



Uzaktan algılama yöntemleri ile yangın şiddetinin tespiti: Yunanistan Rodos Adası orman yangını örneği

Gizem Eyi ^{*1}, İlkyay Buğdaycı ²

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye, gizemeyi1425@gmail.com

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, ibugdayci@erbakan.edu.tr

Kaynak Göster: Eyi, G., & Buğdaycı, İ. (2024). Uzaktan algılama yöntemleri ile yangın şiddetinin tespiti: Yunanistan Rodos Adası orman yangını örneği. Geomatik, 9 (3), 348-360

DOI: 10.29128/geomatik.1481708

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
Coğrafi Bilgi Sistemleri
(CBS)
Spektral İndeksler
Orman Yangını
Landsat-8

Araştırma Makalesi

Geliş: 10.05.2024
Revize 1: 16.06.2024
Revize 2: 01.07.2024
Kabul: 15.07.2024
Çevrim İçi Yayınlanma:
17.10.2024



Öz

Küresel ısınma, artan nüfus ve susuz topraklar, orman yangınlarının sıklığını ve şiddetini artırmaktadır. Küresel ısınma sıcaklıkları yükseltir ve kuraklıkları uzatarak ormanları yangına daha duyarlı hale getirir. Artan nüfus, ormanları yerleşim ve tarım için baskı altında tutar, yangın riskini artırır. Susuz topraklar ve bitki örtüsü kolayca tutuşarak yangınların yayılmasını hızlandırır. Yangınların ardından, hasar tespiti ve yeşillendirme çalışmaları önemlidir. Bu çalışma, 18 Temmuz 2023'te Rodos Adası'ndaki orman yangınının bitki örtüsüne etkisini incelemektedir. Landsat 8 uydu görüntüleriyle yapılan spektral analizlerle, yangının bitki örtüsüne verdiği hasar tespit edilmiştir. NBR (Normalized Burn Ratio) indeksi, yangın öncesi ve sonrası bitki örtüsündeki değişimi belirlemiştir. Yanmış alan, dNDVI ve dNBR kullanılarak hesaplanmıştır. dNDVI, bitki örtüsünün sağlığını ölçerken, dNBR yangın öncesi ve sonrası yanmış alanları belirler. Yanmış alan, dNDVI ile 16.037 ha ve dNBR ile 17.678 ha olarak hesaplanmış, iki yöntem uyumlu sonuçlar vermiştir. Yanmış alan, habitat kaybı, biyolojik çeşitliliğe olumsuz etkiler ve toprak erozyonu gibi önemli ekolojik sonuçlar doğurur. Bu analizler, ekosistemin iyileşme sürecini planlamak ve uygun restorasyon stratejileri geliştirmek için gereklidir.

Determination of fire severity with remote sensing methods after forest fire Greece Rhodes Island forest fire case study

Keywords

Remote sensing
Geographic Information
System (GIS)
Spectral Indices
Forest Fire
Landsat-8

Research Article

Received: 10.05.2024
Revised 1: 16.06.2024
Revised 2: 01.07.2024
Accepted: 15.07.2024
Online Published:
17.10.2024

Abstract

Global warming, increasing population, and parched soils are escalating the frequency and intensity of forest fires. Global warming raises temperatures and extends droughts, making forests more susceptible to fires. A growing population pressures forest areas for settlement and agriculture, increasing fire risk. Dry soils and vegetation ignite easily, accelerating fire spread. After fires, damage assessment and reforestation are crucial. This study examines the impact of the July 18, 2023, forest fire on Rhodes Island's vegetation. Using spectral analyses of Landsat 8 images, the fire's damage to vegetation was assessed. The NBR (Normalized Burn Ratio) index determined pre- and post-fire vegetation changes. The burned area was calculated using dNDVI and dNBR. While dNDVI measures vegetation health, dNBR detects burned areas before and after a fire. The burned area was 16.037 ha using dNDVI and 17.678 ha using dNBR, showing consistent results. The burned area signals significant ecological consequences like habitat loss, negative impacts on biodiversity, and increased soil erosion. These analyses are essential for planning ecosystem recovery and developing appropriate restoration strategies after a fire.

1. Giriş

Orman yangınları, küresel ölçekte ekolojik dengeyi tehdit eden en ciddi doğal afetlerden biri haline gelmiştir. Günümüzde doğal afetlerin, özellikle orman yangınlarının artan sıklığı ve şiddeti, ekosistemlere ve insan yerleşim alanlarına ciddi zararlar vererek çevresel kaygıları artırmaktadır (Pausas ve Vallejo, 1999; Gitas ve ark., 2012; FAO, 2022). Son yıllarda dünya genelinde orman yangınlarının artışı dikkat çekici boyutlara ulaşmıştır. Örneğin, 2022 yılında dünya çapında kaydedilen orman yangını sayısının %15 arttığı ve bu yangınların etkilediği alanın yaklaşık olarak 10 milyon hektar olduğu bilinmektedir (FAO, 2023). İklim değişikliği, kentsel yayılma ve nüfus artışının etkileri birleştiğinde, orman yangınlarının sıklığı, yoğunluğu ve etki alanı gözle görülür bir şekilde genişlemektedir. Yangın sonrası meydana gelen değişimler, bitki örtüsü tipine, yıllık sıcaklık farklılıklarına ve yangın sonrası toplam süreye bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Lentile ve ark., 2006). Ekosistemlerin yapı taşı olan ormanlar, yangınlar sonucunda tahrip olarak hem biyolojik çeşitlilik hem de karbon depolama kapasitesi açısından büyük kayıplar yaşamaktadır, bu da gezegenimiz için uzun vadeli olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Orman yangınları, sadece doğal ekosistemlere değil aynı zamanda çevresel ve sosyo-ekonomik açıdan da önemli etkilere sahiptir. Yangınlar sonucunda oluşan biyolojik çeşitlilik kaybı, karbon emisyonlarının artması ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi çevresel etkiler yanında, tarım alanlarının zarar görmesi, insan yerleşimlerinin tehdit altında olması ve ekonomik kayıplar gibi sosyo-ekonomik sonuçlar da görülebilmektedir. Özellikle yangınların sıklığı ve şiddetindeki artış, bu etkilerin daha da belirgin hale gelmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, orman yangınlarının yönetimi ve kontrolü sadece doğal kaynakların korunması açısından değil, aynı zamanda toplumların ve ekonomilerin de korunması bakımından da kritik öneme sahiptir.

Orman yangınlarının tespiti ve verdiği hasarın değerlendirilmesinde geleneksel yöntemler, sıklıkla zaman alıcı ve maliyetli olmakla birlikte insan hatasına yatkınlığından dolayı verimli sonuçlar sağlamamaktadır (Barmpoutis ve ark., 2020). Bu nedenle, orman yangınlarının kontrol altına alınmasının ardından, yangının etkilerini anlamak, hasar tespiti yapmak ve yeniden yeşillendirme çalışmalarını yönlendirerek ekolojik dengeyi yeniden sağlamak için daha etkili çözümler arayışını teşvik etmektedir (Turco ve ark., 2014; Öztürk ve ark., 2021; Avestisyan ve ark., 2023). Yangınları takip eden yenileme çalışmaları, yangınların büyük ölçekli olduğu durumlar ile doğal ve insan kaynaklı tehlikelerin varlığının yarattığı karmaşık etkiler, yanan alanın haritalanması ve sınıflandırılması için uzaktan algılama tekniklerine başvurulmasını zorunlu bir hale getirmiştir. Uzaktan algılama teknikleri ile geleneksel yöntemlerde kaybedilen zaman ve maliyetten tasarruf sağlanabilmektedir (Yüksel, 2022). Bu bağlamda, uzaktan algılama teknolojileri, yangınların hızlı ve doğru bir şekilde tespiti edilmesi, yangın sonrası ekosistem değerlendirmesi ve stratejik planların oluşturulmasında kritik bir rol oynamaktadır (Koutsias

ve Karteris, 2000; Key ve Benson, 2006; Sabuncu ve Özener, 2019; Polat ve Kaya, 2021).

Orman yangınlarının tespiti, değerlendirilmesi ve yenileme çalışmalarında uydulardan elde edilen çok bantlı görüntüler sıklıkla kullanılmaktadır. Çok bantlı uydu görüntüleri, hızlı veri sağlayarak yangın şiddeti hakkındaki yersel olarak temin edilen bilgileri desteklemede önemli bir rol oynamaktadır (Polat ve Kaya, 2021). Orman yangınlarının uzaktan algılanması görünür dalga boyu ve/veya kızılötesi görüntülerin insanlar tarafından yorumlanmasını içermektedir (Brumby ve ark., 2001). Uzaktan algılama teknikleri ile elde edilen uydu görüntülerine uygulanmakta olan piksel veya obje tabanlı sınıflandırma teknikleri ile yanmış alanların tespit edilmesine yönelik birçok çalışma günümüzde literatürde yer almaktadır (White ve ark., 1996; Xiao-ruı ve ark., 2005; Dilekçi ve ark., 2021; Alkayış ve ark., 2022; Avestisyan ve ark., 2022; Çoşkun ve Toprak, 2023). Yangın sırasında ve sonrasında Landsat uyduları etkin değerlendirilmesi aşamasında Landsat uyduları dahil olmak üzere çeşitli uçak ve uydu tabanlı sensörlerden veriler temin edilebilmektedir (Brumby ve ark., 2001). Uçak ve uydu tabanlı sensörlerden elde edilen uzaktan algılama görüntülerine spektral indeksler uygulanarak çeşitli analizler yapılabilmektedir. En sık kullanılan indekslerden, NDVI indeksi, kırmızı bantın klorofil emilimini ve yakın kızılötesi bantın bitki yoğunluğunu iyi derecede yansıtmasından yararlanarak vejetasyon hakkında bilgi sağlarken, NBR indeksi yanmış alanların belirlenmesinde yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bantlarını kullanmaktadır (Sabuncu ve Özener, 2019; Yüksel, 2022). NDVI(Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi), NBR(Normalize Yanma Oranı), SAVI(Toprak Ayarlı Bitki İndeksi), MIRBI(Restore Edilmiş ve Yanmış Alanlar için Nem İndeksi), BAI(Yanmış Alan İndeksi) gibi spektral indeksler kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları, yangın sonrası alanlardaki hasarı belirleme ve bitki örtüsünün sağlığını değerlendirme konusunda uzaktan algılama tekniklerinin etkili bir araç olduğunu göstermektedir (Avestisyan ve ark., 2023).

