

## 2019 İzmir Karabağlar İlçesi Orman Yangın Alanının Uydu Görüntüleri İle Analizi

### Analysis of The Burned Areas of 2019 Izmir Karabaglar Forest Fire with Use of Satellite Images

Fatma Betül Özdemir<sup>1\*</sup>, Nusret Demir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzak Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, 07058, Antalya/Türkiye.

#### ARAŞTIRMA MAKALESİ

##### \*Sorumlu yazar:

Fatma Betül Özdemir  
fad\_bet@windowlive.com

doi: 10.48123/rsgis.1009319

##### Yayın süreci

Geliş tarihi: 16.10.2021  
Kabul tarihi: 09.12.2021  
Basım tarihi: 14.03.2021

#### Özet

Orman yangınları dünyada sıkça rastlanan bir doğal afettir. Orman yangınları sonrası yanan alanların belirlenmesinde uzaktan algılama teknolojileri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada 18 Ağustos 2019 tarihinde İzmir ili Karabağlar ilçesinde meydana gelen ve 53 saat süren orman yangını incelenmiştir. Multispektral görüntüler (MSI) ve Yapay Açıklıklı Radar (SAR) veri setlerine (Landsat 8, Sentinel 2 ve Sentinel 1A) uzaktan algılama teknikleri uygulanmıştır. Çalışma bölgesine ait orman yangını öncesi sırasıyla Landsat 8 ve Sentinel 2 için 16 ve 11 Ağustos 2019 ve orman yangını sonrası 23 ve 21 Ağustos 2019 tarihli görüntüler kullanılmıştır. Alana ait yangın risk modeli oluşturulmuş, ilaveten; bitki sağlığı izleme ve yanan alan tespiti için geliştirilen indeksler kullanılarak tahrip olmuş alanlar tespit edilmiştir. dNBR (Fark Normalize Yanma İndeksi) ve dNDVI (Fark Normalize Bitki İndeksi) indeksleri kullanılarak, kontrolsüz sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Sınıflandırılan görüntülerin alanları hesaplanarak doğruluk analizleri yapılmış ve Ekoloji Birliği verileriyle karşılaştırılmıştır. Yanan alan, elle oluşturulan vektör veri ile karşılaştırılmış Sentinel MSI verileriyle hesaplanan dNDVI ve dNBR indekslerinde sırasıyla % 99,96 ve % 99,95 doğrulukla hesaplanmıştır. Google Earth Engine platformuyla Sentinel 1 SAR görüntüleri; Sentinel 2 uydusuna ait dNDVI ve dNBR indeksleri üzerinde sınıflandırılan alanlara göre maskelenmiştir. Maskelenen alanlardan elde edilen saçılma değerleri istatistiksel olarak hesaplanarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Uzaktan algılama, Uydu görüntüsü, Orman yangını, Değişim tespiti

#### Abstract

Forest fires are a common natural disaster in the world. Remote sensing technologies are frequently used in the extraction of the burned areas after forest fires. In this study, the forest fire that occurred in Karabağlar district of İzmir province on August 18, 2019, and which lasted for 53 hours was examined. Remote sensing techniques have been applied to multispectral images (MSI) and Synthetic Aperture Radar (SAR) datasets (Landsat 8, Sentinel 2, and Sentinel 1A) from the dates of pre-fire and post-fire periods of each dataset. Additionally, the fire risk model was calculated. Burned areas were extracted by using two indices of vegetation which are NDVI and NBR. The unsupervised classification was applied on the dNBR (Difference Normalized Combustion Index) and dNDVI (Difference Normalized Plant Index) indices images. Accuracy analyzes were made by calculating the areas of the classified images and compared with the Ecology Union data. The burned area was calculated with 99.96% and 99.95% accuracy, respectively. Sentinel 1 SAR images with Google Earth Engine platform; it is masked according to the classified areas on the dNDVI and dNBR indices of the Sentinel 2 satellite. The scattering values obtained from the masked areas were calculated statistically and the results obtained were discussed.

**Keywords:** Remote sensing, Satellite image, Forest fire, Change detection

## 1. Giriş

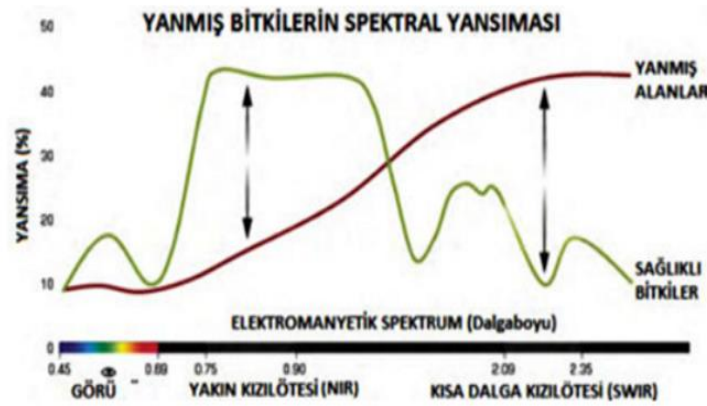
Akdeniz bölgesi, ülkemizde yangın riskinin en yüksek olduğu bölgelerden biridir. Son yıllarda gerçekleştirilmiş olan orman istatistik çalışmalarına göre Türkiye'nin orman varlığı 22,3 milyon ha olup, bu ormanlık alanların %35'i birinci, %23'ü ikinci, %22'si üçüncü, %15'i dördüncü ve %5'i ise beşinci derecede yangına hassas bölgelerde yer almaktadır (Sabuncu ve Özener, 2019). Türkiye'de, Hatay'dan başlayıp İstanbul'a kadar uzanan sahil şeridi alanları en yüksek yangın riskine sahip bölgeler olarak belirlenmiştir. Orman yangınları sonrası, araziden veri toplamak beraberinde çeşitli zorlukları da getirmektedir. Bu kısıtlamalar nedeni ile son yıllarda orman yangını sonrası çalışmalar için uzaktan algılama teknolojilerine başvurulmuştur.

