



Sentinel-2 ve Landsat-8 ile bulut tabanlı orman yangın analizi

Şule Yaman ^{*1}, Esra Tunç Görmüş ²

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, suleyaman98@hotmail.com

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, etunc@ktu.edu.tr

Kaynak Göster: Yaman, Ş., & Tunç Görmüş, E. (2025). Sentinel-2 ve Landsat-8 ile bulut tabanlı orman yangın analizi. Geomatik, 10 (3), 316-330.

DOI:10.29128/geomatik.1603707

Anahtar Kelimeler

Bulut Tabanı
Orman Yangını
Yangın Analizi
Uzaktan Algılama

Araştırma Makalesi

Geliş:18.12.2024
Revize:01.03.2025
Kabul:03.03.2025
Yayınlanma:01.12.2025



Öz

Orman yangınları, doğal ve insan kaynaklı faktörlerden kaynaklanan önemli bir doğal afetdir. Kuraklık ve iklim değişikliği gibi ekolojik sorunlar, orman yangınlarının daha sık ve şiddetli yaşanmasına neden olmanın yanı sıra, müdahale sürecinde ve yangın sonrası hasar tespiti ile analiz çalışmalarında hem maddi hem de manevi kayıplara yol açmaktadır. Günümüzde, orman yangınlarının ve yangın sonrası hasarların belirlenmesinde Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 29 Temmuz 2021 tarihinde Muğla ili Köyceğiz ilçesinde başlayan ve 14 gün süren orman yangını ele alınmıştır. Yangının analizi, Google Earth Engine (GEE) platformunda uzaktan algılama teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yangın öncesine ait 29 Temmuz 2021 ve yangın sonrasında ait 27 Ağustos 2021 tarihli Sentinel-2A ve Landsat-8 uydu görüntüleri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, bölgeye ait eğim, bakı ve NDVI parametreleri kullanılarak bir yangın risk modeli haritası oluşturulmuş ve yanan alanların bu riskli bölgelerle örtüştüğü tespit edilmiştir. Yangının etkilerini belirlemek amacıyla Normalize Edilmiş Vegetasyon İndeksi (NDVI), Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti İndeksi (NBR), bu indekslerin farkları olan dNDVI ve dNBR, ayrıca Yanık İzi İndeksi (BSI) ve Yanmış Alan İndeksi (BAI) hesaplanarak yangın sonrası tahrip olan alanlar analiz edilmiştir. Son aşamada, dNBR görüntülerine USGS FIREMON (Yangın Etkilerini İzleme ve Envanter Protokolü) tarafından belirlenmiş eşik değerler uygulanarak çalışma alanına ait yanma şiddeti haritası oluşturulmuştur.

Cloud-Based Forest Fire Analysis with Sentinel-2 and Landsat-8

Keywords

Cloud Base
Fores Fire
Fire Analysis
Remote Sensing

Research Article

Received: 18.12.2024
Revised: 01.03.2025
Accepted: 03.03.2025
Published: 01.12.2025

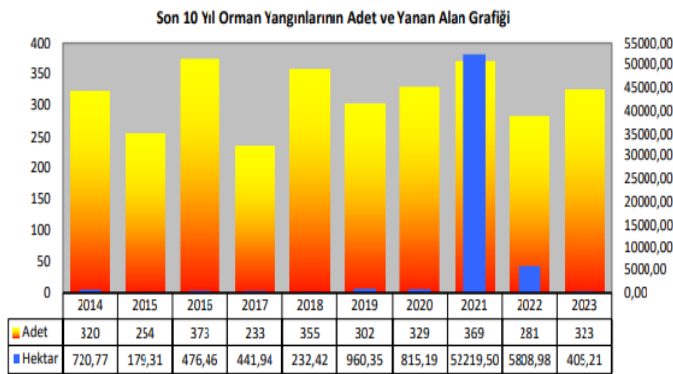
Abstract

Forest fires are a significant natural disaster caused by both natural and human-induced factors. Ecological issues such as drought and climate change not only increase the frequency and severity of forest fires but also lead to material and moral losses during fire intervention and post-fire damage assessment and analysis. Today, Remote Sensing (RS) techniques and Geographic Information Systems (GIS) are widely used to detect forest fires and assess post-fire damages. In this study, the forest fire that began on July 29, 2021, in the Köyceğiz district of Muğla province and lasted for 14 days was analyzed. The analysis was conducted using remote sensing techniques on the Google Earth Engine (GEE) platform. Sentinel-2A and Landsat-8 satellite images from July 29, 2021 (before the fire), and August 27, 2021 (after the fire) were evaluated. A fire risk model map was created using the region's slope, aspect, and NDVI parameters, revealing that the burned areas overlapped with the identified high-risk zones. To assess the fire's impact, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Normalized Burn Ratio (NBR), their respective differences (dNDVI and dNBR), as well as the Burn Scar Index (BSI) and Burned Area Index (BAI) were calculated. The burned areas were then analyzed. In the final stage, threshold values defined by the USGS FIREMON (Fire Effects Monitoring and Inventory Protocol) were applied to the dNBR images, generating a burn severity map for the study area.

1. Giriş

Ormanlar, sadece ekosistem ve iklim üzerinde değil, aynı zamanda sanayi, ekonomi, sağlık ve turizm gibi çeşitli alanlarda ülke ekonomisine katkı sağlayan en önemli yenilenebilir doğal kaynaklardan biridir (Yılmaz ve ark., 2021). İklim değişikliği ve insan kaynaklı faktörler çevre üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Bu faktörler arasında sıcak hava dalgaları, kuraklıklar, toz fırtınaları, seller, kasırgalar ve kontrol edilemeyen yangınlar yer almaktadır (Barmpoutis ve ark., 2021). Yangınlar sonucunda tahrip olan ormanlar, biyolojik çeşitlilikte azalmaya ve karbon depolama kapasitesinde ciddi kayıplara yol açmaktadır. Bu durum, gezegenimiz üzerinde uzun vadeli ve olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Eyi ve Buğdaycı, 2024). Küresel ısınma iklim değişikliklerini meydana getirmektedir. İklim değişiklikleri de orman yangınlarının sayısını artırmaktadır (Yücer, 2023). Bu nedenle orman yapısına ilişkin bilgiler, ekosistemlerin sağlığının korunması, karbon döngüsünün izlenmesi ve orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için kritik bir role sahiptir (Zadbagher ve ark., 2023).

Dünya genelinde orman yangınları, birçok orman sisteminde var olmakla beraber Akdeniz tipi ekosistemleri de etkileyen temel etkenlerden biridir. Türkiye, riskli orman sahalarının çoğunun Akdeniz zonunda bulunmasından dolayı her yıl yüzlerce orman yangınıyla karşı karşıya kalmaktadır (Altunel ve ark., 2020). Bazı yangınlar; hastalık, böcek, rüzgâr ve don gibi felaketlerden daha fazla hasara neden olmaktadır (Gonçalves ve Sousa, 2017; Çolak ve Sunar, 2018). Her yıl doğal veya insan kaynaklı yangınlar sonucunda milyonlarca hektar ormanlık alan yok olmaktadır. Özellikle büyük ve uzun süreli yangınlar, bitki örtüsünün zarar görmesiyle birlikte habitatın tahrip olmasına, bu alanlarda yaşayan canlıların ve yaşam alanlarının yok olmasına yol açarken, ekonomik kayıplara da sebep olmaktadır.



Şekil 1. Türkiye’de yıllık orman yangını sayıları ve yanan alan miktarı (Orman Genel Müdürlüğü, 2023)

Türkiye’de son 10 yılda 3.139 orman yangını çıkmış ve toplamda 62.260,1 ha ormanlık alan yanmıştır (OGM, 2023). Yangın anı ve sonrasında, küresel ölçekte atmosfer ve iklim üzerinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Bu nedenle, ekolojik ve ekonomik dengeyi olumsuz etkileyen yangınların yakından takip edilmesi ve en etkili şekilde müdahale edilmesi gerekmektedir (Erten ve ark., 2005). Bununla beraber, yangın

sonrasında oluşan zararın alan ve orman türü açısından hızlı bir şekilde tespit edilmesi de önem arz etmektedir. Ancak yangın sonrası araziden veri toplamak, güvenlik riski, yanan lokasyonlara erişim zorluğu, yanan bölgedeki sıcaklık artışı, zamansal ve maddi sıkıntılar gibi birçok zorluğu beraberinde getirmektedir. Bu kısıtlamalar nedeniyle, son yıllarda orman yangınları ve orman yangınlarının ardından yapılan çalışmalarda uzaktan algılama teknolojilerine başvurulmaktadır. Uzaktan algılama, ekonomik ve hızlı veri sağlama avantajıyla sürdürülebilir çevre yönetiminden iklim değişikliğine, arazi örtüsü ve kullanımı değişikliklerinden jeolojik uygulamalara kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Khatami ve ark., 2016; Yılmaz ve ark., 2021). Uzaktan algılama, yangın izleme ve haritalama için de yerel, bölgesel ve küresel ölçeklerde en pratik ve etkili araçtır (Çolak ve Sunar, 2018). Uzaktan algılama platformlarından alınan uydu görüntüleri gibi veriler, orman yangınlarından etkilenen alanların ve tahrip olan farklı orman türlerinin yüksek doğrulukla ve hızlı bir şekilde belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca uzaktan algılama verileri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegrasyonu, yangınların önceden tahmin edilmesi, modellenmesi, yangın sürecinin izlenmesi ve söndürme faaliyetlerinin koordine edilmesi gibi çalışmalarda elde edilen verilerin sistematik bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (Fox ve Stuart 1994).

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), coğrafi verilerin toplanması ve işlenmesi açısından büyük öneme sahip olmakla beraber bu sistem, verileri coğrafi analizlerle anlamlı bilgilere dönüştürmeyi ve coğrafi verileri görselleştirerek faaliyetlerin planlanmasına yardımcı olmaktadır (Başara ve ark., 2022).

Bu alanda kullanılan birçok ticari ve açık kaynak kodlu CBS (ArcMap, Quantum GIS, GRASS, GeoMedia, MapInfo vb.) ve uzaktan algılama (ENVI, ERDAS, SNAP, eCognition) yazılımları bulunmaktadır. Uydu verilerinin analizinde, uzun zaman serisi verileriyle çalışmak hem zahmetli hem de zaman açısından oldukça maliyetlidir. Ayrıca, veri işleme için gereken yazılım ve depolama kaynaklarının temini, ek yükler ve masraflar doğurmaktadır (Güngör ve ark., 2022). Bu nedenle son zamanlarda, özellikle büyük verileri işleme ve bulut tabanlı çalışma imkanı sunan Google Earth Engine (GEE) platformu, uzaktan algılama çalışmalarında dikkat çekmektedir (Yılmaz ve ark., 2021).