Bu makalede, 18 Temmuz 2023 tarihinde Yunanistan'ın Rodos adasında gerçekleşen ve 6 günden fazla sürerek adanın yaklaşık %10'unu etkileyen orman yangınının bitki örtüsüne verdiği hasarın tespit edilmesinde uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen verilerin etkinliğini incelemektedir. Yangın özellikle Lardos, Kiotari ve Asklipio köyleri yakınlarında yoğun tahribata neden olarak 2.000' den fazla kişinin deniz yoluyla tahliye edilmesine sebep olmuştur (URL-1).

Yangın, adanın dağlık merkezlerinden, rüzgarlar ve yüksek sıcaklıkların etkisi ile adanın orta doğu kıyılarına kadar yayılmıştır. Turizm sezonunun yoğun olduğu dönemde meydana gelen bu yangın, turistlerin tahliye edilmesi ve birçok turistik tesisin zarar görmesi sebebi ile Rodos'un turizm gelirlerinde önemli kayıplara yol açmıştır. Ayrıca, yangın sırasında zarar gören tarım alanları ve yerleşim bölgeleri, yerel halkın geçim kaynakları üzerinde de olumsuz etkiler yaratmıştır. Sonuç olarak, bu yangın, Rodos'un doğal çevresini etkilediği gibi turistik ve ekonomik yapısına da zarar vermiştir(URL-1).

Uzaktan algılama teknikleri ile elde edilen yangın öncesi ve sonrası görüntülere NBR, NDVI, MIRBI, BAI gibi

çeşitli uzaktan algılama indeksleri uygulanarak orman yangını sonrası ekosistemde meydana gelen hasar tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, yangın öncesi ve sonrası görüntüler arasındaki farkı hesaplayarak bitki örtüsündeki hasarın şiddetini belirlemeyi amaçlamaktadır. Özellikle, NBR indeksinin, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bant görüntülerini kullanarak yangın sonrası alanlardaki hasarı belirleme ve bitki örtüsünün sağlığını değerlendirme konusunda sağladığı güvenilirliğe vurgu yapılmaktadır.

Bu çalışma, sadece mevcut orman yangını olayını incelemekle kalmayıp aynı zamanda yangın sonrası ekosistem değerlendirmesi ve doğal afetlere hazırlık konularında genel bilgi birikimini artırmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, gelecekte benzer olaylara daha iyi hazırlanmak için stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu araştırma, ilgili tüm sektörler ve paydaşlar için değerli iç görüler sunarak, gelecekteki afet müdahale stratejilerinin şekillendirilmesine ışık tutmaktadır.

2. Yöntem

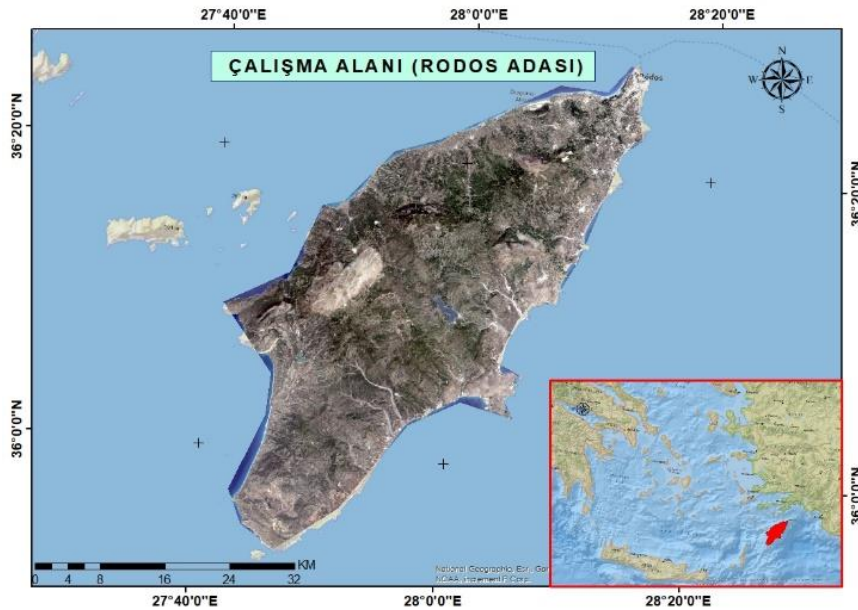
2.1. Çalışma alanı

Akdeniz bölgesi, iklimi, bitki örtüsü ve coğrafi konumuyla bilinen bir yangın tehlikesi bölgesidir. İklim değişikliği etkisiyle kuraklık ve yüksek sıcaklıkların sıklıkla yaşandığı bu bölgede, orman yangınlarının sıklığı ve şiddeti giderek artmaktadır (Turco ve ark., 2014). Özellikle yaz aylarında yoğunlaşan bu yangınlar, biyoçeşitlilik kaybına, ekosistem bozulmalarına ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Yunanistan, Akdeniz'in önemli bir parçası olan bir ülke olup, özellikle Yunanistan'ın adaları yangın tehlikesine karşı savunmasızdır ve sık sık yangınların hedefi haline gelmektedir (Climate Change 2022: Mitigation of Climate

Change, 2022). Bu yangınlar, sadece doğal ekosistemlere zarar vermekle kalmayıp, aynı zamanda tarım alanları, yerleşim birimleri ve ekonomik kaynaklar üzerinde de ciddi olumsuz etkilere yol açmaktadır.

2023 yılı Yunanistan orman yangınları, 17 Temmuz' da başlamış ve ülke genelinde büyük çaplı tahribata yol açmıştır. Özellikle Rodos Adası'nda 18 Temmuz' da başlayan yangın, aşırı sıcaklıklar ve kurak hava koşulları nedeniyle hızla yayılmıştır. Adadaki yangın, sıcaklıkların 45°C'ye kadar yükseldiği ve şiddetli rüzgarların etkisiyle geniş alanlara yayıldığı bir dönemde meydana gelmiştir. Yangın, dört ana yerleşim bölgesinin boşaltılmasına neden olmuş ve yaklaşık 2.000 kişi güvenli bölgelere tahliye edilmiştir. Rodos'taki yangın, adanın özellikle batı kesimlerinde yoğunlaşmış ve geniş ormanlık alanların yanı sıra tarım arazileri ve turistik bölgeleri de etkilemiştir. Bu yangın, yaklaşık 13.000 hektarlık bir alanı kapsayarak, hem doğal ekosistem üzerinde ciddi zararlar yaratmış hem de yerel ekonomi üzerinde olumsuz etkiler bırakmıştır. Orman yangınlarının ardından bitki örtüsünün ne kadar sürede iyileşeceği, yangının şiddetine, etkilediği bitki türlerine ve bölgenin ekolojik koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genellikle, yangının şiddetine bağlı olarak bitki örtüsünün iyileşmesi yıllar hatta on yıllar alabilmektedir.

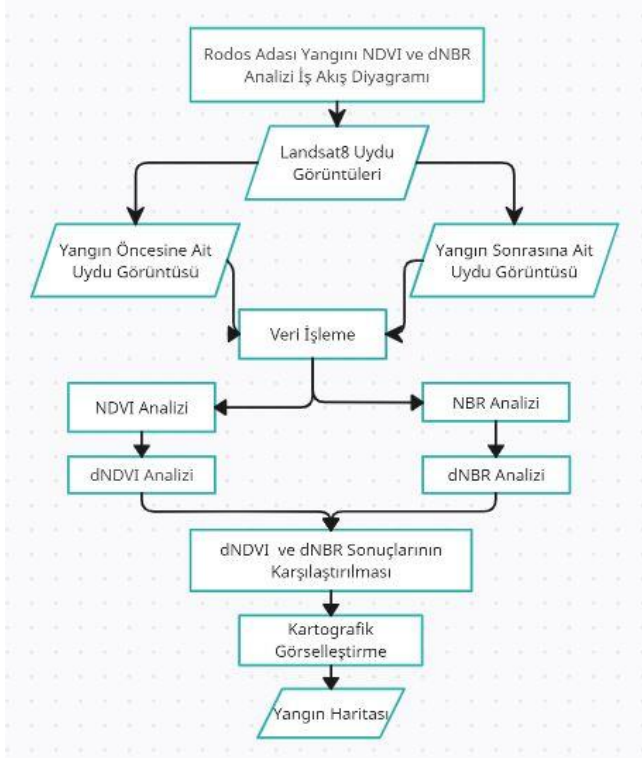
Çalışma alanı Rodos (Şekil 1), Yunanistan'a ait, On İki Adalardan en büyüğü olan bir adadır. Adanın idari merkezi, ada ile aynı isimli Rodos'tur. Şekli mızrak ucuna benzeyen adanın, 79,7 km uzunluk ve 38 km genişlik ile toplam alanı yaklaşık 1.398 km², sahil şeridi ise yaklaşık 220 km'dir. Yarı kurak, sıcak yaz mevsimli Akdeniz iklimine sahip Rodos adasının ana kayası kireçtaşı olup, sahiller kayalıktır ve adanın iç kesimleri ekilebilir verimli topraklara sahiptir (URL-2). Adanın en yüksek noktası olan Attaviros Dağı 1.216 m rakımlı olup, adanın ana gelir kaynağı turizmdir (URL-3).



