 OLI ve Sentinel-2 MSI Görüntülerine Ait Fark İndeksleri Sonucu Elde Edilen Yanmış Alanlar, NDVI (a), NDMI (b), NBRI (c), BAI (d)

Farklı indekslere göre elde edilen yanmış alanların doğruluk değerlendirmesi için hata matrisleri kullanılmıştır. Yapılan doğruluk değerlendirmesinde 100 adet test noktası seçilmiştir. Test noktaları seçilirken çalışma alanı üzerinde homojen dağılmasına dikkat edilmiştir. Yer gerçekliği olarak yangın tarihine yakın Sentinel-2 uydu verisine ait farklı bir görüntü kullanılmıştır. Her iki algılayıcıdan elde edilen fark görüntülerinden test noktaları kullanılarak hata matrisleri hesaplanmıştır. Hata matrislerinde her bir fark indeksi için Üretici Doğruluğu, Kullanıcı Doğruluğu, Genel Doğruluk ve Kappa Değeri hesaplanmıştır (Tablo 3). Elde edilen sonuçlara göre Landsat-9 OLI verisi için en yüksek genel doğruluk 0,97 ve en yüksek Kappa değeri 0,94 ile NBRI indeksine aittir. Sentinel-2 MSI verisi için en yüksek genel doğruluk 0,99 ve en yüksek Kappa değeri 0,98 ile NBRI indeksine aittir. Landsat-9 OLI için 0,95 ile en düşük genel doğruluk ve 0,90 değeri ile en düşük Kappa değeri NDVI ve NDMI indekslerine aittir. Sentinel-2 MSI için 0,97 ile en düşük genel doğruluk ve 0,94 ile en düşük Kappa değeri NDMI indeksine aittir. Yanmış alanlar için en yüksek kullanıcı doğruluğu Landsat-9 OLI uydu verisinde 0,95 değeri ile NBRI indeksine aittir. Yanmış alanlar için üretici doğruluğu ise 1,00 değeri ile NDVI ve NDMI indekslerine aittir. Sentinel-2 MSI verisinde yanmış alanlar için en yüksek kullanıcı doğruluğu 0,98 değeri ile NBRI ve BAI indekslerine, en yüksek üretici doğruluğu ise 1,00 değeri ile NDVI, NDMI ve NBRI indekslerine aittir.

Genel doğruluklar ve Kappa değerleri göz önüne alındığında Sentinel-2 MSI verilerinin daha yüksek değerlere sahip oldukları görülmektedir. Bunun temel nedeninin, Sentinel-2 MSI verisinin mekânsal çözünürlüğü görünür bölge bandları için 10 m iken Landsat-9 OLI verisinde mekânsal çözünürlüğün 30 m olmasıdır. Kızılötesi bölge bandları içinde bu mekânsal çözünürlük farklılığı hesaplanan indekslerdeki doğruluk oranları üzerinde etkilidir. Hesaplanan indeksler arasında en yüksek genel doğruluk değerinin her iki uydu verisi içinde NBRI indeksi olduğu görülmektedir. NBRI indeksinde kısa dalga kızılötesi band (SWIR) kullanılmaktadır. Bu band nem içeriğine karşı duyarlıdır, bu nedenle yangın sonrasındaki bitki örtüsü değişikliklerinin tespit edilmesinde etkili sonuçlar vermektedir.

Tablo 3. Landsat-9 OLI, Sentinel-2 MSI Verilerinden Farklı İndekslere Göre Elde Edilen Fark Görüntülerinin Doğruluk Değerlendirmesi