GEE, web tabanlı bir uzaktan algılama arayüzü olup gereksiz veri depolamasını engelleyerek veri işleme hızını bilgisayardan bağımsız olarak koruyan, böylece hızlı analiz ve karar verme imkanı sunan, geniş bir bölge üzerinde coğrafi uzamsal işleme ve kapsamlı kaynaklara ve hesaplama yeteneklerine olanak tanıyan bulut platformudur. (Yaman ve Tunç Görmüş, 2022; Ahady ve Kaplan, 2022). Sentinel, Landsat, MODIS gibi farklı uydu sistemlerine ait geniş tarih aralıklarına sahip birçok uydu verisine erişim sağlamaktadır (You ve ark., 2020; Yaman ve Tunç Görmüş, 2022). Uzaktan algılama veri toplama, zaman ve maliyet analizi açısından masraflı olduğu için Sentinel ve Landsat uydu görüntülerinin ücretsiz olarak kullanılabilir olması, bu zorluğu da ortadan kaldırdığı için oldukça önemlidir (Altun ve Türker, 2022). Sahip olduğu zengin veri setiyle ormansızlaşma, kuraklık,

felaket, hastalık, gıda güvenliği, su yönetimi, iklim izleme ve çevresel koruma gibi alanlarda geniş kitleler tarafından kullanılmaktadır. GEE'nin 40 yılı aşkın veri arşivi, özellikle zamansal analizler ve değişim izleme çalışmalarında da önemli bir avantaj sağlamaktadır (Ayalke ve Şişman, 2024).

Uydu görüntüleri kullanılarak yangın alanlarının ve hasarlarının haritalanması, Landsat uydu serisi faaliyetleriyle başlamış ve teknolojideki ilerlemeler sayesinde sensör çözünürlüğü artmış, yeni yöntemler ve indeksler geliştirilmiştir. Bu sayede günümüzde yangın alanlarının etkin bir şekilde haritalanması mümkün hale gelmiştir (Gürbüz, 2023).

Spektral indeksler, uydu görüntülerinde belirli bir arazi örtüsünü veya özelliğini vurgulamak için kullanılan matematiksel işlemlerdir. Birçok alanda kullanıldığı gibi yangın öncesi ve sonrası uydu görüntülerinde de yanmış alanların tespiti için kullanılmaktadır. Yaygın olarak, Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) (Sunar ve Özkan, 2001; Chuvieco ve ark., 2004; Vlassova ve ark., 2014; Kovács 2019), Normalize Yanma Oranı (NBR) (Veraverbeke ve ark., 2010; Tonbul ve ark., 2016; Nasery ve Kalkan 2020; Nolè ve ark., 2022), Yanmış Alan İndeksi (BAI) (Smith ve ark., 2007; Liu ve ark., 2016; Yılmaz ve ark., 2022), Yanık İzi İndeksi (BSI) (Çömert ve ark., 2017; Özdemir ve Demir, 2022) bitki indeksleri kullanılmaktadır.

Son yıllarda orman yangınlarının tespiti ve etkilerinin analizinde uzaktan algılama (UA) yöntemleri yoğun şekilde kullanılmaktadır. Çeşitli çalışmalar, uydu verileri ve indeksler kullanarak yanmış alanları belirlemeyi amaçlamıştır. Örneğin, Navarro vd. (2017) Sentinel-2A uydu verileriyle Madeira adasında gerçekleşen yangını incelemiş ve yangın öncesi ve sonrası görüntülerin karşılaştırılmasıyla etkilenen alanları tespit etmiştir. Çolak ve Sunar (2018), İzmir'deki yangını Landsat-8 OLI ve Sentinel-2 MSI verileriyle analiz etmiş, BAI ve NBRT gibi indekslerle yanan alanları belirlemiştir. Garcia-Llamas ve ark. (2019), İspanya'daki yangında Sentinel-2 MSI'nin Landsat-8 OLI'ye göre daha yüksek doğruluk sağladığını belirlemiştir. Ayrıca, Mohajane vd. (2021) makine öğrenmesi algoritmalarıyla Fas'taki yangının tespitini yapmış ve en yüksek performansı FR-RF algoritmasıyla elde etmiştir. Yılmaz ve ark. (2021) Hatay'da, Gürbüz (2022) ise Muğla'da, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak yangın şiddetini ve etkilerini analiz etmişlerdir. Mahmood ve Jumaah (2023), Irak'taki yangının etkilerini Sentinel-2 görüntüleri ve NBR indeksiyle inceleyerek hava kalitesiyle ilişkilendirmiştir. Bu çalışmalar, uzaktan algılama tekniklerinin orman yangınlarının tespiti ve etkilerinin belirlenmesindeki etkinliğini göstermektedir.

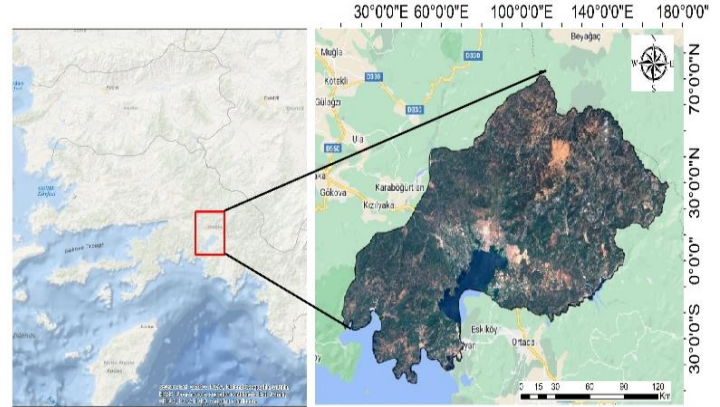
Yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda orman yangını, yangın sonrası hasar tespiti için kullanılan birçok yöntem ve bitki indeksi olduğu görülmüştür. Ayrıca, yangın yönetim sisteminin başlangıç aşaması, yangın riski haritalarının oluşturulmasıdır. Bu sebeple, orman yangını riski ve tehlikesine dair haritaların hazırlanması, yangın felaketlerinin ve yangın sonucu oluşacak hasarların önlenmesi açısından önemli bir temel teşkil etmektedir (Aghayeva, 2024).

Bu bağlamda bu çalışmanın amacı, 29 Temmuz 2021 tarihinde Muğla ili Köyceğiz ilçesinde meydana gelen ve 14 gün devam eden yangın için uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanılarak GEE platformunda yangın analizi gerçekleştirmek ve yanma şiddetini belirleyerek yangın sonrası hasar tespiti yapmaktır. Bu nedenle yangın öncesi ve sonrasına ait Sentinel-2A ve Landsat-8 uydu verileri kullanılmıştır. Çalışma alanına ait eğim, bakı ve NDVI parametreleri kullanılarak yangın risk modeli haritası üretilmiştir. Daha sonra NDVI, NBR, dNBR, dNDVI, BSI ve BAI indekslerinin kullanılması ile yanarak tahrip olmuş alanların tespiti yapılmıştır. Son olarak dNBR indeksine ait görüntülere USGS FIREMON (Fire Effects Monitoring And Inventory Protocol/ Yangın Etkilerini İzleme ve Envanter Protokolü) tarafından, bir bölgedeki yanma şiddetini tanımlamak üzere belirlenmiş eşik değerler uygulanarak çalışma alanına ait yanma şiddeti haritası oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, OGM'den elde edilen yanmış alan değeri ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak Muğla ilinin 13 ilçesinden biri olan Köyceğiz ilçesi seçilmiştir (Şekil 1.). Türkiye'nin güneyinde, Ege ve Akdeniz'e kıyısı olan Akdeniz iklim tipinin görüldüğü Köyceğiz, 36° 58' 17" K enlemi ve 28° 41' 20" D boylamı arasında konumlanmıştır. Bölgede yaz ayları genelde sıcak ve kurak, kış ayları ise ılıman ve yağışlı geçmektedir (Yılmaz, 2023). Yıllık ortalama yağışı 1082.6 mm, sıcaklığı ise ortalama 18.3 °C civarındadır (Selim ve ark., 2016).



Şekil 1. Çalışma alanı

2.2. Veri seti

Bu çalışmada, 29 Temmuz 2021 tarihinde Köyceğiz mevkiinde gerçekleşen ve 14 gün devam eden orman yangını analizi, hasar tespiti ve bölgeye özel risk analizi gerçekleştirmek için Landsat-8 ve Sentinel-2A uydu veri setlerinden yararlanılmıştır. Çalışma Google Earth Engine (GEE) platformunda gerçekleştirilmiş olup uydu görüntüleride buradan temin edilmiştir. Landsat uydu görüntüleri, orman yangınlarının etkilerini değerlendirmek gibi uzun süreli değişimleri izlemek için önemli bir veri seti olarak kabul edilir (Mert ve ark., 2016; Sabuncu ve Özener, 2019). Sentinel-2A uydusu da ESA tarafından geliştirilen orta mekansal çözünürlüğe

sahip çok bantlı bir görüntüleme sistemidir (Avcı ve ark., 2023). 11 adet spektral banda sahip olan Landsat-8 uydusunun 30 m çözünürlüklü bantları, orman yangını tespiti için yeterli kabul edilmektedir. Bununla birlikte, 13 spektral banda sahip olan Sentinel-2 uydu görüntüleri, 10 m çözünürlükle daha yüksek detaylı veriler sunarak, daha hassas analizler yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca bu uydunun önemli bir görevi de arazi örtüsü ve kullanımını haritalama işlemleridir (Dereli, 2019).

Muğla'nın Köyceğiz ilçesinde meydana gelen orman yangını şiddetinin belirlenebilmesi için sırasıyla çalışma alanının yangın öncesine ait (28 ve 29 Temmuz 2021) 2'şer adet Sentinel-2A ve Landsat-8, yangın sonrası (27 ve 14 Ağustos 2021) tarihlerine ait 4 adet Sentinel-2A ve 2 adet Landsat-8 görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan görüntülere ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sentinel 2A ve Landsat-8 görüntülerinin GEE içerisindeki kimlik bilgileri

Görüntü Dönemi	Görüntü Kimliği
Yangın Öncesi	Sentinel-2A COPERNICUS/S2/20210728T084601_20210728T084602_T35SPA COPERNICUS/S2/20210728T084601_20210728T084602_T35SPB
	Landsat-8 LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA/LC08_179034_20210729 LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA/LC08_179035_20210729
Yangın Sonrası	Sentinel-2A COPERNICUS/S2/20210827T084601_20210827T085244_T35SPA COPERNICUS/S2/20210827T084601_20210827T085244_T35SPB COPERNICUS/S2/20210827T084601_20210827T090001_T35SPA COPERNICUS/S2/20210827T084601_20210827T090001_T35SPB
	Landsat-8 LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA/LC08_179034_20210814 LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA/LC08_179035_20210814

Seçilen uydu görüntüleri kullanılarak yanan alanların tespit edilmesinde ve yanma şiddetinin belirlenmesinde spektral indekslerden yararlanılmıştır. Çalışmada NDVI, NBR, dNBR, dNDVI, BSI ve BAI indeksleri kullanılmıştır.