Şekil 1. Çalışma alanı.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada, uzaktan algılama teknikleri ile elde edilen Landsat 8 uydu görüntüleri yardımıyla orman yangınının bitki örtüsünde yarattığı tahribatın tespit edilmesi ve görselleştirilerek haritalanması hedeflenmiş olup, çalışmanın metodolojisi Şekil 2' de verilmiştir. İş akış şemasında görüldüğü gibi öncelikle orman yangınının meydana getirdiği değişimi belirlemek için yangın öncesi ve yangın sonrası uydu görüntüleri temin edilmiştir (URL-4). Ardından, çalışma alanı belirlenerek görüntüler üzerinde sağlıklı ve sağlıklı bitkilerin tespiti için çeşitli spektral indeksler uygulanmış, bu spektral indeksler karşılaştırılarak test edilmiş ve son olarak, uygulanan spektral indeksler görselleştirilerek yangın öncesi ve sonrası haritaları üretilmiştir. Bu sürecin daha iyi anlaşılması için Şekil 2' de kullanılan metodolojiyi ve adımları detaylandıran iş akış diyagramı sunulmuştur.



Şekil 2. Uygulanan iş akış diyagramı.

2.3. Veri kaynakları

Çalışma alanında meydana gelen orman yangınının bitki örtüsü üzerinde yarattığı değişimin spektral analizlerinde, yüksek spektral çözünürlük, düzenli zaman aralıklarında görüntüleme, yüksek mekansal çözünürlük ve ücretsiz veri sağlama avantajlarından dolayı Landsat-8 uydusundan elde edilen görüntüler kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan, 1972 yılında uzaya gönderilen ve ilk uzaktan algılama uydusu olan Landsat uydusunun ilk dönem uydularından sonra yörüngeye oturtulan Landsat 8 uydu görüntüleri, United States Geological Survey [1] sitesinden online olarak elde edilmiştir (Zabcı, 2021; Alevkayalı ve ark., 2023). 11 Şubat 2013 yılında yörüngeye yerleştirilen Landsat 8, çerçevesi 170 km kuzey-güney ve 183 km doğu batı olan, OLI (Operational Land Imager) ile TIRS (Thermal

Infrared Sensor) olmak üzere iki adet sensör içerir (Turoğlu, 2020).

Operasyonel arazi görüntüleyici (OLI), aerosol (bant 1), mavi (bant 2), yeşil (bant3), kırmızı (bant 4), NIR (bant 5), SWIR-1 (bant 6), SIWIR-2 (bant 7), pankromatik (bant 8) ve cirrus (bant 9) olmak üzere 9 spektral bant oluşturmaktadır.

Termal kızıl ötesi sensör (TIRS) ise bant 10 ve bant 11 (uzun dalga boyu kızılötesi) olmak üzere 2 termal bant oluşturmaktadır. TIRS, ilk olarak Landsat 8' de kullanılmaya başlanmıştır.

Landsat 8, böylece toplamda 12 bant içermektedir fakat termal bantlarından olan 11. Bantın doğru görüntü alamadığı belirlenmiştir. Bu uydudan elde edilen 100 m konumsal çözünürlüğe sahip 10. bant yüzey sıcaklığı üretebilmekte ve diğer bantların kombinasyonları ile NDVI, NDBI, NBR gibi birçok çevresel değişkene ulaşabilmektedir (Yılmaz ve ark., 2021). Landsat 8 görüntüsüne ait bantlar Tablo 1' de görülmektedir.

Bu çalışmada Tablo 2' de gösterilen tarihlere algılanan Landsat 8 uydu görüntüleri, Rodos Adası sınırları belirlenerek uydu görüntüleri üzerinden kesilmiştir.

Rodos adasına ait yangın öncesi (10.07.2023) ve yangın sonrası (03.08.2023) Landsat 8 bantları kullanılarak oluşturulmuş doğal renkli (R:4, G:3, B:2) görüntüler Şekil 3 ve Şekil 4' de görülmektedir.



Şekil 3. Orman yangınının gerçekleştiği alana ait yangın öncesi (10.07.2023) uydu görüntüsü.



Şekil 4. Orman yangınının gerçekleştiği alana ait yangın sonrası (03.08.2023) uydu görüntüsü.

Tablo 1. Landsat-8 uydusuna ait bantlar.

Bantlar	Açıklama	Dalga Boyu	Çözünürlük
Bant 1	Aerosol	0,433 - 0,453 um	30 metre
Bant 2	Mavi	0,450 - 0,515 um	30 metre
Bant 3	Yeşil	0,525 - 0,600 um	30 metre
Bant 4	Kırmızı	0,630 - 0,680 um	30 metre
Bant 5	NIR	0,845 - 0,885 um	30 metre
Bant 6	SWIR-1	1,56 - 1,66 um	30 metre
Bant 7	SWIR-2	2,10 - 2,30 mm	60 metre
Bant 8	Pankromatik	0,50 - 0,68 um	15 metre
Bant 9	Cirrus	1,36 - 1,39 mm	30 metre
Bant 10	TIRS-1	10,3 - 11,3 mm	100 metre
Bant 11	TIRS-2	11,5 - 12,5 mm	100 metre

Tablo 2. Kullanılan görüntülere ait bilgiler.

Çalışma Alanı	Tarih	Açıklama
Rodos Adası	10.07.2023	Orman yangını öncesi
Rodos Adası	03.08.2023	Orman yangını sonrası

2.4. Spektral indeksler

Literatürde, yanmış alanların tespiti ve değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan NDVI, NBR, MIRBI, BAI gibi spektral indeksler yanmış bölge için ayrı ayrı uygulanarak sonuç görüntüler karşılaştırılmıştır. Spektral indekslerin uygulanması aşamasındaki tüm işlemler ArcGIS yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (\text{Tucker, 1979}) \quad \text{Eş.1}$$

$$NBR = \frac{(NIR-SWIR)}{(NIR+SWIR)} \quad (\text{Key ve Benson, 2006}) \quad \text{Eş.2}$$

$$MIRBI = (10 \times LSWIR) - (9.8 \times SSWIR) + 2 \quad (\text{Flasse ve Trigg, 2001}) \quad \text{Eş.3}$$

$$BAI = \frac{1}{(0.1-RED)^2 + (0.06+NIR)^2} \quad (\text{Chuvieco ve ark., 2002}) \quad \text{Eş.4}$$

2.4.1. Çalışma alanına ait NDVI analizleri

NDVI, uydular aracılığıyla yeryüzüne gönderilen elektromanyetik dalgalara bölgenin verdiği yanıtları değerlendirerek bitki yoğunluğunu belirten bir indekstir. İnsan tarafından belirlenmesi zor ve maliyetli olan bitki örtüsü haritası, görünür bant ve kızılötesi bant bölgesindeki elektromanyetik dalgalar göz önüne alınarak bitki yoğunluğu belirlenebilmektedir (Esandal Bozkurt ve ark., 2018).

Yangın öncesine ve sonrasına ait uydu görüntüleri kullanılarak Rodos adasının yangın öncesine ve yangın sonrasına ait fark bitki indeksi (NDVI) hazırlanmıştır. Yangının gerçekleştiği Rodos Adasının orman yangını sonrası bitki örtüsündeki değişim analiz edilmiştir.

Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) hesaplanırken, Landsat 8 görüntüsüne ait 5. bant olan yakın kızılötesi (NIR) ve 4. bant olan kırmızı (Red) bantları kullanılmaktadır. Sağlıklı bitkiler yakın kızılötesi bantı (NIR) güçlü bir şekilde yansıtırken, kırmızı bantı büyük ölçüde soğurur. Bu iki bant arasındaki yansıtma ve soğurma farkı, bitki yoğunluğunu ve sağlığını doğru bir şekilde belirlemeyi mümkün kılmaktadır.

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (\text{Tucker, 1979}) \quad \text{Eş.1}$$

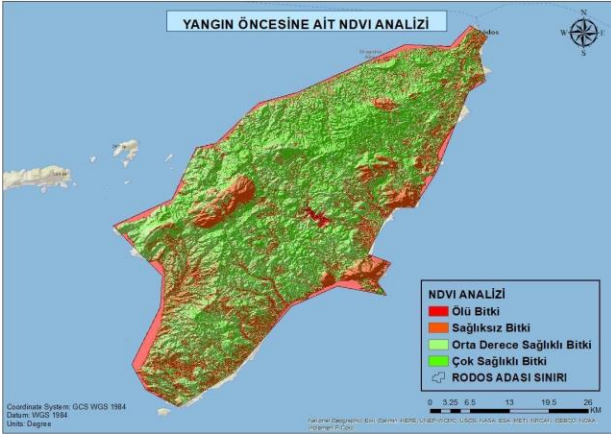
Orman yangınının bitki örtüsündeki tahribatını görünür kılmak amacıyla yangın öncesi ve yangın sonrası için Rodos Adasının bitki örtüsü üzerinde ayrı ayrı NDVI analizi yapılmıştır.