Landsat-9 OLI		NDVI	NDMI	NBRI	BAI
Kullanıcı Doğruluğu	Yanmış	0,90	0,90	0,95	0,94
	Yanmamış	1,00	1,00	0,98	0,98
Üretici Doğruluğu	Yanmış	1,00	1,00	0,97	0,98
	Yanmamış	0,90	0,90	0,96	0,94
Genel Doğruluk		0,95	0,95	0,97	0,96
Kappa Değer		0,90	0,90	0,94	0,92
Sentinel-2 MSI		NDVI	NDMI	NBRI	BAI
Kullanıcı Doğruluğu	Yanmış	0,96	0,94	0,98	0,98
	Yanmamış	1,00	1,00	1,00	0,98
Üretici Doğruluğu	Yanmış	1,00	1,00	1,00	0,98
	Yanmamış	0,96	0,94	0,98	0,98
Genel Doğruluk		0,98	0,97	0,99	0,98
Kappa Değeri		0,96	0,94	0,98	0,96

Fark indekslerinden elde edilen yanmış alanlar, OGM (Orman Genel Müdürlüğü) Orman Yangılarıyla Mücadele Şube Müdürlüğü'nden temin edilen yanmış alan değeri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 2). OGM'den temin edilen yanmış alan değerine en yakın sonuçları Landsat-9 OLI görüntüsünde NDMI indeksinin elde ettiği görülmektedir. Bu değeri sırasıyla NDVI, NBRI ve BAI indeksleri takip etmektedir. Sentinel-2 MSI verisinde ise referans verisine en yakın sonucu NDVI indeksi elde etmiştir. NDVI değerine oldukça yakın çıkan NBRI değeri referans verisine en yakın ikinci değerdir. Bu iki indeksi NDMI ve BAI indeksleri izlemektedir. Her iki uydu verisinde elde edilen sonuçların OGM değerlerinden düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Landsat-9 OLI, Sentinel-2 MSI Verilerinden Farklı İndekslere Göre Elde Edilen ve OGM Temin Edilen Yanmış Alan Değerleri

	OGM	NDVI	NDMI	NBRI	BAI
Landsat-9 OLI (Hektar)	4392,5	4219,82	4271,21	4191,93	4077,14
Sentinel-2 MSI (Hektar)	4392,5	4284,25	4253,67	4281,86	4107,95

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 21 Haziran 2022 tarihinde Muğla ili Marmaris ilçesinin Küfre Koyu ve Hisarönü mahallesinde meydana gelen orman yangını Sentinel-2 MSI ve Landsat-9 OLI uydu görüntüleriyle incelenmiştir. Bu amaçla yanan orman alanlarının tespiti için literatürde yaygın olarak NDVI, NDMI, NBRI ve BAI uzaktan algılama indeksleri kullanılmıştır. İki farklı uydudan elde edilen görüntülerin yangın öncesi ve yangın sonrasında ait NDVI, NDMI, NBRI ve BAI indeksleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu görüntüler birbirinden çıkarılarak fark görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen fark görüntüleri yoğunluk dilimleme yöntemiyle iki sınıfa ayrılarak yanmış alanlar tespit edilmiştir. Dört farklı indekse göre tespit edilen yanmış alanlar OGM'den temin edilen değerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda OGM değerlerine en yakın sonuçların; Landsat-9 OLI görüntüsünde 4271,21 hektar ile NDMI, Sentinel-2 MSI görüntüsünde 4284,25 hektar ile NDVI indekslerinin olduğu tespit edilmiştir. Yoğunluk dilimleme yöntemine göre iki sınıfa ayrılmış görüntülerin doğruluk analizi yapılmıştır. Genel doğruluk ve Kappa değerlerine göre Sentinel-2 MSI görüntüsü, Landsat-9 OLI görüntüsüne göre daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Landsat-9 OLI görüntüsünde NBRI indeksi 0,97 genel doğruluk ve 0,94 Kappa değeri ile en yüksek sonuçları ortaya koyarken, Sentinel-2 MSI görüntüsünde 0,99 genel doğruluk ve 0,98 Kappa değeri ile NBRI indeksi en yüksek değerleri elde etmiştir.