Rouse ve ark. tarafından 1974 yılında geliştirilen NDVI indeksi bitki örtüsü tarafından yansıtılan kırmızı ve yakın kızılötesi ışığı kullanarak sağlıklı bitki örtüsü ile sağlıklı ve seyrek bitki örtüsünü ayırmaktadır (Yılmaz ve ark., 2021). NDVI hesaplamaları her zaman -1 ile +1 arasında değişen bir sayısal değer üretir (Arehki ve ark., 2019). dNDVI bitki indeksi ise çalışma alanına ait NDVI_{önce} ve NDVI_{sonra} farklarından elde edilmektedir.

Yangın öncesi ve sonrası değişiklikleri tespit etmek için yaygın olarak kullanılan NBR indeksi, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantlarının matematiksel bir oranı olarak hesaplanır (Veraverbeke vd. 2010; Sabuncu ve Özener, 2019). Miller vd. (2007) tarafından geliştirilen ve orman yanma

şiddeti haritasını belirlemek için kullanılan dNBR indeksi de yine yangın öncesi ve sonrası NBR indeksi farklarından oluşmaktadır.

BSI bitki örtüsü indeksi ise toprak özelliklerini incelemek için kullanılan bir indekstir. İndeksin hesaplanmasında kullanılan SWIR ve kırmızı spektral bantlar ile toprak mineral bileşimi ölçülürken, mavi ve NIR spektral bantlar ile bitki örtüsü tespit edilmektedir (Özdemir ve Demir, 2022).

Yangın sonrası görüntülerde ki yanan alanları tespit etmek için kullanılan BAI indeksi kırmızı ve yakın kızılötesi bantların formülizasyonundan oluşmaktadır. Sonuç görüntülerdeki koyu pikseller yanan alanları temsil etmektedir (Özdemir ve Demir, 2022).

Çalışmada kullanılan bitki indekslerine ve formüllerine Tablo 2'de yer verilmiştir.

Tablo 2. Bitki indeksleri ve formülü

Bitki İndeksi Tanımı	İndeks	Formül
Normalize Edilmiş Vegetasyon İndeksi (Rouse ve ark., 1974)	NDVI	$(\text{NIR}-\text{Red})/(\text{NIR}+\text{Red})$
Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (Key ve Benson 2006)	NBR	$(\text{NIR}-\text{SWIR2})/(\text{NIR}+\text{SWIR2})$
Fark Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (Özdemir ve Demir, 2022; Gürbüz, 2023)	dNDVI	$\text{NDVI}_{\text{pre}} - \text{NDVI}_{\text{post}}$
Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (Miller vd. 2007)	dNBR	$\text{NBR}_{\text{pre}} - \text{NBR}_{\text{post}}$
Yanık İzi İndeksi (Çömert ve ark., 2017)	BSI	$(\text{SWIR1}+\text{Red})-(\text{NIR}+\text{Blue})/(\text{SWIR1}+\text{Red})+(\text{NIR}+\text{Blue})$
Yanmış Alan İndeksi (Chuvieco ve ark., 2002)	BAI	$1/((0.1-\text{Red}/1000)^2+(0.6-\text{NIR}/1000)^2)$

Çalışma kapsamında dNBR indeksi kullanılarak yanma şiddeti haritası oluşturmak için USGS FIREMON (Fire Effects Monitoring And Inventory Protocol/ Yangın Etkilerini İzleme ve Envanter Protokolü) tarafından, bir bölgedeki yanma şiddetini tanımlamak üzere belirlenmiş eşik değerler kullanılmıştır (Tablo 3.).

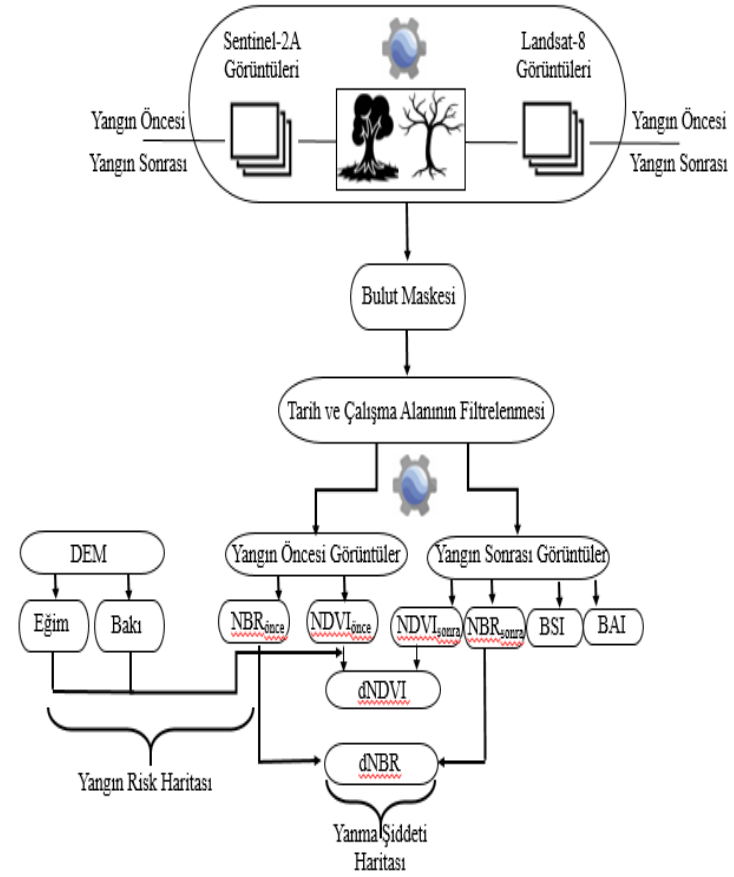
Tablo 3. Yanma şiddeti dereceleri (USGS FIREMON)

Numara	Değer Aralığı	Yanma Şiddeti
1	-0,50 ile -0,25	Yüksek seviyede yeniden yeşillenme
2	-0,25 ile -0,1	Düşük seviyede yeniden yeşillenme
3	-0,1 ile 0,1	Yanmamış Alan
4	0,1 ile 0,27	Düşük şiddetli yanma
5	0,27 ile 0,44	Orta- Düşük şiddetli yanma
6	0,44 ile 0,66	Orta- Yüksek şiddetli yanma
7	0,66 ile 1,30	Yüksek şiddetli yanma

Çalışma alanına ait risk analizi yapmak için dikkat edilmesi gereken 3 parametre vardır. Bunlar bitki yoğunluğu için NDVI, sayısal yükseklik modelinden (DEM) üretilmiş eğim ve bakıdır (Özdemir ve Demir, 2022).

2.3. Yöntem

Bu çalışma kapsamında 2021 yılı temmuz ayında Muğla ilinin Köyceğiz ilçesinde gerçekleşen orman yangınının meydana getirdiği hasarın belirlenebilmesi ve yangın risk analizi için bulut tabanlı bir platform olan GEE kullanılmıştır. Çalışmada takip edilen iş akışı şemasına Şekil 2’de yer verilmiştir.



Şekil 2. İş akışı

Bu çalışmada, yangın riski değerlendirme amacıyla Google Earth Engine (GEE) platformu kullanılarak Landsat 8 ve Sentinel-2A uydu görüntüleri analiz edilmiştir. Çalışma alanı, FeatureCollection yöntemiyle harita üzerinde tanımlanmış ve konumlandırılmıştır. Yangın öncesi ve sonrası dönemlere ait uydu verileri belirlenen tarih aralığında ve %30'un altında bulut örtüsüne sahip olacak şekilde filtrelenmiştir.

Bulut maskesi uygulanarak analiz sürecindeki hatalar en aza indirilmiş, Sentinel-2 için QA60 bandı kullanılarak atmosferik etkilerden kaynaklanan bulut ve sirüs bulutları, Landsat 8 verilerinde ise BQA bandı üzerinden belirlenen eşik değerleriyle bulut ve bulut gölgeleri maskelenmiştir.

Yangın öncesi ve sonrası bitki örtüsü değişimlerini değerlendirmek için Normalize Edilmiş Fark Vegetasyon İndeksi (NDVI), yangın hasarının belirlenmesi amacıyla Normalize Edilmiş Yanık Oranı (NBR) indeksi hesaplanmıştır.

Yangın öncesi ve sonrası dönemlerde elde edilen NDVI ve NBR indekslerinin farkları alınarak dNDVI ve dNBR haritaları oluşturulmuş, dNBR haritası belirlenen eşik değerlerine göre sınıflandırılarak yangın şiddeti ve yanan alan miktarı hesaplanmıştır.

Son olarak çalışma alanına ait yangın risk haritası eğim, bakı ve NDVI_{önce} parametreleri kullanılarak oluşturulmuştur. Ateş, eğimin az olduğu bölgelerde yavaş, yüksek olduğu bölgelerde hızlı ilerlemektedir (Zhou ve ark, 2007). Yani eğimin 0° olduğu alanlar düşük riski ifade ederken, 90° olduğu alanlar yüksek riski ifade etmektedir. Bu nedenle yangın yayılma oranını etkileyen eğim kriteri GEE platformunda bulunan NASADEM veri

setinden üretilmiş olup her bir indeksi 0'dan 1'e normalleştirmek için 90'a bölünmüştür.

Bir diğer kriter olan bakı, güneş ışınlarının düştüğü yüzey alanı ile bağlantılıdır (Özdemir ve Demir, 2022). Genellikle güneye bakan yamaçlar, kuzeye bakanlar yamaçlardan daha az yoğun ve kurudur. Kurutucu güneşler de yangın riskini artırmaktadır. Bu durumda yönüne bağlı olarak, güneye bakan alanlar yüksek yangın riskine sahipken, kuzeye bakan alanlarda risk daha düşüktür. NASADEM veri setinden üretilen bakı parametresine yangın riskini 1 (yüksek) ile 0 (düşük) arasında ifade etmek için şu formül uygulanmıştır;

$$1 - \left| \frac{180 - Bakı}{180} \right|$$

NDVI parametresi ise bölgedeki bitki yoğunluğu hakkında bilgi vermektedir. Sentinel-2A uydu verileri Landsat-8 uydu verilerine göre daha yüksek çözünürlüğe sahip olduğundan çalışmada yangın risk analizi için Sentinel-2A uydu verileri kullanılarak üretilen NDVI görüntüleri, Özdemir ve Demir'in (2022) şu eşitliği kullanılarak analiz için uygun hale getirilmiştir;