Rodos Adası'nın orman yangınından önceki dönemdeki bitki örtüsü sağlığı ve yoğunluğu Şekil 5' de görülmektedir. Sağlıklı bitkilerin NDVI değerleri yeşil renkler, daha seyrek veya stres altındaki bitki örtüsünün NDVI değerleri ise kırmızı ve turuncu tonları ile temsil edilmektedir. Rodos Adası'nın geniş alanlarında yüksek NDVI değerleri (yeşil renkler) gözlemlenmekte olup, bu bölgelerde sağlıklı ve yoğun bir bitki örtüsü bulunmaktadır.

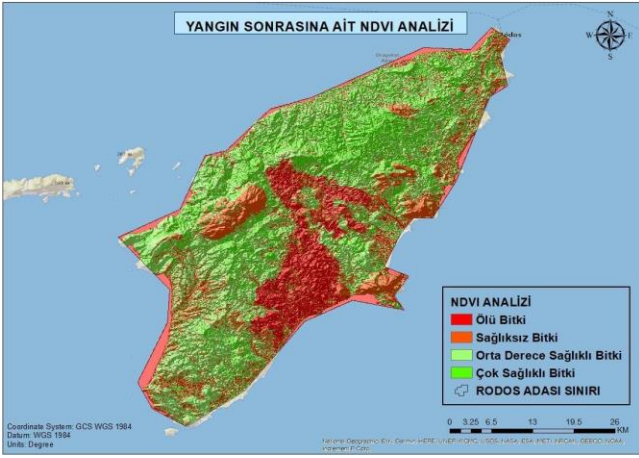
Rodos Adası'nın orman yangınından sonraki dönemdeki bitki örtüsü sağlığı ve yoğunluğu Şekil 6' da görülmektedir. Yangın sonrası NDVI değerlerinde belirgin bir düşüş gözlemlenmektedir; haritada daha fazla düşük NDVI değerleri (turuncu ve kırmızı tonları) yer almakta olup, bu da bitki örtüsünün yoğunluğunun ve sağlığının ciddi şekilde azaldığını işaret etmektedir. Özellikle yoğun yangın alanında, NDVI değerleri önemli ölçüde düşük seviyelerde olup, bu bölgeler ciddi tahribat görmüştür.

NDVI analizleri iki tarih için de ayrı ayrı yapıldıktan sonra orman yangını öncesi ve orman yangını sonrasına ait NDVI analizlerinin farkı alınarak bitki örtüsünde meydana gelen değişimin yoğun olduğu bölgenin tespiti için dNDVI görüntüsü elde edilmiştir.

$$dNDVI = (\text{yangın öncesi NDVI}) - (\text{yangın sonrası NDVI}) \quad \text{Eş.5}$$



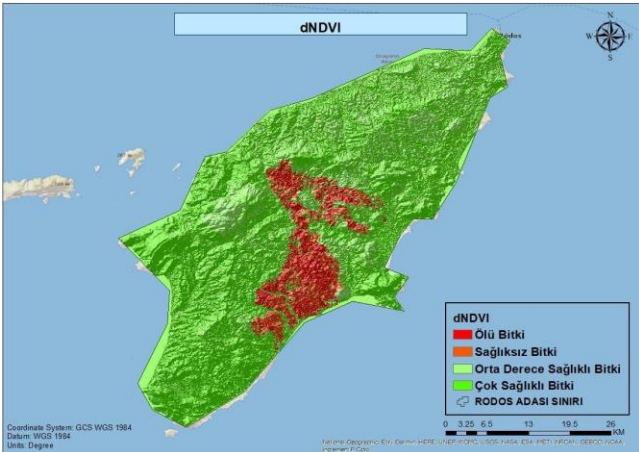
Şekil 5. Yangın öncesine (10.07.2023) ait normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) haritası.



Şekil 6. Yangın sonrasında (03.08.2023) ait normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) haritası.

dNDVI analizi sonucu oluşan çıktı görüntü (Şekil 7) incelendiğinde yeşil alanlar bitki örtüsündeki değişimin en az olduğu yani çok sağlıklı bitki örtüsüne sahip alanlar, kırmızı alanlar ise bitki örtüsündeki değişimin en yoğun olduğu yani yangın sonrası ölen bitkilerin alanları görülmektedir.

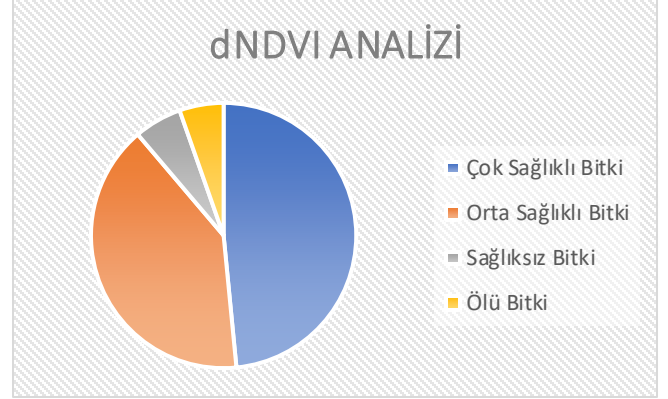
Tablo 3 ve Şekil 8 incelendiğinde, dNDVI analizi sonucu toplam 16.037 ha alanın hasar aldığı görülmektedir.



Şekil 7. dNDVI analizi sonucu oluşan harita.

Tablo 3. dNDVI analizi sonuçları.

dNDVI	Alan(ha)	Oran
Çok Sağlıklı Bitki	69,347	48.46
Orta Sağlıklı Bitki	57,729	40.34
Sağlıksız Bitki	8,330	5.82
Ölü Bitki	7,707	5.38



Şekil 8. dNDVI analizine ait grafik.

2.4.2. Çalışma alanına ait NBR analizleri

NBR, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) kullanılarak, yanmış alanların tespiti için kullanılan indekstir. Yanan alanlar yakın kızılötesi (NIR)' de düşük yansımaya sahipken, kısa dalga kızılötesi (SWIR)' de yüksek yansımaya değerlerine sahiptir ve bu iki dalga boyu arasındaki fark alınarak yanma durumu hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir (URL-5).

Rodos Adası yangını öncesi ve sonrası uydu görüntüleri ile NDVI analizi yapılarak bitki örtüsündeki değişimin yoğun olduğu bölgeler analiz edilmiş daha sonra normalize edilmiş yanma şiddeti (NBR) hesaplanmıştır.

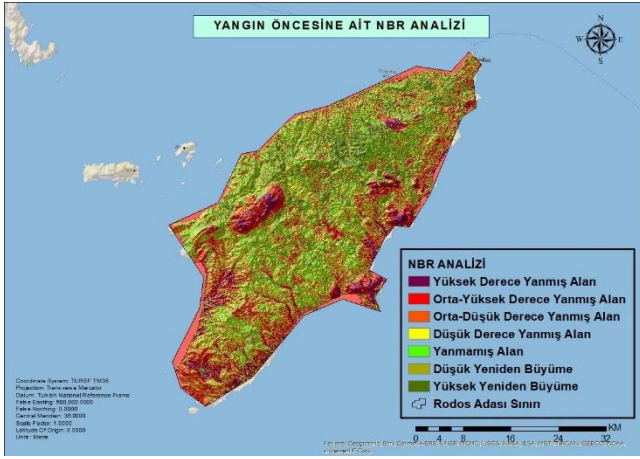
Normalize edilmiş yanma şiddeti analizi yapılırken Landsat 8 uydu görüntüsüne ait 5.bant olan yakın kızılötesi (NIR) ve 7. bant olan kısa dalga kızılötesi (SWIR) kullanılmıştır.

$$NBR = \frac{(NIR-SWIR)}{(NIR+SWIR)} \quad (\text{Key ve Benson, 2006}) \quad \text{Eş.2}$$

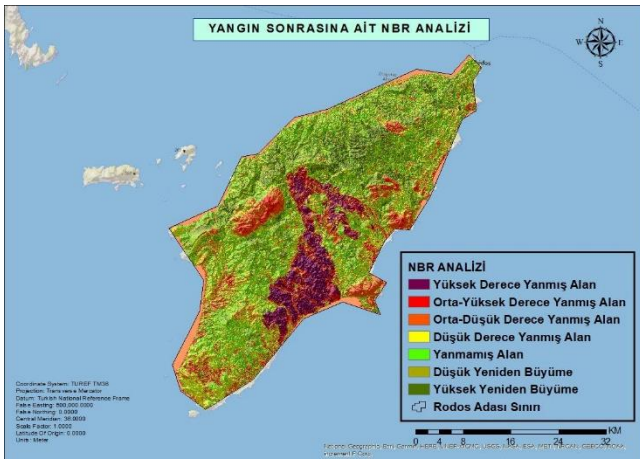
Orman yangınının gerçekleştiği bölgede, yangın öncesi ve yangın sonrası için ayrı ayrı NBR hesabı yapılmıştır.