Bu alanda yapılmış çalışmalar incelendiğinde; Sabuncu ve Özener (2019) NDVI ve NBR indekslerinden, Kesgin Atak ve Tonyaloğlu (2020) NDVI, ARVI, NBR, NBR2 ve BAI indekslerinden, Cihan vd. (2022) NDVI ve NBRI indekslerinden, Yılmaz vd. (2022) BAI, NDVI, NBRI ve NDMI indekslerinden yararlanmışlardır. Yapılan bu çalışmalar göz önüne alındığında yaptığımız çalışmada kullandığımız NDVI, NDMI, NBRI ve BAI indekslerinin yanmış alanların tespit edilmesinde kullanılabilir olduğu göstermektedir. Kullanılan indekslere göre hesaplanan alanlar Sabuncu ve Özener (2019), Cihan vd. (2022) çalışmalarında olduğu gibi OGM tarafından açıklanan yanmış alan verileriyle karşılaştırılmıştır. Bunun yanında sınıflandırma işlemlerine ait doğruluk değerlendirmeleri de yapılmıştır. Her indeks aynı düzeyde doğruluk değerlerine sahip olmadığı ancak alansal sonuçlar göz önüne alındığında, özellikle Sentinel-2 MSI, elde ettiğimiz sonuçlarda 4284,25 hektar ile NDVI ve 4281,86 hektar ile NBRI indekslerinin OGM hasar tespit sonucu belirlediği 4392,5 hektarlık alan değerine yakın oldukları görülmektedir. OGM'nin elde ettiği yanmış alanlara ait alansal değerlerin hangi yöntemlere göre hesaplandığı konusunda bilgi alınamamıştır.

Çalışmada kullandığımız indekslerden elde edilen alansal değerlerdeki farklılığın iki nedenle ortaya çıktığı düşünülmektedir. İlk neden indekslerin hesaplanmasında kullanılan formülasyon ve farklı band kombinasyonlarıdır. Yanma sonucunda bitkilerde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmektedir. Çalışmada kullanılan indeksler göz önüne alındığında, bitki örtüsündeki fiziksel ve kimyasal değişimlere duyarlı bandlar ve bu değişimleri doğru tespit edebilen indekslerin sonuçlarının daha tutarlı olduğu görülmektedir. İndekslere göre alansal farklılıkların bir diğer nedeni ise yoğunluk dilimleme yöntemindeki kullanılan eşik değeridir. Eşik değerinin büyük veya küçük seçilmesi alansal değerlerde değişmeye neden olmaktadır. İleride yapılması planlanan çalışmalarda Jenks doğal kırıklar algoritması ve Otsu eşik belirleme yöntemleri gibi farklı metotlar denenerek yanmış alanların hesaplanması yapılabilir.

Ormanlar dünyanın en büyük doğal zenginlik kaynağıdır. Doğal nedenlerle veya insan kaynaklı meydana gelen orman yangınları doğal ve ekolojik çevreye büyük zararlar vermektedir. Uzaktan algılama teknolojileri yangın alanlarının takibi, yangın yönetimi ve yangın sonrası meydana gelen hasarların tespit edilmesinde etkili bir araçtır. Bu amaçla yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden ve farklı uzaktan algılama indekslerinden daha fazla yararlanılmalıdır. Bunun yanında ormanların korunması, yanan orman alanlarının ağaçlandırılması ve yangınlar konusunda insanların bilinçlendirilmesine de önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