$$\frac{NDVI + 1}{2}$$

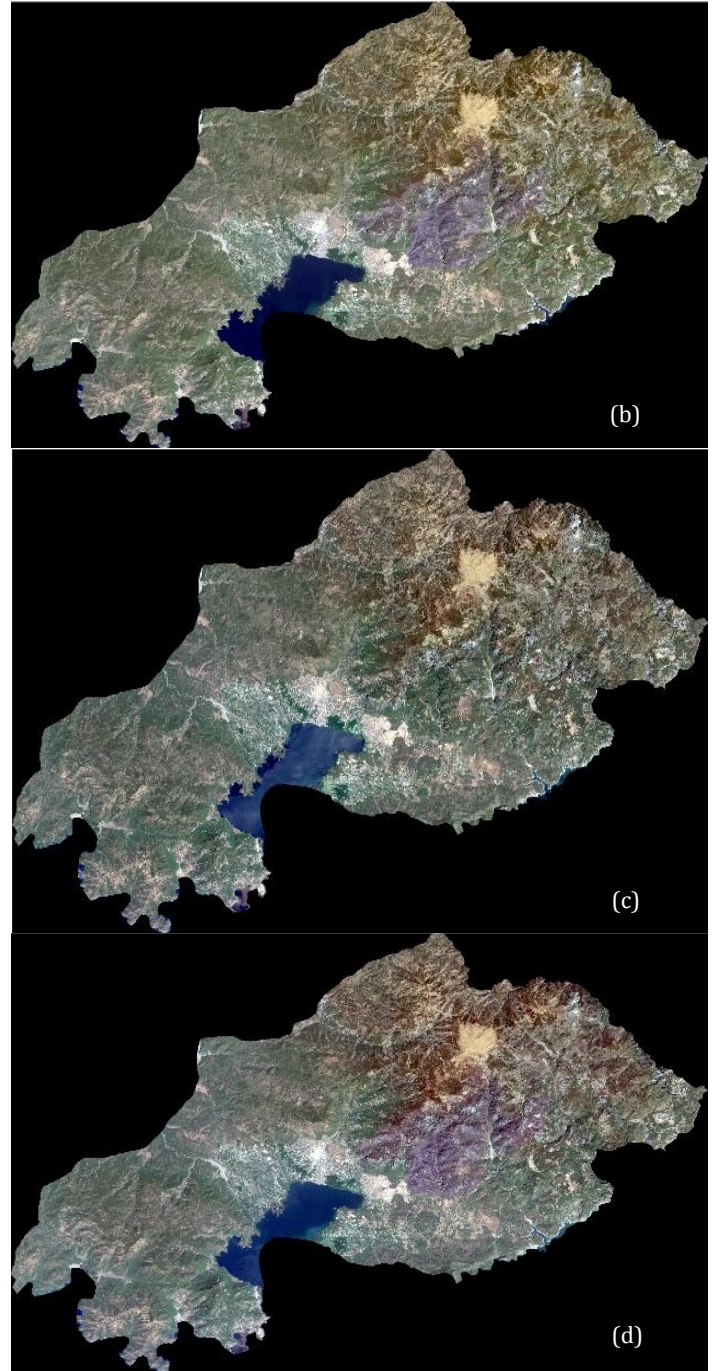
Riskli bölgelerin belirlenmesi için El-Sheimy vd. (2005) tarafından önerilen yangın riski modeli kullanılmış olup denklem şu şekildedir;

$$\frac{\frac{Eğim}{90} + 1 - \left| \frac{180 - Bakı}{180} \right| + \frac{NDVI + 1}{2}}{3}$$

3. Bulgular

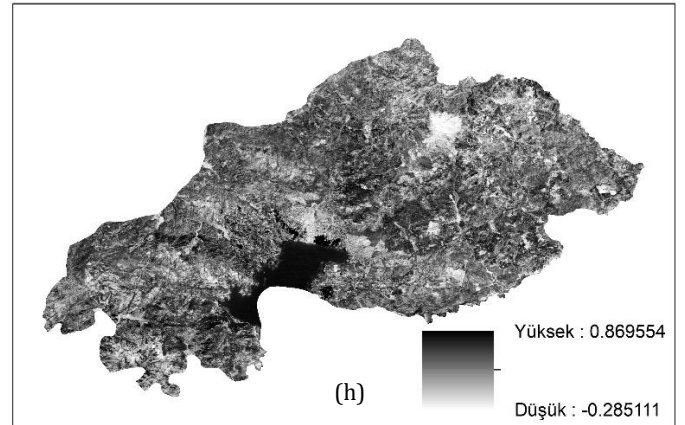
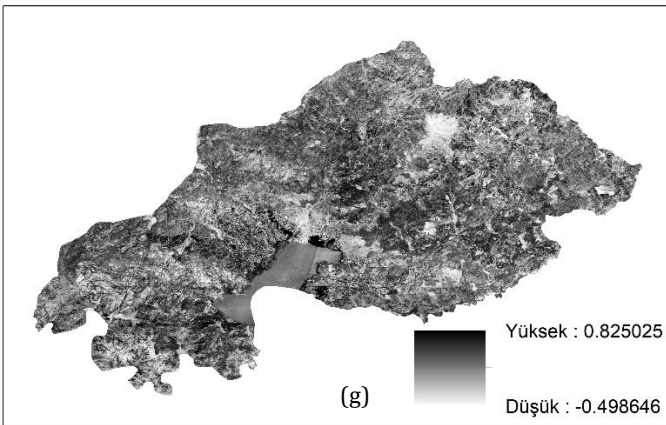
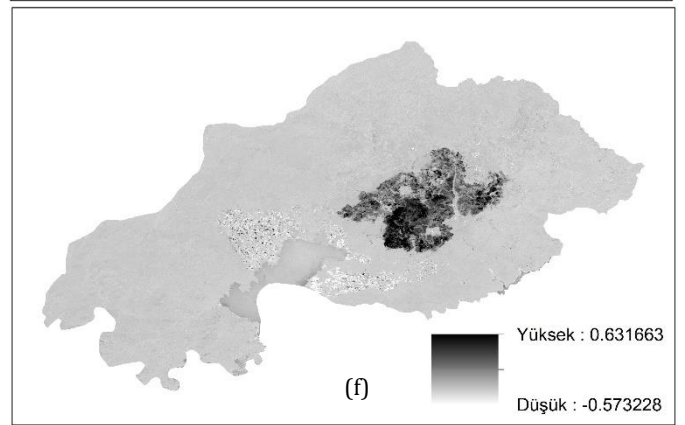
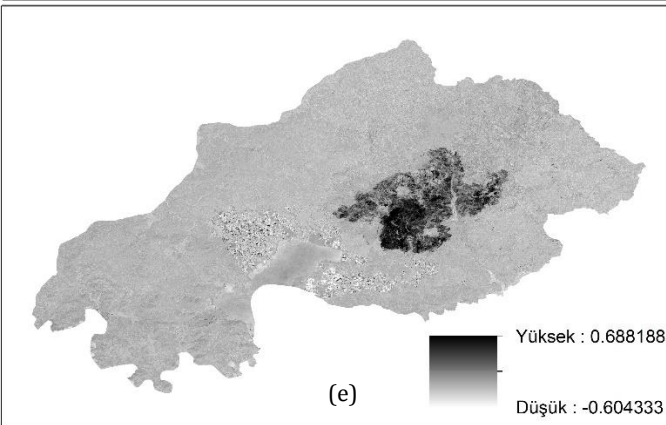
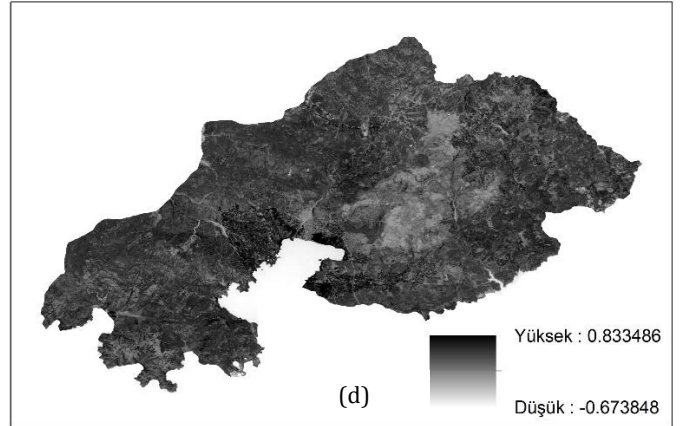
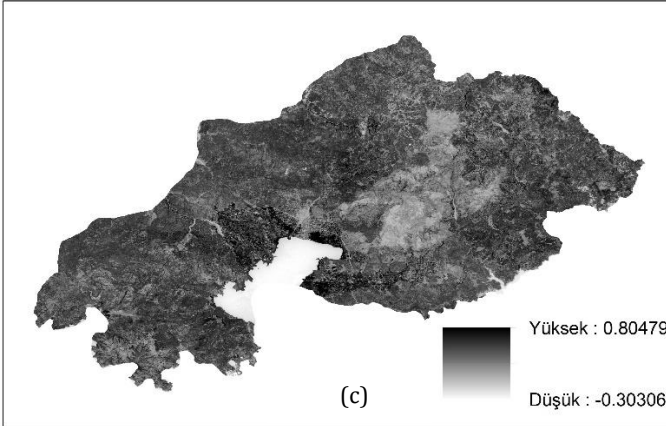
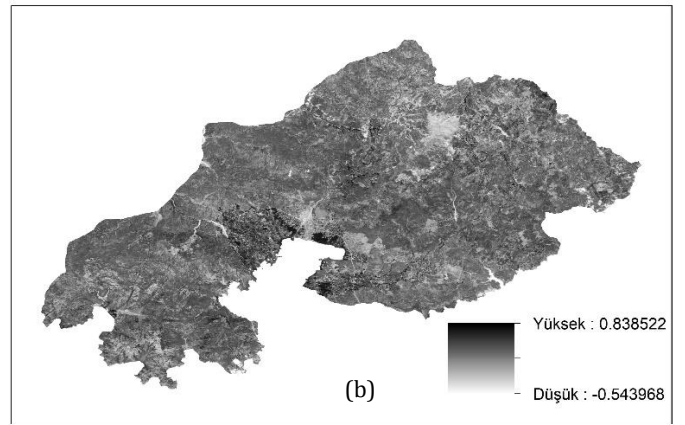
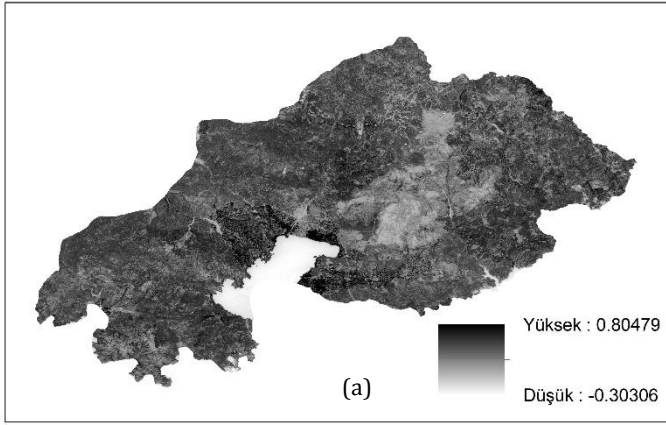
Çalışma kapsamında 29 Temmuz 2021 tarihinde Muğla ili Köyceğiz ilçesinde meydana gelen orman yangınına belirlemek ve hasar tespiti yapmak için Sentinel-2A ve Landsat-8 uydu verileri ile bitki indeksleri kullanılmıştır.