Yangın öncesi ve sonrasında ait NBR analizlerinin farkı alınarak, orman yangınının bitki örtüsüne verdiği hasarı tespit etmek için dNBR görüntüsü elde edilmiştir. dNBR analizi sonucu elde edilen çıktı görüntü (Şekil 11) gösterilmiştir.

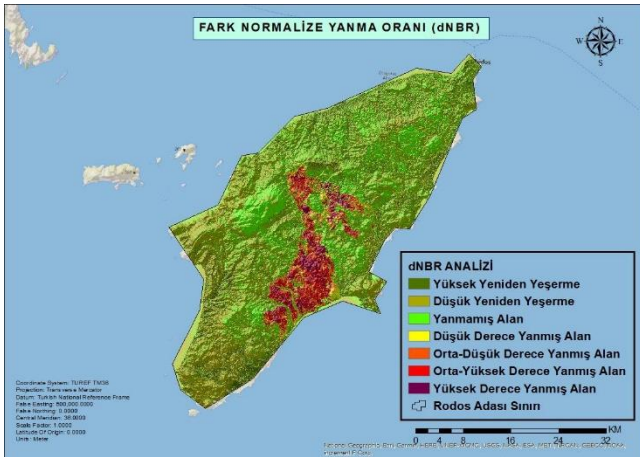
$$dNBR = (\text{yangın öncesi NBR}) - (\text{yangın sonrası NBR}) \quad \text{Eş.6}$$



Şekil 9. Yangın öncesine (10.07.2023) ait normalize edilmiş yanma şiddeti (NBR) haritası.



Şekil 10. Yangın sonrasına (03.08.2023) ait normalize edilmiş yanma şiddeti (NBR) haritası.

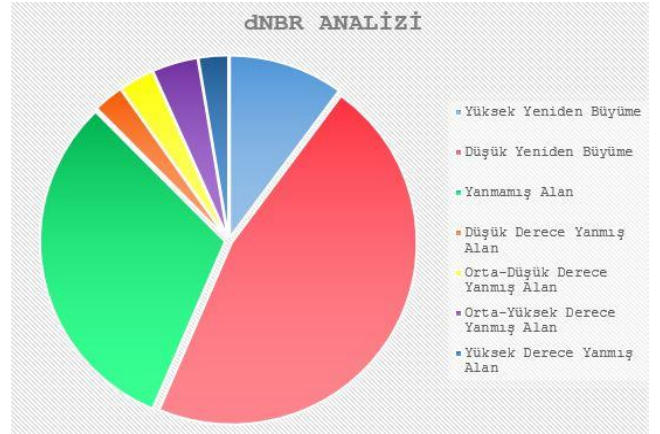


Şekil 11. dNBR analizi sonucu oluşan harita.

dNBR analizi sonucu elde edilen sonuç görüntü analiz edildiğinde, mor alanlar yüksek şiddette yanan ve tahribatın çok yoğun olduğu alanlar, turuncu alanlar orta şiddette yanmış alanlar, sarı alanlar düşük şiddette yanmış ve yeşil alanlar ise yanmamış alanlar olduğu görülmektedir. Açık yeşil alanlardan koyu yeşil alanlara gidildikçe, bitki örtüsündeki yeniden büyüme hızı anlaşılmaktadır.

Tablo 4. dNBR analizi sonuçları.

NBR	Alan(ha)	Oran
Yüksek Yeniden Büyüme	14,393	10.06
Düşük Yeniden Büyüme	66,362	46.37
Yanmamış Alan	44,679	31.22
Düşük Derece Yanmış Alan	3,781	2.64
Orta-Düşük Derece Yanmış Alan	4,431	3.10
Orta-Yüksek Derece Yanmış Alan	5,737	4.01
Yüksek Derece Yanmış Alan	3,729	2.61



Şekil 1. dNBR analizine ait grafik.

Tablo 4 ve Şekil 12 incelendiğinde, yapılan dNBR analizi sonucu orman yangını sonrası tahrip olan alanın toplam 17.678 ha olduğu görülmektedir.

2.4.3. Çalışma alanına ait MIRBI analizleri

Orta Kızılötesi Yanma İndeksi (Mid Infrared Burn Index - MIRBI), yangın sonrası alanların tespiti ve yangının etkilerinin değerlendirilmesi için kullanılan bir spektral indekstir. Bu indeks, orta kızılötesi dalga boylarındaki yansıyan veya yansıtılan ışığın ölçümüne dayanır. Yangın sonrası alanlarda, yangından etkilenen materyallerin kızılötesi ışıktaki yansıma özellikleri genellikle değişir. MIRBI, bu değişiklikleri tespit etmek ve yangın etkisi altındaki alanları belirlemek için kullanılır (Key ve Benson, 2006).

MIRBI, genellikle uydu görüntülerinden elde edilen kızılötesi spektral verileri üzerinde hesaplanır. Bu hesaplama genellikle yangın öncesi ve sonrası görüntüler arasındaki farkın belirlenmesiyle gerçekleştirilir. Yangın sonrası alanlarda, MIRBI değerlerinin yüksek olması, yangın etkisi altındaki alanların tespit edilmesine yardımcı olabilir. Bu indeks, yangın sonrası alanların haritalanması, yangın etkilerinin analizi ve yangınla ilgili ekosistem değişikliklerinin belirlenmesi gibi alanlarda kullanılabilir (Holden ve ark., 2005).

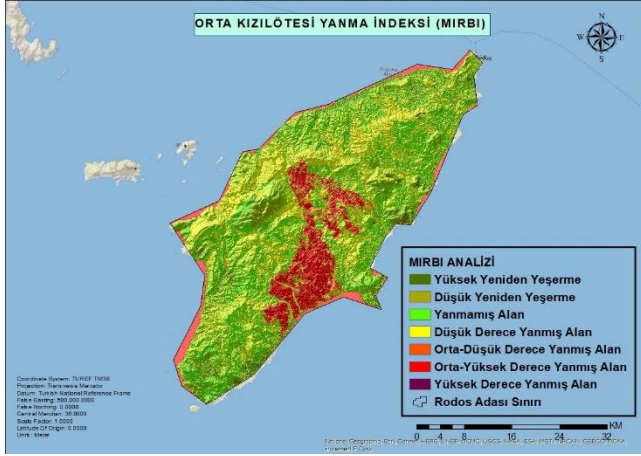
MIRBI, yangın etkisinin yanı sıra yangın sonrası toparlanma süreçlerinin izlenmesi ve yangınla ilgili ekolojik değişimlerin anlaşılması gibi konularda araştırmacılara ve uzmanlara önemli bilgiler sağlayabilir. Bu nedenle, MIRBI gibi spektral indeksler, yangın yönetimi ve ekosistemlerin yangınla ilişkili tepkileri hakkında daha derinlemesine anlayış sağlamak için önemli araçlar olarak kullanılabilir.

$$MIRBI = (10 \times LSWIR) - (9.8 \times SSWIR) + 2$$

(Flasse ve Trigg, 2001)

Eş.3

MIRBI analizi sonucu elde edilen sonuç görüntü (Şekil 13) incelendiğinde, mor alanların yüksek şiddette yanan ve tahribatın çok yoğun olduğu alanlar olduğu görülmektedir. Turuncu alanlar orta şiddette yanmış alanları, sarı alanlar düşük şiddette yanmış alanları ve yeşil alanlar ise yanmamış alanları temsil etmektedir. Ayrıca, açık yeşil alanlardan koyu yeşil alanlara doğru gidildikçe, bitki örtüsündeki yeniden büyüme hızının arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2. MIRBI analizi sonucu oluşan harita.

2.4.4. Çalışma alanına ait BAI analizleri

Yanan Alan İndeksi (Burn Area Index - BAI), yangın sonrası alanların tespiti ve yangının etkilerinin belirlenmesi için kullanılan bir diğer spektral indekstir. Bu indeks, yangın sonrası alanlardaki değişiklikleri tespit etmek için kızılötesi ve yakın kızılötesi dalga boylarındaki yansıyan veya yansıtılan ışığın ölçümünü içerir.

BAI, genellikle uydu görüntülerinden elde edilen spektral veriler üzerinde hesaplanır. Yangın öncesi ve sonrası görüntüler arasındaki fark analizi kullanılarak bu indeks hesaplanır. Yangın sonrası alanlarda, BAI değerlerindeki artış, yangından etkilenen alanların belirlenmesine yardımcı olabilir.

Bu indeks, yangınların etkilerini görselleştirmek, yangın sonrası toparlanma süreçlerini izlemek ve yangınla ilişkili ekolojik değişiklikleri anlamak için kullanılır. BAI gibi spektral indeksler, yangın yönetimi ve ekosistemlerin yangınla ilişkili tepkileri hakkında daha fazla bilgi sağlamak için önemli araçlar olarak kabul edilir (Key ve Benson, 2006).

$$BAI = \frac{1}{(0.1 - RED)^2 + (0.06 + NIR)^2}$$

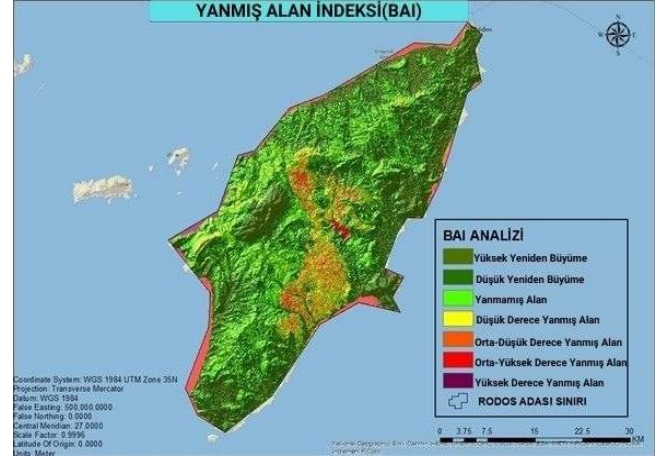
(Chuvieco ve ark., 2002)

Eş.4

BAI analizi sonucu elde edilen sonuç görüntü analiz edildiğinde, mor alanlar yüksek şiddette yanan ve tahribatın çok yoğun olduğu alanlar olmakla birlikte bu analizde görülmemektedir.