- Botella-Martínez, M. A., & Fernández-Manso, A. (2017). Study of post-fire severity in the Valencia region comparing the NBR, RdNBR and RBR indexes derived from Landsat 8 images. *Revista de Teledetección*, (49), 33-47. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7095>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.04.005>
- Chuvieco, E., Martín, M. P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110. <https://doi.org/10.1080/01431160210153129>
- 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. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W8-97-2019>
- Cihan, A., Cerit, K., & Erener, A., (2022). Yangın Alanında Uydu Görüntüleri ile Yer Yüzey Sıcaklık Değişimi Gözlemi ve Mekânsal Alan Tespiti. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1), 142-155. <https://doi.org/10.21324/dacd.942724>
- 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. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-165-2018>
- Ertuğrul M., (2005). Orman Yangınlarının Dünyadaki ve Türkiye'deki Durumu. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(7), 43-45.
- Feizizadeh, B., Darabi, S., Blaschke, T., & Lakes, T. (2022). QADI as a new method and alternative to kappa for accuracy assessment of remote sensing-based image classification. *Sensors*, 22(12), 4506. <https://doi.org/10.3390/s22124506>
- 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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.04.006>
- Gonçalves, A. C., & Sousa, A. M. (2017). The fire in the Mediterranean region: a case study of forest fires in Portugal. *Mediterranean Identities-Environment, Society, Culture; Fuerst-Bielis, B., Ed*, 305-335. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69410>
- Isabel, M. P. M. (1999). Cartografía e inventario de incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR (Doctoral dissertation, Universidad de Alcalá).
- 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. <https://doi.org/10.31195/ejefjs.657253>
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2005). Landscape assessment: remote sensing of severity, the normalized burn ratio and ground measure of severity, the composite burn index. *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system Ogden, Utah: USDA Forest Service, Rocky Mountain Res. Station*.
- 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. <https://doi.org/10.1071/WF07049>
- Khorshid, K. (2016). Impervious Surface Estimation and Mapping via Remotely Sensed Techniques, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University Graduate School Of Science Engineering And Technology, Department of Geomatics Engineering Geomatics Engineering Programme, İstanbul.

- Landsat. (2023). Landsat Satellites. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/> Erişim tarihi: 24.07.2023
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons.
- 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. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.02.003>
- O. G. M. (2023), T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü 2022 Yılı Faaliyet Raporu, <https://www.ogm.gov.tr/faaliyet-raporu>. Erişim tarihi: 24.07.2023
- ÖZTÜRK, D. (2022). Sentinel-2A MSI ve Landsat-9 OLI-2 Görüntüleri Kullanılarak Farklı Geçirimsiz Yüzey İndekslerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi: Samsun Örneği. *Ege Coğrafya Dergisi*, 31(2), 401-423. <https://doi.org/10.51800/ecd.1175827>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.09.014>
- Roy, D. P., Li, J., Zhang, H. K., Yan, L., Huang, H., & Li, Z. (2017). Examination of Sentinel-2A multi-spectral instrument (MSI) reflectance anisotropy and the suitability of a general method to normalize MSI reflectance to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 199, 25-38. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.019>
- 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. <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033>
- Sabuncu A., Özener H., (2019), Uzaktan algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 317-326. <https://doi.org/10.21324/dacd.511688>
- Sarp, G., Temuçin, K., Aldırmaz, Y., & Baydoğan, E. (2018). Spatial analysis of forest fires using remote sensing technologies; a case of 2017 Mersin-Anamur forest fire. In 2018, Innovation and Global Issues Congress IV, pp 300-308.
- Sentinels. (2023). Sentinel-2 MSI User Guide. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi> Erişim tarihi: 24.07.2023
- Taloor, A. K., Manhas, D. S., & Kothiyari, G. C. (2021). Retrieval of land surface temperature, normalized difference moisture index, normalized difference water index of the Ravi basin using Landsat data. *Applied Computing and Geosciences*, 9, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2020.100051>
- U.S. Geological Survey (2023a). Landsat 9 Data Users Handbook: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-9-data-users-handbook>. Erişim tarihi: 24.07.2023
- U.S. Geological Survey (2023b). Landsat Collection 2 Level-2 Science Products: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products>. Erişim tarihi: 24.07.2023
- U.N.E.P (2023). United Nations Environment Programme, Climate & Wildfire Information - A Report By UNEP, <https://www.unep.org/resources/report/spreading-wildfire-rising-threat-extraordinary-landscape>. Erişim tarihi: 24.07.2023
- Yılmaz, B., Demirel, M., & Balçık, F. (2022). Yanmış alanların sentinel-2 msi ve landsat-8 olı ile tespiti ve analizi: Çanakkale/Gelibolu orman yangını. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8 (1). <https://doi.org/76-8.10.21324/dacd.941456>