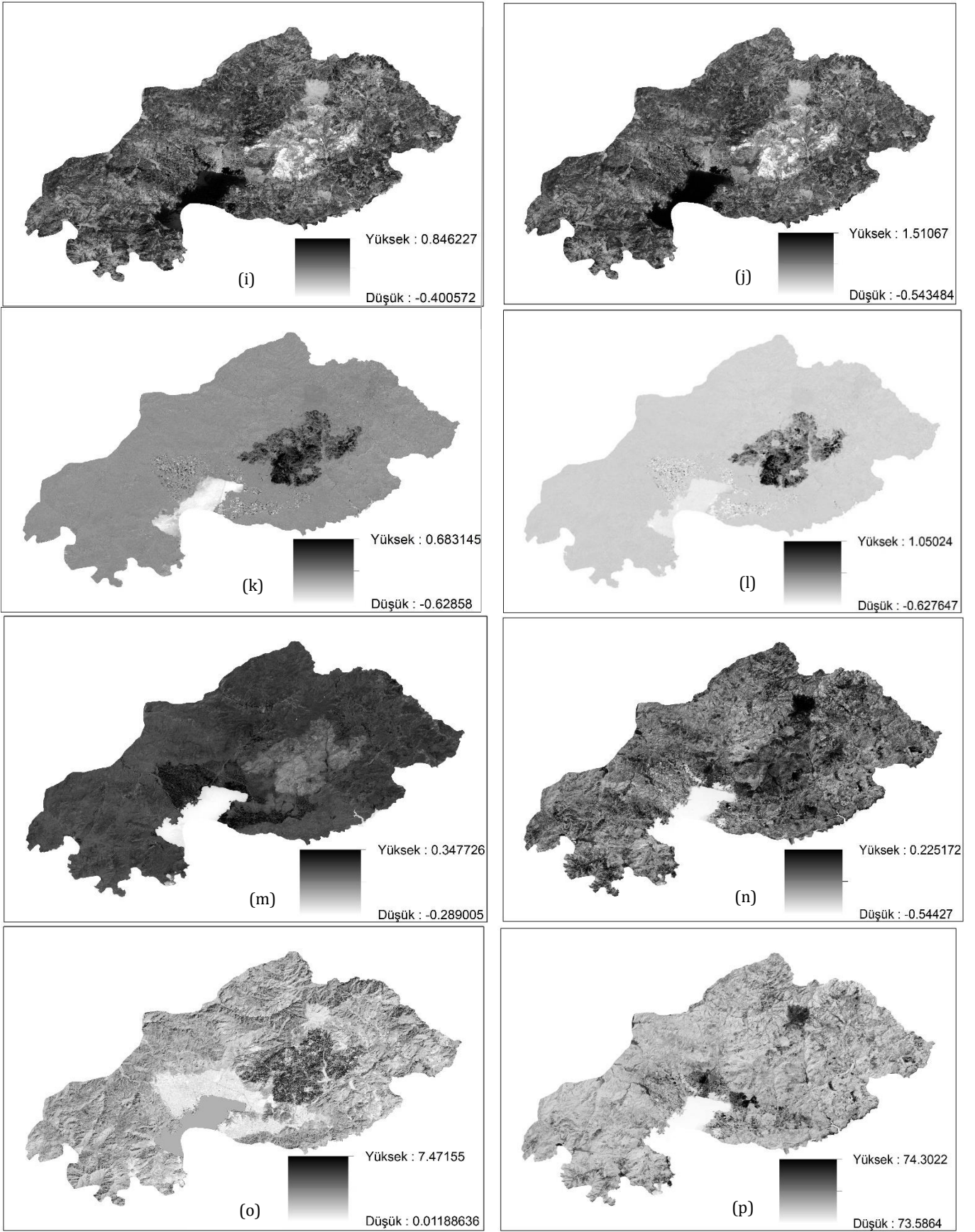
Çalışma alanına ait yangın öncesi ve sonrası Sentinel-2A ve Landsat-8 uydu görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Landsat-8 ve Sentinel-2A uydu görüntüleri a) Landsat-8 yangın öncesi (29.07.2021) b) Landsat-8 yangın sonrası (14.08.2021) c) Sentinel-2A yangın öncesi (28.07.2021) d) Sentinel-2A yangın sonrası (27.08.2021)

Yangında hasar gören bölgeleri tespit etmek için yangın öncesi ve sonrası uydu görüntüleri üzerinden sırasıyla NDVI, dNDVI, NBR, dNBR, BSI ve BAI indeksleri hesaplanmıştır (Şekil 4.).





Şekil 4. Sentinel-2A ve Landsat-8 yangın öncesi ve sonrası bitki indeksi görüntüleri Şekil 5. Sentinel-2A ve Landsat-8 yangın öncesi ve sonrası bitki indeksi görüntüleri (a: Yangın öncesi Sentinel-2A NDVI görüntüsü b: Yangın öncesi Landsat-8 NDVI görüntüsü c: Yangın sonrası Sentinel-2A NDVI görüntüsü d: Yangın sonrası Landsat-8 NDVI görüntüsü e: Sentinel-2A dNDVI görüntüsü f: Landsat-8 dNDVI görüntüsü g: Yangın öncesi Sentinel-2A NBR görüntüsü h: Yangın öncesi Landsat-8 NBR görüntüsü i: Yangın sonrası Sentinel-2A NBR görüntüsü j: Yangın sonrası Landsat-8 NBR görüntüsü k: Sentinel-2A dNBR görüntüsü l: Landsat-8 dNBR görüntüsü m: Sentinel-2A BSI görüntüsü n: Landsat-8 BSI görüntüsü o: Sentinel-2A BAI görüntüsü p: Landsat-8 BAI görüntüsü)

Çalışma alanına ait bitki indeksleri ile oluşturulan sonuçlar görsel olarak yorumlandığında yanmış alanların belirlenmesinde dNDVI, dNBR, BSI ve BAI indekslerinin etkili olduğu görülmüştür.

NBR, yangın şiddetini belirlemek için standart bir spektral indeks olarak uzaktan algılama alanında geniş kabul görmektedir (Kavzoğlu ve ark., 2021). Dolayısıyla NBR indeksinden üretilen dNBR indeksi de yanma şiddeti belirlenmesinde yaygın olarak kullanılıyor olup -2,00 ile +2,00 arasında değerler almaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, Landsat-8 uydu görüntüsü kullanılarak hesaplanan dNBR indeksi -0,61 ile 1,05 arasında değişirken Sentinel-2A uydu görüntüsü kullanılarak hesaplanan dNBR indeksi -0,61 ile 0,68 arasında değişmektedir. Yansıtım değerlerine bakıldığında Landsat-8 uydu görüntüsü dNBR indeksinin, Sentinel-2 uydu görüntüsüne ait dNBR indeksinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

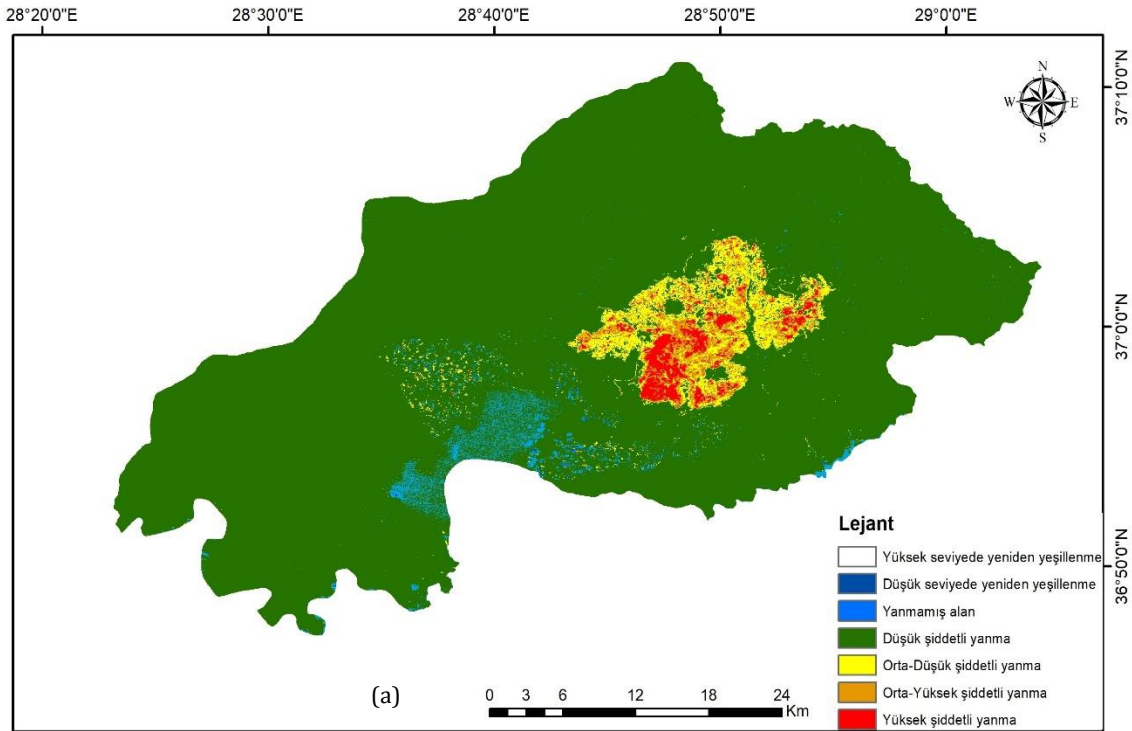
NDVI, bitki örtüsü yoğunluğunu belirleyen bir indeks olduğundan yanmış alanın spektral özelliklerine değil, bitki örtüsünün spektral özelliklerine bağlıdır. NDVI'dan üretilen dNDVI indeksi de aynı amaçla kullanılmakta olup -1 ile +1 arasında değişen değer almaktadır. NDVI değerinin -1'e yaklaşması bölgede ki bitki yoğunluğunun azaldığını, +1'e yaklaşması ise bitki yoğunluğunun fazlalığını ifade etmektedir. Bu nedenle yangın sonrası verilerde NDVI değeri düşmektedir. Çalışma kapsamında, Landsat-8 uydu görüntüsü kullanılarak hesaplanan dNDVI indeksi -0,57 ile 0,63 arasında değişirken Sentinel-2A uydu görüntüsü kullanılarak hesaplanan dNDVI indeksi -0,60 ile 0,68 arasında değişmektedir. Benzer şekilde de Sentinel-2 uydu görüntüsüne ait dNDVI indeksinin, Landsat-8 uydu