Kırmızı alanlar yüksek şiddette yanmış alanlar, turuncu alanlar orta şiddette yanmış alanlar, sarı alanlar düşük şiddette yanmış ve yeşil alanlar ise yanmamış alanlar olduğu görülmektedir.

Açık yeşil alanlardan koyu yeşil alanlara gidildikçe, bitki örtüsündeki yeniden büyüme hızı anlaşılmaktadır. Sonuç görüntü incelendiğinde diğer indekslerden farklı olarak, bu indeks yüksek, orta ve düşük şiddette yanmış alanları göstermektedir.



Şekil 3. BAI analizi sonucu oluşan harita.

2.5. Uygulanan analizlerin görselleştirilmesi

Kartografya, coğrafi bilginin farklı yöntemlerle haritalanması bilimidir ve coğrafi bilgi sistemleri ise kartografyanın görsel kapsamının yanında içerdiği sayısal ve metinsel verileri saklamayı, güncelleştirmeyi ve analiz edebilmeyi sağlamaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerinin sonuç ürünü haritalardır. Dolayısıyla kartografik çalışmalar coğrafi bilgi sistemleri çalışmalarının önemli bir bölümünü oluşturur ve kartografya ile coğrafi bilgi sistemlerini birbirinden ayrı tutmak mümkün değildir (Turoğlu, 2020).

Bulguların ve verilerin kartografik tasarıma uygun olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda tasarlanan haritalarda haritanın adı, ölçeği, kuzey oku, lejantı, projeksiyon bilgileri gibi temel elemanlarının eksiksiz olmasına dikkat edilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan analizlerin görselleştirilerek haritalandırılmasında, kartografik prensipler temel alınmıştır. Çalışmanın amacına uygun olarak NDVI analizleri için bitki sağlık durumlarını gösteren lejant, NBR analizleri için yanma oranlarını gösteren lejantlar hazırlanarak elde edilen veriler görselleştirilmiş ve haritanın anlaşılabilirliği sağlanmıştır. Rodos Adası'na ait haritada kullanılan renkler ise bilgiye hızlı bir şekilde ulaşılması için dikkatle seçilmiştir. Sonuç olarak, ölçek ile detay dengesi, renklerin doğru kullanımı, haritanın amacına uygun başlık, lejant kullanımı ile bu karmaşık verilerin okunup algılanmasını kolaylaştırmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bulgular

Orman yangınının bitki örtüsündeki değişimini tespit etmek ve değerlendirmek amacıyla çalışma alanına ait uydu görüntülerine uygulanan spektral indeksler karşılaştırıldığında, dört spektral indeks içinde aynı bölgelerde bitki sağlığında azalma görülmüştür.

Yangın öncesine ait hazırlanan NDVI analizinin ve yangın sonrasına ait hazırlanan NDVI analizinin farkı alınarak elde edilmiş dNDVI çıktı görüntüsünden bitki örtüsünde yaşanan yoğun değişim görülmektedir.

Elde edilen çıktı görüntü (Şekil 15) analiz edildiğinde, Rodos orman yangını sonrasında sağlıklı bitki yoğunluğundaki azalma görülmektedir ve bu orman yangınlarının bitki sağlığı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Rodos adasının, yangının gerçekleştiği bölümünde görülen kırmızı alanlar ölü bitkileri, bu kırmızı alanların içinde seçilen turuncu alanlar ise sağlığı ciddi oranda hasar görmüş bitkileri göstermektedir.

Adanın açık yeşilden koyu yeşile doğru giden bölümü ise yangından etkilenmemiş ve sağlık durumu normal şartlarda olan bitkileri göstermektedir.

Yangın öncesine ve yangın sonrasına ait görüntüler ile yapılan NBR analizi sonucu tahribatın anlaşılabilmesi için yangın öncesi NBR analizi ile yangın sonrası NBR analizinin farkı ($dNBR = (\text{yangın öncesi NBR}) - (\text{yangın sonrası NBR})$) alınmıştır.

Çıktı görüntü ise yangının bitki örtüsünde meydana getirdiği hasarın anlaşılabilmesini ve yeniden büyüme oranlarının analiz edilebilmesini gerçekleştirmektedir.

NBR analizinde yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantları kullanılmıştır.

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (\text{Key ve Benson, 2006})$$

Eş.2

Hesaplanmış olan yangın öncesi ve sonrasına NBR analizlerinin farkı alınarak dNBR analizi gerçekleştirilmiştir.

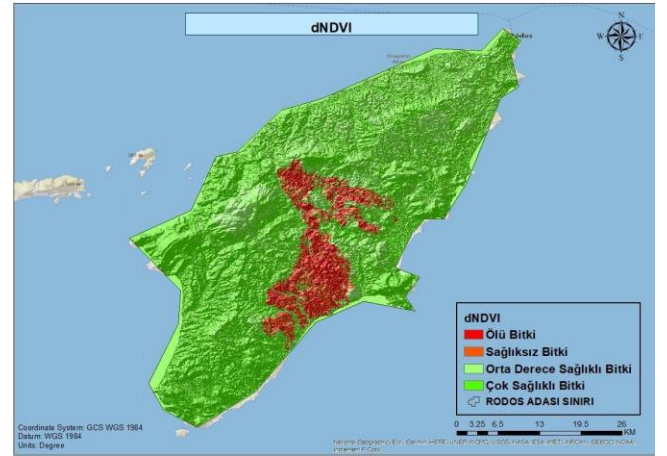
dNBR analizi sonucu elde edilen sonuç görüntü incelendiğinde, mor alanlar yüksek şiddette yanan ve tahribatın çok yoğun olduğu alanlar, turuncu alanlar orta şiddette yanmış alanlar, sarı alanlar düşük şiddette yanmış ve yeşil alanlar ise yanmamış alanlar olduğu görülmektedir. Açık yeşil alanlardan koyu yeşil alanlara gidildikçe, bitki örtüsündeki yeniden büyüme hızı artmaktadır.

MIRBI analizi sonucu elde edilen sonuç görüntü analiz edildiğinde, mor alanlar yüksek şiddette yanan ve tahribatın çok yoğun olduğu alanlar, turuncu alanlar orta şiddette yanmış alanlar, sarı alanlar düşük şiddette yanmış ve yeşil alanlar ise yanmamış alanlar olduğu görülmektedir. Açık yeşil alanlardan koyu yeşil alanlara gidildikçe, bitki örtüsündeki yeniden büyüme hızı artmaktadır.

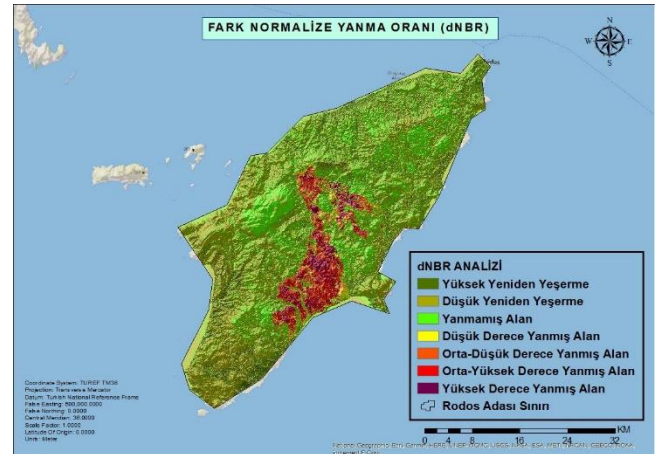
BAI analizi sonucu elde edilen sonuç görüntü analiz edildiğinde, mor alanlar yüksek şiddette yanan ve tahribatın çok yoğun olduğu alanlar olmakla birlikte bu

analizde görülmemektedir. Kırmızı alanlar yüksek şiddette yanmış alanlar, turuncu alanlar orta şiddette yanmış alanlar, sarı alanlar düşük şiddette yanmış ve yeşil alanlar ise yanmamış alanlar olduğu görülmektedir. Açık yeşil alanlardan koyu yeşil alanlara gidildikçe, bitki örtüsündeki yeniden büyüme hızı artmaktadır. Sonuç görüntü incelendiğinde diğer indekslerden farklı olarak, bu indeks yüksek, orta ve düşük şiddette yanmış alanları göstermektedir.