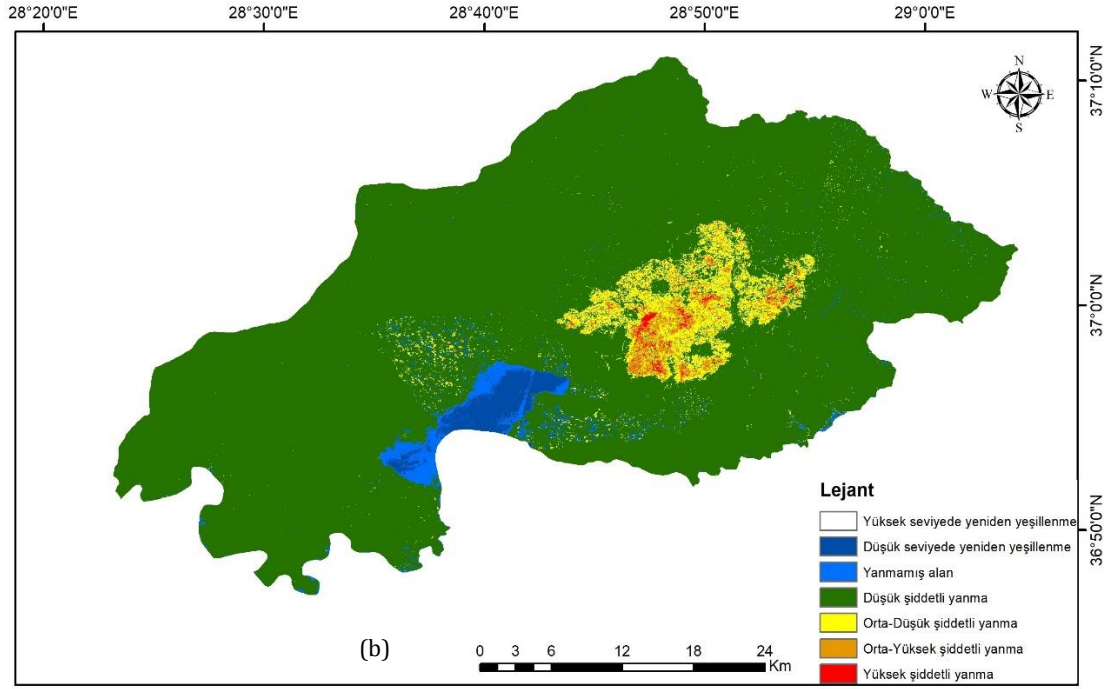
görüntüsüne ait dNDVI indeksinden yüksek olduğu belirlenmiştir.

BSI incelendiğinde aldığı değerler, Landsat 8 uydu görüntüsü ile oluşturulan indekslerde -0,54 ile 0,22 arasındayken, Sentinel 2 uydu görüntüsü ile oluşturulan indeksler -0,28 ile 0,34 aralığında değiştiği görülmüştür. Değer aralıkları birbirine yakın olmasına rağmen hem nitel hem de nicel olarak Sentinel-2A uydu görüntüleriyle üretilen BSI indeksi yanmış alanların belirlenmesinde daha iyi bir sonuç vermiştir.

BAI indeksine bakıldığında aldığı değerler, Landsat-8 uydu görüntüsü ile oluşturulan indekste 73 ile 74 arasındayken Sentinel-2A uydu görüntüsü ile oluşturulan indekste 0,01 ile 7,47 aralığında değiştiği görülmüştür. Bu sonuçlar nitel ve nicel olarak değerlendirildiğinde Sentinel-2A uydu görüntüleriyle üretilen BAI indeksinin yanmış alanların belirlenmesinde çok daha iyi bir sonuç verdiği ortaya koyulmuştur.

Tüm indeksler ve yansıtım değerleri incelendiğinde yanmış alan ayırımı en iyi dNBR indeksi yapmıştır. Bu nedenle dNBR indeksi kullanılarak USGS FIREMON tarafından belirlenen eşik değerlerle Landsat-8 ve Sentinel-2A uydu görüntülerinden hesaplanan dNBR indeksleri için yanma şiddeti haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.). Haritada sarı, turuncu ve kırmızı renkler yanmış alanları temsil ederken, yeşil ve mavi renkler düşük seviyede yanmış alanları ya da yanmanın gerçekleşmediği alanları temsil etmektedir.





Şekil 5. Yanma şiddeti haritaları (a: Landsat-8 yanma şiddeti haritası b: Sentinel-2A yanma şiddeti haritası)

Oluşturulan yanma şiddeti haritası 1'den 7'ye kadar derecelendirilmiş olup yanan alan miktarı her bir sınıf

için hesaplanmıştır. Hesaplanan alanlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. dNBR indeksinden oluşturulan yanma şiddeti sınıflarının kapladığı alan

Numara	Değer Aralığı	Yanma Şiddeti Sınıfı	Landsat-8 için Alan (ha)	Sentinel-2A için Alan (ha)
1	-0,50 ile -0,25	Yüksek seviyede yeniden yeşillenme	108,79	2419,29
2	-0,25 ile -0,1	Düşük seviyede yeniden yeşillenme	2442,82	3199,63
3	-0,1 ile 0,1	Yanmamış Alan	120166,81	118110,81
4	0,1 ile 0,27	Düşük şiddetli yanma	5031,49	6201,02
5	0,27 ile 0,44	Orta- Düşük şiddetli yanma	2825,58	2219,09
6	0,44 ile 0,66	Orta- Yüksek şiddetli yanma	1325,57	428,85
7	0,66 ile 1,30	Yüksek şiddetli yanma	629,81 9812,45	0 ha 5739,95 m ² 8849,53

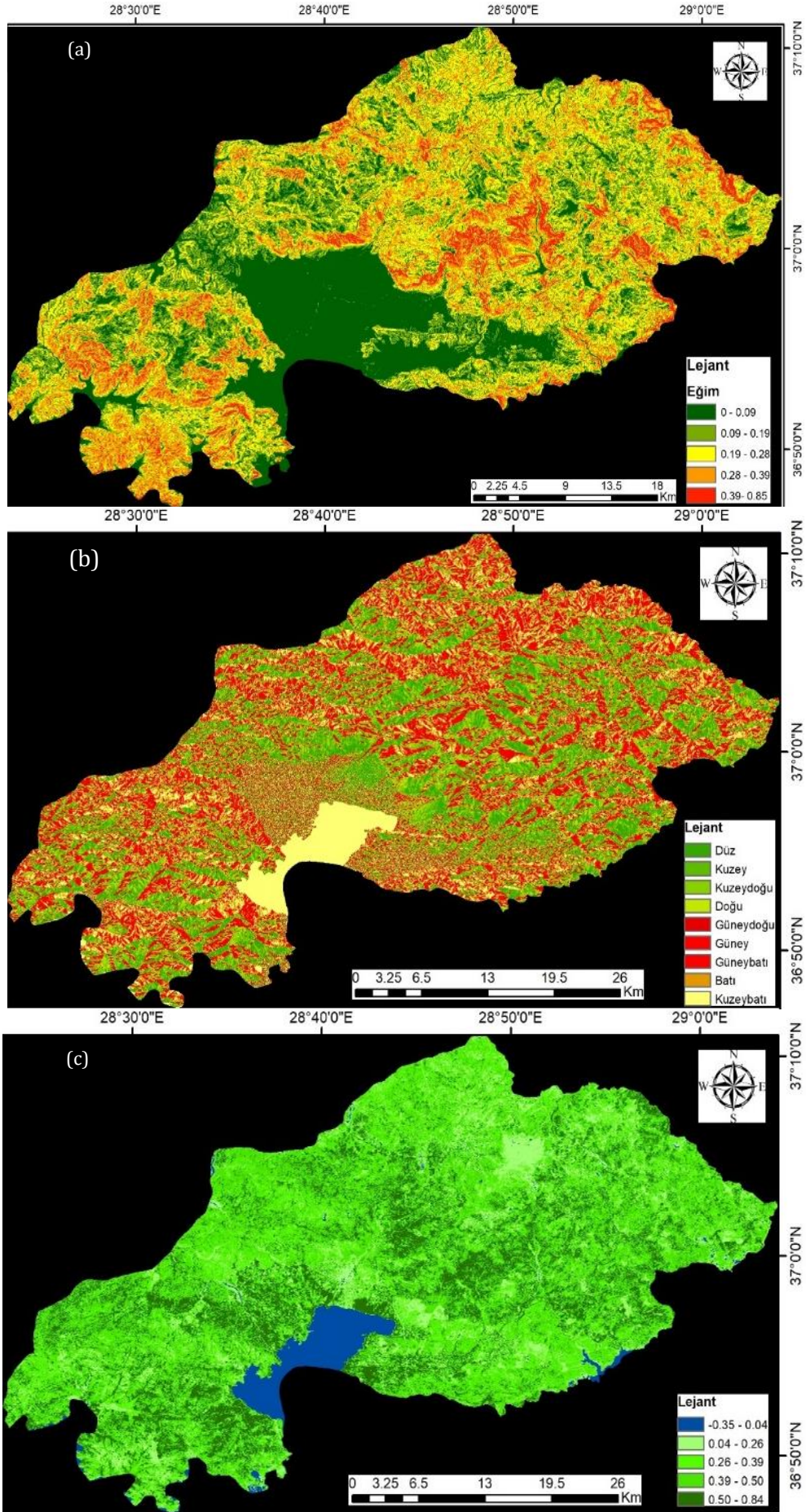
Yangın sonrası yanmış alan miktarının belirlenmesi için tablo incelendiğinde yanan alan sınıflarının dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle hasar tespiti için "Düşük şiddetli yanma, Orta- Düşük şiddetli yanma, Orta-Yüksek şiddetli yanma ve Yüksek şiddetli yanma" sınıfları değerlendirilmiştir. Bu sınıflar baz alındığında Landsat-8 uydu verileriyle hesaplanan dNBR indeksi için gerçekleştirilen yanma şiddeti haritasında toplam hasar miktarının 9812,45 ha olduğu ve Sentinel-2A uydu verileriyle hesaplanan dNBR indeksi için gerçekleştirilen yanma şiddeti haritasında ise toplam hasar miktarının 8849,53 ha olduğu tespit edilmiştir.

Tuna Tuygun ve ark., (2023) Türkiye'de 2021 yılında yaşanan büyük orman yangınlarında yanan orman alanlarının ve yangın kaynaklı atmosferik aerosollerin

uydular ile izlenmesi çalışmalarında Muğla ili Köyceğiz ilçesi için yanan alanı 10,745 ha olarak hesaplamıştır. Orman Genel Müdürlüğü 2021 Yılı Orman Yangınları Değerlendirmesi raporunda da Köyceğiz ilçesi için yanan alan miktarı 10,737 ha olarak belirtilmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların literatür ve resmi kaynaklarla tutarlı olduğu görülmüş olup resmi raporlara en yakın sonucunda Landsat-8 uydu verileriyle hesaplanan dNBR yanma şiddeti haritasıyla elde edildiği görülmüştür.

Çalışma alanı için gerçekleştirilen bir diğer çalışma ise bölgeye ait eğim, bakı ve NDVI parametrelerinin ortalamasıyla oluşturulan risk haritasıdır. Her bir kritere ait oluşturulan haritalara Şekil 6'da yer verilmiştir.

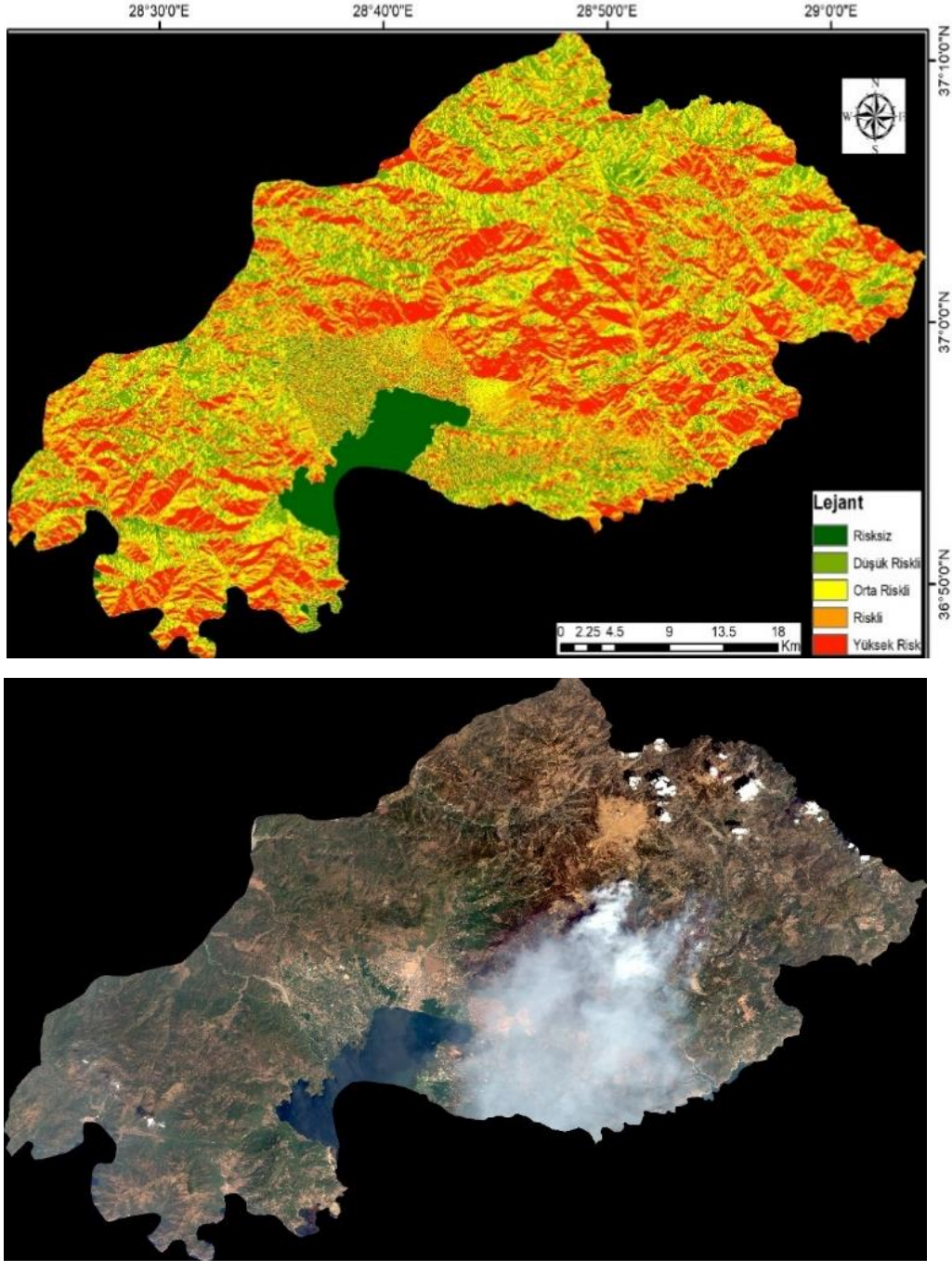


Şekil 6. Risk analizi parametreleri haritaları (a:Eğim haritası b: Bakı haritası c: NDVI haritası)

Yüksek eğimin yüksek yangın riskini beraberinde getirdiği bilinmektedir. Çalışma alanına ait eğim haritasına bakıldığında, riskli olarak tanımlanabilecek bölgelerin sarı, turuncu ve kırmızı olarak renklendirilmiş yüksek eğime sahip yerler olduğu görülmektedir. Bununla beraber bakı haritasına bakıldığında, güneye bakan yamaçların kurutucu ve ateşlenme potansiyelinin yüksek olmasından dolayı daha riskli bölgeler olduğu bilindiğinden haritada güneye bakan yönler kırmızı olarak renklendirilmiştir. Son olarak NDVI haritasına bakıldığında +1'e yaklaştıkça yeşil rengi koyulaşmakta ve

bu durum bitki örtüsü yoğunluğunun arttığını göstermektedir. Benzer şekilde -1'e olan yakınlıkta bitki örtüsü varlığının olmadığını ya da çok az olduğunu göstermektedir. NDVI haritasında -1'e yakın olan yerlerin sulak alanlar olduğu da görülmektedir.

Bu üç önemli kriterin ortalaması alınarak olası bir yangının gerçekleşebileceği ya da gerçekleşen bir yangında etkilenebilecek lokasyonların belirlendiği risk haritasına Şekil 7'de yer verilmiştir. Oluşturulan risk haritası yangın anındaki Sentinel-2A uydu görüntüsü ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. Risk haritası ve yangın anı Sentinel-2A görüntüsü

Risk haritası incelendiğinde, yüksek riskli olarak belirlenen lokasyonların güney yamaçlarda, bitki örtüsü yoğunluğu ve eğimi %28'den fazla olan bölgeler olduğu görülmektedir. Yangın anına ait Sentinel-2A uydu

görüntüsüne bakıldığında ise yanan alanın risk haritası ile örtüşmüş olduğu ve yüksek riskli olarak belirlenen bölgede yangının meydana geldiği tespit edilerek sonuçların tutarlılığı ortaya koyulmuştur.

4. Tartışma ve Sonuç

Gerçekleştirilen bu çalışmada Muğla ilinin Köyceğiz ilçesinde meydana gelen orman yangını Landsat-8, Sentinel-2A veri seti ve bitki örtüsü indeksleri kullanılarak uzaktan algılama yöntemleriyle analiz edilmiştir. Her iki veri seti kullanılarak çalışma alanına ait yangın öncesi ve sonrası görüntülere bitki indeksi uygulanarak yanan alanlar belirlenmiştir. Bitki indeksleri içinde yanmış alan ayırımı en iyi yapan bitki indeksinin dNBR indeksi olmasından dolayı bu indeks kullanılarak yanma şiddeti haritası oluşturulmuştur. Yanma şiddeti haritaları incelendiğinde yanan alanın en iyi Landsat-8 uydusu veri setiyle ayırt edildiği nitel olarak görülmüştür. Nicel olarak bakıldığında da yanan alan miktarı Landsat-8 veri setiyle 9812,45 ha bulunurken, Sentinel-2A veri setiyle 8849,53 ha bulunmuştur.

Resmi kaynak olan Orman Genel Müdürlüğü 2021 Yılı Orman Yangınları Değerlendirmesi raporunda da Köyceğiz ilçesi için yanan alan miktarı 10,737 ha olarak belirtilmiştir. Sentinel-2A uydu verileri, Landsat-8 uydu verilerinden daha yüksek çözünürlüğe sahip olmasına rağmen hem nitel hem de nicel olarak değerlendirildiğinde referans alınan rapora en yakın sonucu Landsat-8 veri setiyle üretilen dNBR yanma şiddeti haritası vermiştir.

Bunun nedenine bakıldığında Landsat-8 verilerinin, özellikle kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantlarında Sentinel-2'ye kıyasla daha geniş bir spektral kapsama sahip olduğu görülmektedir. Yanma şiddetinin belirlenmesinde SWIR bantları kritik bir öneme sahiptir çünkü bu bantlar, yanan ve yanmamış alanları ayırt etmede oldukça etkilidir. Benzer şekilde, Yılmaz ve ark., (2022) çalışmalarında da Landsat-8 verileri yangın sonrası yanmış alan tespitinde Sentinel-2 verilerinden daha iyi sonuç vermiştir.

Yangın risk analizi sonucuna göre yanmış alanların yanmaya karşı duyarlı olduğu görülmüştür. Bu analiz, yüksek yanma riskine sahip ağaçların potansiyel yangıncılık oranını (konumları, yüzey eğimi, bitki yoğunluğu vb. parametrelere bağlı olarak) değerlendirerek yangının neden meydana geldiğini açıklayabilir. Risk haritası irdelendiğinde her bir parametrede riskli olan bölgelerin kesişimi olduğu görülmektedir. Yani eğimin yüksek, bitki yoğunluğunun fazla olduğu ve güneşe bakan yönlerin yanma riskiyle karşı karşıya olduğu risk analizi ile ortaya konulmuştur. Ayrıca yangın anına ait Sentinel-2A görüntüsü de bu analizi doğrulamaktadır. Görüntüye bakıldığında risk haritasında yüksek riskli olarak belirlenen bölgede yangının gerçekleştiği görülmektedir.

Sonuç olarak, ücretsiz olarak temin edilen uzaktan algılama görüntülerinin yanmış alanların tespitinde, analizinde ve yorumlanmasında büyük bir öneme sahip olduğu görülmüştür. Bu veriler ve analizler ile yanma şiddeti belirlenmekte, hasar tespiti yapılabilmekte ve yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca yanmış alanların belirlenmesi, yangın esnasında hızlı ve etkili müdahale edilebilmesine ve yangın sonrası hasar görmüş alanların yeniden yeşillendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışma ile GEE platformunda orman yangınlarının tespit edilmesiyle ilgili önemli adımlar atılmış olup sonuçlar elde edilmiştir. Gelecekte dünyada veya Türkiye'de tekrarlanabilecek yangın felaketleri sırasında elde edilecek olan yangın sonrası ilk uydu görüntüsü ile çok kısa bir sürede yangın şiddeti haritaları oluşturulup hızlı müdahale edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca aynı çalışma bölgesinde meydana gelebilecek olan ikinci bir yangın durumunda da bu çalışmayla öncülük sağlanacaktır. Google Earth Engine platformu gibi web tabanlı uygulamalar geliştirilerek yangınla mücadelede etkili platformlar geliştirilebilir.