NBR, NDVI, MIRBI, BAI çıktı görüntüleri karşılaştırıldığında bitki örtüsü tahribatının yüksek olduğu alanların her görüntü içinde aynı olduğu anlaşılmaktadır. Orman yangınlarının tespiti ve yangının etkilerinin haritalanması için yapılan analizlerde, NBR indeksinin etkili sonuçları sağladığı, BAI indeksinin ise hassas sonuçlar sağlamadığı gözlemlenmiştir. NBR analizi, kızılötesi ve kırmızı dalga boylarındaki farklılıkları değerlendirerek yangın sonrası alanları belirlemede yüksek doğruluk ve hassasiyet sağlamıştır.



Şekil 4. dNDVI sonucu oluşan çıktı görüntü.



Şekil 5. dNBR sonucu oluşan çıktı görüntü.

3.2. Tartışma

Çalışmamızın bulgularını daha iyi anlamlandırabilmek ve konunun mevcut bilgi birikimi içerisindeki yerini belirleyebilmek amacıyla, ilgili literatürdeki çalışmalarla kapsamlı bir karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 5' de sunulan literatür karşılaştırma tablosu, son yıllarda orman yangınlarının izlenmesi ve

değerlendirilmesi konusundaki anahtar araştırmaları ve bu araştırmaların bulgularını özetlemektedir.

Bu tabloda, her bir çalışmanın başlığı, yazarları, yayın yılı, kullanılan yöntemler ve kullanılan veriler detaylandırılmıştır. Bu analiz, çalışmamızın literatürdeki diğer çalışmalarla nasıl ilişkili olduğunu ve bu çalışmalardan nasıl ayrıldığını ortaya koymaktadır. Örneğin, [White ve arkadaşlarının \(1996\)](#) orman yangınlarının şiddetini uzaktan algılama ile değerlendirme çalışmasında, benzer yöntemleri kullanmış ancak farklı veri kaynakları ve zaman dilimlerine odaklanmıştır.

Benzer şekilde, [Koutsias ve Karteris'in \(2000\)](#) çalışması, yangın sonrası alanların haritalanmasında lojistik regresyon modellerini kullanmış olup, bizim çalışma metodolojimizle karşılaştırıldığında, farklı modelleme tekniklerinin etkinliğini göstermektedir.

Özellikle, [2023 yılında Avestisyan ve arkadaşları](#) tarafından yapılan çalışma, yangın sonrası bitki örtüsü izleme için spektral bitki indekslerinin performansını değerlendirmiştir ve bizim çalışmamızda kullanılan Normalized Burn Ratio (NBR) gibi uzaktan algılama teknikleriyle karşılaştırılabilir sonuçlar sunmuştur.

Bu karşılaştırmalar, çalışmamızın literatürdeki mevcut bilgi birikimine nasıl katkıda bulunduğunu ve bu alandaki araştırma boşluklarını nasıl doldurduğunu netleştirmektedir. Ayrıca, çalışmamızın özgünlüğünü ve benzer çalışmalardan nasıl ayrıldığını da vurgulamaktadır. Literatür karşılaştırma tablosu, hem bizim hem de diğer araştırmacıların orman yangınları üzerine yapılan çalışmaların çeşitliliğini ve kapsamını daha iyi anlamasına yardımcı olmaktadır.

Tablo 5. Literatür karşılaştırması.

Çalışma Başlığı	Yazarlar ve Yılı	Kaynak	Yöntem	Kullanılan veri
Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery	White, J. D., Ryan, K. C., Key, C. C., & Running, S. W. (1996)	International Association of Wildland Fire (IAWF)	Uydu verileri kullanılarak yangın sonrası bitki örtüsü değişiminin değerlendirilmesi.	Landsat TM
Burned Area Mapping Using Logistic Regression Modeling of a Single Post-Fire Landsat-5 Thematic Mapper Image	Koutsias, N., & Karteris, M. (2000)	International Journal of Remote Sensing	Lojistik regresyon modellemesi kullanılarak Landsat-5 TM görüntüleri üzerinden yanmış alan haritalanması.	Landsat-5 Thematic Mapper
Evolving Forest Fire Burn Severity Classification Algorithms for Multi-Spectral Imagery	Brumby, S. P., Harvey, N. R., & Joseph, J. (2001)	Proceedings of SPIE	Çok bantlı uydu görüntülerinin sınıflandırma algoritmalarının geliştirilmesi.	Landsat 7 ETM+
Landscape Assessment: Ground Measure of Severity, The Composite Burn Index; and Remote Sensing of Severity, The Normalized Burn Ratio	Key, C. H., & Benson, N. (2006)	FIREMON	Kompozit Yanık İndeksi (CBI) ve Normalize Edilmiş Yanık Oranı (NBR) kullanılarak yangın şiddetinin değerlendirilmesi.	Landsat 7 ETM+
Object based burned area mapping with random forest algorithm	Çömert, R., Küçük Matçı, D., & Avdan, U. (2019)	International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)	Rastgele orman algoritması kullanarak yanmış alanların haritalanması.	Landsat 8
Zonguldak ve Ereğli Orman İşletme Müdürlükleri Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi	Dilekçi, S., Marangoz, A. M., & Ateşoğlu, A. (2021)	Geomatik Dergisi	Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak yangın riski değerlendirmesi.	Landsat, MODIS, SPOT
Çok Bantlı Uydu Görüntüleriyle Orman Yangınlarında Hasar Tespiti	Polat, N., & Kaya, Y. (2021)	Bartın Orman Fakültesi Dergisi	Uydu görüntülerinin çok bantlı analiz teknikleri kullanılarak yangın hasarının tespiti.	Landsat 8
Muğla İli Menteşe Yöresi Orman Yangını Risk Potansiyeli Haritasının Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Belirlenmesi	Alkayış, M. H., Karşlıoğlu, A., & Onur, M. İ. (2022)	Geomatik Dergisi	CBS teknikleri kullanılarak yangın risk potansiyelinin haritalanması.	Landsat 8
Assessment of Spectral Vegetation Indices Performance for Post-Fire Monitoring of Different Forest Environments	Avestisyan, D., Stankova, N., & Dimitrov, Z. (2023)	MDPI	Spektral bitki örtüsü indekslerinin yangın sonrası izleme etkinliğinin analizi.	Sentinel 2
Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Orman Yangını Risk Analizi: Bartın İli Örneği	Çoşkun, M., & Toprak, F. (2023)	Geomatik Dergisi	CBS kullanarak yangın risk analizleri yapılması.	Sentinel 2

4. Sonuçlar

Bu araştırma kapsamında, 18 Temmuz 2023 tarihinde Yunanistan'ın Rodos adasında meydana gelen geniş çaplı orman yangını, çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Orman yangınlarının kontrol altına alınmasının ardından, yeniden yeşillendirme çalışmalarında uzaktan algılama yöntemlerinin kullanımı, hasar tespiti sürecini hızlandırarak zaman tasarrufu sağlamaktadır.

Teknolojik gelişmeler sayesinde, sahaya inmeden uydu görüntüleri kullanılarak orman yangınlarının bitki örtüsüne verdiği zararlar hızlı bir şekilde tespit edilebilir.

Çalışma kapsamında uygulanan NBR, NDVI, MIRBI, BAI gibi spektral indekslerin çıktı görüntüleri değerlendirildiğinde orman yangınının yarattığı tahribatının yüksek olduğu alanların her görüntü için aynı olduğu anlaşılmaktadır. Orman yangınlarının tespiti ve yangının etkilerinin haritalanması için yapılan analizlerde, NBR indeksinin en etkili sonuçları sağladığı gözlemlenmiştir.

NBR, sağlıklı bitkilerin NIR bandında yüksek yansıtma ve kırmızı bantta düşük soğurma özelliklerinden yararlanarak, yanmış ve yanmamış alanlar arasında net bir ayrım yapabilmektedir.

BAI (Burned Area Index) ise, yangın sonrası alandaki kömürleşmiş ve yanmış yüzeylerin belirlenmesinde kullanılırken, NBR kadar etkili sonuçlar verememiştir. Bu, BAI'nin yangın sonrası alanlarda yüksek hassasiyetle yanmış alanları ayırt etmekte yetersiz kaldığını göstermektedir.

Bu bulgular, NBR indeksinin yangın sonrası bitki örtüsü tahribatını haritalamada daha güvenilir ve hassas sonuçlar verdiğini desteklemektedir. NBR'nin kızılötesi ve kırmızı dalga boylarındaki farklılıkları değerlendirmesi, yangın sonrası alanların tespitinde üstün performans göstermesini sağlamaktadır.

Ayrıca, sonuç görüntüsü (**Şekil 16**) incelendiğinde, yüksek, orta ve az yanmış alanlar ile yangından etkilenmemiş bölgelerin net bir şekilde ayırt edilebildiği görülmektedir. Yüksek şiddette yanmış alanlar genellikle mor, orta şiddette yanmış alanlar ise kırmızı ile turuncu renk ile temsil edilmektedir. Az yanmış alanlar sarı renk ve yangından etkilenmemiş bölgeler ise yeşilin tonları ile gösterilmektedir. Bu detaylı analiz sayesinde, yangın sonrası ormanlardaki düşük ve yüksek yeniden büyüme oranları belirlenebilmekte olup, yangının bitki örtüsü üzerindeki etkileri daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, orman yangınlarının etkilerini değerlendirmenin yanı sıra, yeniden yeşillendirme stratejilerini planlamak için de önemli veriler sağlamaktadır. Yangın sonrası toparlanma sürecinde hangi bölgelerin öncelikli olarak müdahale edilmesi gerektiği, bitki örtüsünün hangi alanlarda hızlı bir şekilde yeniden büyüdüğü ve hangi alanlarda yeniden büyüme sürecinin yavaş olduğu belirlenebilmektedir. Bu bilgiler, orman yönetimi ve ekosistem restorasyonu için önemli olup, yangın sonrası müdahale stratejilerinin etkinliğini artırmaya yönelik planlamalar yapılmasını mümkün kılmaktadır.