Araştırmacıların katkı oranı

Sule Yaman: Literatür taraması, Modelleme, Makale yazımı; **Esra Tunç Görmüş:** Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Aghayeva, F. (2024). Wildfire hazard and risk assessment: The case of Gabala district. *Advanced GIS, 4*(1), 01–09. Retrieved from <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/agis/article/view/1089>
- Altunel, A. O., Akturk, E., & Altunel, T. (2020). Examining the PALSAR-2 Global forest/non-forest maps through Turkish afforestation practices. *International Journal of Remote Sensing, 41*(16), 6071-6088.
- Altun, M., & Turker, M. (2022). Integration of Sentinel-1 and Landsat-8 images for crop detection: The case study of Manisa, Turkey. *Advanced Remote Sensing, 2*(1), 23–33.
- Ahady, A. B., & Kaplan, G. (2022). Classification comparison of Landsat-8 and Sentinel-2 data in Google Earth Engine, study case of the city of Kabul. *International Journal of Engineering and Geosciences, 7*(1), 24-31. <https://doi.org/10.26833/ijeg.860077>
- Arekhi, M., Goksel, C., Balık Sanli, F., Senel, G. (2019). Comparative Evaluation of the Spectral and Spatial Consistency of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI Data for Igneada Longos Forest. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 8*(2): 56.
- Ayalke, Z., & Şişman, A. (2024). Google Earth Engine kullanılarak makine öğrenmesi tabanlı iyileştirilmiş arazi örtüsü sınıflandırması: Atakum, Samsun örneği. *Geomatik, 9*(3), 375-390. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1472160>
- Avcı, C., Budak, M., Yağmur, N., Balçık, F. (2023). Comparison between random forest and support vector machine algorithms for LULC classification. *International Journal of Engineering and Geosciences, 8*(1), 1-10. <https://doi.org/10.26833/ijeg.987605>
- Barmpoutis, P., Papaioannou, P., Dimitropoulos, K., & Grammalidis, N. (2020). A review on early forest fire detection systems using optical remote sensing. *Sensors, 20*(22), 6442.
- Başara, A. C., Tabar, M. E., Gülsün, S., & Şişman, Y. (2022). Monitoring Urban Sprawl in Atakum District Using

- CORINE Data. *Advanced Geomatics*, 2(2), 49–56. Retrieved from <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/geomatics/article/view/481>
- Chuvienco, E., Pilar Martin M., & Palacios A. (2002). Assessment Of Different Spectral Indices in The Red-Near-Infrared Spectral Domain For Burned Land Discrimination. *Remote Sensing of Environment* 112 2381-2396.
- Chuvienco, E., Cocero, D., Riano, D., Martin, P., Martinez-Vega, J., De La Riva, J. & Pérez, F. (2004). Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. *Remote Sensing of Environment*, 92 (3), 322-331. doi: 10.1016/j.rse.2004.01.019
- Çolak, E., & Sunar, F. (2018). Yüzey sıcaklığı ve spektral yanma indekslerinin orman yangın analizinde kullanımını. ESTÜ. UZAL-CBS (Dü.), VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu Bildiriler Kitabı içinde, (s. 311-320). 18-21 Eylül, Eskişehir.
- Çömert R., Küçük Matçı, D., Emir, H. & Avdan, U. (2017). Uydu görüntüleri kullanılarak orman yangınlarının haritalanması. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) IX. Teknik Sempozyumu, 2017. TUFUAB.
- 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.
- El-Sheimy, N., Habib, A., & Valeo, C. (2005). *Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation, and Applications*. Boston: Artech House Publishers.
- Erten, E., Kurgun, V., Musaoglu, N., (2005). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Bilgi Sisteminin Kurulması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara.
- Eyi, G., & Buğdaycı, İ. (2024). Uzaktan algılama yöntemleri ile yangın şiddetinin tespiti: Yunanistan Rodos Adası orman yangını örneği. *Geomatik*, 9(3), 348-360. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1481708>
- Fox, L. III, & Stuart, J. D., (1994). Detecting changes in forest condition following wildfire using image processing and GIS. ASPRS Technical Papers: 1994 ASPRS-ACSM Annual Convention, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Reno, Nevada, April 1994 (Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), pp. 197–206.
- 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.2019.04.00>
- 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.), InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69410>.
- Google Earth Engine (GEE). <https://code.earthengine.google.com/> Erişim Tarihi: 30.05.2024.
- Gürbüz, E. (2023). Uzaktan Algılama ile Yangın Şiddeti Belirlenmesinde Farklı İndekslerin Karşılaştırılması. *Harita Dergisi*, 170, 8-22.
- Güngör, R., Yılmaz, O. S., Balık Sanlı, F., & Ates, A. M. (2022). Investigation of spatial change in Lake Surface with Google Earth Engine: Example of Marmara Lake. *Advanced Remote Sensing*, 2(1), 8–15.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Tonbul, H. & Öztürk, M.Y. (2021). Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları. T. Kavzoğlu (Ed.) *Orman Yangınları: Sebepleri, Etkileri, İzlenmesi, Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri*. Türkiye Bilimler Akademisi. ss. 219-251.
- Key C, Benson N (2006) Landscape assessment: remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio and ground measure of severity, the Composite Burn Index. In 'FIREMON: fire effects monitoring and inventory system. RMRS-GTR-164-CD'. (Eds D Lutes, R Keane, J Caratti, C Key, N Benson, S Sutherland, L Gangi) pp. LA 1–51. (USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station: Ogden, UT, USA)
- Khatami R, Mountrakis G, & Stehman SV, (2016). A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, 177: 89–100.
- Kovács, K.D. (2019). Evaluation of burned areas with Sentinel-2 using SNAP: The case of Kineta and Mati, Greece, July 2018. *Geographia Technica*, Cluj University Press, 14(2), pp.20– 38. doi: 10.21163/GT_2019.142.03
- Liu, W., Wang, L., Zhou, Y., Wang, S., Zhu, J., & Wang, F. (2016). A comparison of forest fire burned area indices based on HJ satellite data. *Natural Hazards*, 81, 971-980.
- Mahmood, M., & Jumaah, H. (2023). NBR Index-Based Fire Detection Using Sentinel-2 Images and GIS: A Case Study in Mosul Park, Iraq. *International Journal of Geoinformatics*, 19(3), 67–74. <https://doi.org/10.52939/ijg.v19i3.2607>
- 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, 66–80.
- Mohajane, M., Costache, R., Karimi, F., Pham, Q. B., Essahlaoui, A., Nguyen, H., ... & Oudija, F. (2021). Application of remote sensing and machine learning algorithms for forest fire mapping in a Mediterranean area. *Ecological Indicators*, 129, 107869.
- Nasery, S. ve Kalkan, K. (2020). Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The case of Karabağlar district, İzmir/Turkey.

- Turkish Journal of Geosciences, 1(2), 72-77. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/turkgeo/issue/56822/770803>
- 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>
- Nolè, A., Rita, A., Spatola, M. F. ve Borghetti, M. (2022). Biogeographic variability in wildfire severity and post-fire vegetation recovery across the European forests via remote sensing-derived spectral metrics. *Science of The Total Environment*, 823, 153807. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153807
- O. G. M. (2023). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü 2022 Yılı Faaliyet Raporu, <https://www.ogm.gov.tr/tr/faaliyet-raporu>. Erişim tarihi: 05.05.2024
- Özdemir, F. B., & Demir, N. (2022). 2019 İzmir Karabağlar İlçesi Orman Yangın Alanının Uydu Görüntüleri İle Analizi. *Türk Uzaktan Algılama Ve CBS Dergisi*, 3(1), 20-33. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1009319>
- Rouse Jr JW., Haas RH., Schell JA., & Deering DW. (1974). *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with Ert. NASA Spe. Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space*, 351: 309.
- 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>
- Selim, S., Çoşlu, M., Sönmez, N. K., & Karakuş, N. (2016). Köyceğiz Gölü ve Dalyan kanallarında kıyı kenar çizgisinin UA ve CBS Teknikleri ile belirlenmesi, Alanda Karşılaşılan Sorunlar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(2), 254-260.
- Smith, A., Drake, N., Wooster, M., Hudak, A., Holden, Z. & Gibbons, C. (2007). Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: Comparison of methods and application to MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 2753-2775. doi:10.1080/01431160600954704
- Sunar, F. & Özkan, C. (2001). Forest fire analysis with remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 22(12), 2265-2277. doi: 10.1080/014311601300229818.
- Tonbul, H., Kavzoglu, T. & Kaya, S. (2016). Assessment of fire severity and post-fire regeneration based on topographical features using multitemporal Landsat imagery: A case study in Mersin, Turkey. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, B8. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B8-763-2016.
- Tuna Tuygun, G., İşsever, G., & Elbir, T. (2023). Türkiye'de 2021 Yılında Yaşanan Büyük Orman Yangınlarında Yanan Orman Alanlarının ve Yangın Kaynaklı Atmosferik Aerosollerin Uydular ile İzlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 25(74), 351-369. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2023257408>.
- Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten, W. W. & Goossens, R. (2010). The temporal dimension of differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) fire/burn severity studies: The case of the large 2007 Peloponnese wildfires in Greece. *Remote Sensing of Environment*, 114(11), 2548-2563. doi: 10.1016/j.rse.2010.05.029
- Vlassova, L., Pérez-Cabello, F., Mimbbrero, M. R., Llovería, R. M. & García-Martín, A. (2014). Analysis of the relationship between land surface temperature and wildfire severity in a series of landsat images. *Remote Sensing*, 6(7), 6136-6162. doi: 10.3390/rs6076136
- Yaman, Ş., & Tunç Görmüş, E. (2022). Orman Zararlılarının Verdiği Zararın Google Earth Engine Kullanılarak İzlenmesi. *Türk Uzaktan Algılama Ve CBS Dergisi*, 3(2), 139-149. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1116907>
- Yılmaz O.S., Oruç M.S., Ateş A.M., & Gülgen F. (2021). Orman Yangın Şiddetinin Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Analizi: Hatay-Belen Örneği. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2): 1519-1532.
- Yılmaz, B., Demirel, M., & Balçık, F. (2022). Yanmış Alanların Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI ile Tespiti ve Analizi: Çanakkale/Gelibolu Orman Yangını. *Doğal Afetler Ve Çevre Dergisi*, 8(1), 76-86. <https://doi.org/10.21324/dacd.941456>
- Yılmaz, O. S. (2023). Uzaktan Algılama Teknikleri ile Su Yüzeylerinin Tespit Edilmesinde Kullanılan Su Çıkarma İndekslerinin Performans Analizi. *Türk Uzaktan Algılama Ve CBS Dergisi*, 4(2), 242-261. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1256092>
- You, N., & Dong, J. (2020). Examining earliest identifiable timing of crops using all available Sentinel 1/2 imagery and Google Earth Engine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 161, 109-123.
- Yücer, E., (2023). Sentinel-2 MSI ve Landsat-9 OLI Uydu Görüntüleriyle Yanmış Alanların Tespit: 2022 Muğla/Marmaris Orman Yangını. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 866-880.
- Zadbagher, E., Marangoz, A. M., & Becek, K. (2023). Characterizing and estimating forest structure using active remote sensing: An overview. *Advanced Remote Sensing*, 3(1), 38-46.
- Zhou, X., Mahalingam S., Weise, D., (2007). Experimental study and large eddy simulation of effect of terrain slope on marginal burning in shrub fuel beds. *Proceedings of the Combustion Institute*, 31: 2547-2555.



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>