Ayrıca, gelecekteki araştırmalar, uzaktan algılama tekniklerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi üzerine odaklanabilir. Bu bağlamda, daha yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak detaylı analizler yapılabilir ve yeni algoritmaların geliştirilmesiyle yangın etkilerinin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesi sağlanabilir. Uzaktan algılama teknikleri sayesinde elde edilen veriler, yerel yönetimler ve doğa koruma kuruluşları için karar destek aracı olarak kullanılabilir. Örneğin, yangın etkilenmiş alanlarda sadece doğal bitki örtüsünün değil, aynı zamanda endemik türlerin de yeniden yerleştirilmesi için uygun bölgeler belirlenebilir. Ayrıca, su kaynaklarının etkilenme riski altında olduğu alanlarda erozyon kontrolü için tedbirler alınabilir ve tarım arazilerindeki toprak verimliliği analiz edilerek rehabilitasyon stratejileri oluşturulabilir. Bu veriler ayrıca, ekosistemlerin biyoçeşitliliğini koruma amaçlı politika oluşturulmasına da katkı sağlayabilir. İleri düzey makine öğrenimi ve yapay zeka tekniklerinin entegrasyonu da, yangın tespiti, tahmini ve yönetimi süreçlerinde önemli ilerlemeler sağlayabilir. Bu çalışmaların, gelecekteki orman yangınlarıyla mücadele stratejilerinin daha etkili bir şekilde şekillendirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Yazarlar, çalışma sırasında kullanılan görüntülerin ücretsiz temini için ABD Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS)'na teşekkür etmektedirler.

Araştırmacıların katkı oranı

Gizem Eyi: Literatür taraması, Analiz çalışmaları, Görselleştirme ve harita üretimi, Makale yazımı; **İlkay Buğdaycı:** Kontrol ve Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Nellas, D. (2023, 07 23). Greek wildfires: Thousands of tourists evacuated as wildfire rages on island of Rhodes. The New Zealand Herald: <https://www.nzherald.co.nz/world/greek-wildfires-thousands-of-tourists-evacuated-as-a-wildfire-rages-on-the-greek-island-of-rhodes/UC4DANXBVNCG7CZXF5BK2M30RU/> adresinden alındı.
- Alevkayalı, Ç., Yayla, O., & Atayeter, Y. (2023). Monitoring and Classification of Karst Rocky Desertification with Landsat 8 OLI Images Using Spectral Indices, Multi-Endmember Spectral Mixture Analysis and Support Vector Machine. International Journal of Engineering and Geosciences(IJEG).
- Alkayış, M. H., Karşlıoğlu, A., & Onur, M. İ. (2022). Muğla İli Menteşe Yöresi Orman Yangını Risk Potansiyeli Haritasının Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Belirlenmesi. Geomatik Dergisi.

- Avestisyan, D., Stankova, N., & Dimitrov, Z. (2023). Assessment of Spectral Vegetation Indices Performance for Post-Fire Monitoring of Different Forest Environments. MDPI.
- Avetisyan, D., Velizarova, E., & Filchev, L. (2022). Post-Fire Forest Vegetation State Monitoring through Satellite Remote Sensing and In Situ Data. MDPI.
- Barmpoutis, P., Papaioannou, P., Dimitropoulos, K., & Grammalidis, N. (2020). A Review on Early Forest Fire Detection Systems Using Optical Remote Sensing. Sensors.
- Brumby, S. P., Harvey, N. R., & Joseph, J. (2001). Evolving Forest Fire Burn Severity Classification Algorithms for Multi-Spectral Imagery. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering.
- Chuvieco, E., Mart, M. P., & Palacios-Orueta, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. International Journal of Remote Sensing.
- (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. IPCC.
- Çoşkun, M., & Toprak, F. (2023). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Orman Yangını Risk Analizi: Bartın İli Örneği. Geomatik Dergisi.
- Çömert, R., Küçük Matçı, D., & Avdan, U. (2019). Object based burned area mapping with random forest algorithm. International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG).
- Dalmau, E. (2023). Haritaların Dili. İstanbul: Yeditepe Yayınevi.
- Dilekçi, S., Marangoz, A. M., & Ateşoğlu, A. (2021). Zonguldak ve Ereğli Orman İşletme Müdürlükleri Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi. Geomatik Dergisi.
- Esendal Bozkurt, N., Zontul, M., & Aslan, Z. (2018). Uydu Verilerine Dayalı Olarak Bitki Örtüsü Analizi. Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, 2(1).
- FAO. (2022). The State of the World's Forests. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Flasse, S. P., & TRIGG, S. (2001). An Evaluation of Diverent Bi-Spectral Spaces for Discriminating Burned Shrub-Savannah. International Journal of Remote Sensing.
- Gitas, İ., Mitri, G., Veraverbeke, S., & Polychronaki, A. (2012). Advances in Remote Sensing of Post-Fire Vegetation Recovery Monitoring. Remote Sensing of Biomass - Principles and Applications.
- Holden, Z. A., Swanson, J. A., Luce, C. H., & Jolly, W. M. (2005). The Influence of Roads on Fire Severity: An Example from The Angora Fire in The Lake Tahoe Basin. Forest Ecology and Management.
- Key, C. H., & Benson, N. (2006). Landscape Assessment: Ground Measure of Severity, The Composite Burn Index; and Remote Sensing of Severity, The Normalized Burn Ratio. FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System.
- Koutsias, N., & Karteris, M. (2000). Burned Area Mapping Using Logistic Regression Modeling of a Single Post-Fire Landsat-5 Thematic Mapper Image. International Journal of Remote Sensing.
- Lentile, L. B., Holden, Z. A., Smith, A. M., Falkowski, M. J., & Hudak, A. T. (2006). Remote sensing techniques to assess active fire characteristics. International Journal of Wildland Fire.
- Öztürk, M. Y., Tonbul, H., Colkesen, İ., & Kavzoğlu, T. (2021). Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları (Temporal Analysis of Forest Fires with Remote Sensing Technologies: Mediterranean and Aegan Fires in 2021). Turkish Academy of Sciences.
- Pausas, J., & Vallejo, R. V. (1999). The role of fire in European Mediterranean. (E. Chuvieco, Dü.) Springer, 3-16.
- Polat, N., & Kaya, Y. (2021). Çok Bantlı Uydu Görüntüleriyle Orman Yangınlarında Hasar Tespiti. Bartın Orman Fakültesi Dergisi.
- Sabuncu, A., & Özener, H. (2019). Uzaktan Algılama Teknikleri ile Yanmış Alanların Tespiti: İzmir. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi.
- Snyder, A. E., Fulé, P. Z., & Crouse, J. E. (2005). Comparison of Burn Severity Assessments. International Journal of Wildland Fire.
- Sunar, F., & Özkan, Ç. (2010). Forest Fire Analysis with Remote Sensing Data. International Journal of Remote Sensing, 2265-2277.
- Tucker, C. J. (1979). Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of Environment.
- Turco, M., Llasat, M. C., & Herdenberg, J. (2014). Climate Change Impacts on Wildfires in a Mediterranean Environment. Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Turoğlu, H. (2020). H. Turoğlu içinde, Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları. İstanbul: Çantay Kitapevi.
- URL-1: <https://www.nzherald.co.nz/world/greek-wildfires-thousands-of-tourists-evacuated-as-a-wildfire-rages-on-the-greek-island-of-rhodes/UC4DANXBVNCG7CZXF5BK2M3ORU/>
- URL-2: <http://www.hnms.gr/english/climatology>
Accessed date: 17 Mart 2024
- URL-3: <http://www.aegeanislands.gr/islands-aigaio/geographic-information>
Accessed date: 17 Mart 2024
- URL-4: <https://earthexplorer.usgs.gov>
Accessed date: 7 Kasım 2023
- URL-5: <https://kardelennerdem.com/2022/02/08/nbr-analizi-ile-yanmis-alanlarin-siniflandirilmesi-google-earth-engine/>
Accessed date: 14 Mart 2024
- White, J. D., Ryan, K. C., Key, C. C., & Running, S. W. (1996). Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery. International Association of Wildland Fire (IAWF).
- Xiao-rui, T., Mcrae, D. J., Li-fu, S., Ming-yu, W., & Hong, L. (2005). Satellite Remote-Sensing Technologies Used in Forest Fire Management. Springer, 73-78.
- Yılmaz, E., Aydın, O., & Çiçek, İ. (2021). Klimatoloji Çalışmalarında CBS Kullanımı. M. F. Ebru Akköprü (Dü.) içinde, Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları. Ankara: Pegem Akademi.

- Yüksel, K. (2022). Yanan Orman Alanı Tespitinde Farklı Uzaktan Algılama İndislerinin Değerlendirilmesi: 2022 Yılı Mersin (Gülnar) Orman Yangını Örneği. *Journal of Architecture, Engineering & Fine Arts*.
- Zabcı, C. (2021). Çok bantlı Landsat 8-OLI ve Sentinel-2A MSI uydu görüntülerinin karşılaştırmalı jeoloji. *Geomatik Dergisi*.