Çok yönlü veri toplama ve farklı dalga boylarında görüntüleme özelliği, uzaktan algılama uyduları ile mümkündür. Uydu görüntülerinden bilgi çıkarmak için kullanılan yöntemlerden biri değişim saptama analizleridir. Çok zamanlı uydu görüntüleri kullanılarak yapılan bu analizler hem piksel tabanlı hem de nesne tabanlı olarak uygulanabilmektedir. Bant indeksleri değişim saptama uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Taşçı ve Avdan, 2018).

Yaptığımız çalışmada, orman yangınları hem MSI ile hem de SAR verileri ile incelenmiş olup her iki veri setinin farklı frekans duyarlılıkları bize uzaktan algılama tekniklerinde sensör faktörünün elde edilen sonuçların yorumlamasında kapsamlı bir bakış açısı kazandırmıştır. SAR verileri orman kanopisine duyarlı olduğu için oluşan yangının türünün yangın raporunda gösterilen bulgularla tutarlı olduğu dolayısıyla sadece SAR verileri kullanılarak yangının türü, boyutu ve orman kanopisinde ki total kayıpların raporlanmasını hızlı ve kolay bir hale getirmektedir. Sonuçları değerlendirirken her iki veri setinin sunduğu farklı avantajlar sayesinde çalışmamız farklı bir boyut kazanmıştır.

### 1.1 MSI görüntülerin Yanan Orman Alanlarındaki Kullanımı

Ormanlık alanlarda bulunan yeşil yapraklı bitkiler, yakın kızılötesi bölgede yüksek spektral yansımaya özelliğine sahiptir. Biyokütle bakımından yoğun alanlarda meydana gelen yangın sonucu, yakın kızılötesi bölgede spektral yansımaya değerleri azalırken, kısa dalga kızılötesi bölgede bu değerler artar (Şekil 1). Sonuç olarak, yangın öncesi ve yangın sonrası görüntülerden NIR ve SWIR bantlar kullanılarak üretilen indekslerin farklarına dayanan değişim saptama işlemi yanmış orman alanlarının tespitinde önemli avantajlar sunar (Taşçı ve Avdan, 2018).



Şekil 1. Yanmış bitki spektral yansımaya grafiği (Taşçı ve Avdan, 2018)

Orman yangınları (ağaç kaybı) meydana geldiğinden, yanmış ve yanmamış alanlar arasındaki ayrım NDVI (Normalize Fark Bitki İndeksi), GEMI (Küresel Çevre İzleme İndeksi) gibi bazı bitki örtüsü indeksleri ile sağlanabilir. Birçok yangın indeksi, karbon sinyaline ve toprak örtüsü özelliklerinin yakılmasından sonraki sıcaklığa dayanarak özel olarak tasarlanmıştır. Yangın sonrası, spektral sinyal sırasıyla SWIR ve NIR'in yansımada hızlı bir artışa ve azalmaya yol açar (Liu vd. 2020). Bu teoriye dayanarak, NBR (Normalize Yanma Oranı), NDSWIR (Normalize Fark SWIR) ve BAI (Yanan Alan İndeksi) gibi yanmış alanları tespit etmek için tasarlanmış yaygın indekslerdir. Bazı araştırmacılar, SWIR bantlarının kombinasyonunun yanmış ve yanmamış alanlarda güçlü bir spektral ayrım gösterdiğini bulmuşlardır (Liu vd. 2020). Bu nedenle, MIRBI (orta-kızılötesi iki-spektral indeks) bu gruplarla tasarlanmıştır. Ayrıca yanmış alanlar, yanmadan sonraki 1 ay içinde yanmamış alanlardan 5-6 °C daha yüksek bir sıcaklık gösterebilir; bu nedenle, TIR (Termal kızılötesi) bantlar genellikle yangın meydana gelme döneminde yanmış alanları tespit etmek için kullanılmaktadır. Hem NBRT (NBR-Termal) hem de NSTV2 (NIR-SWIR Sıcaklık Versiyon 2) indeksleri, yangın algılama doğruluğunu artırmak için TIR bandı tarafından elde edilen BT (parlak sıcaklık) kullanılmaktadır. Tablo 1'de yanan alan tespitinde kullanılan indeksler belirtilmiştir.

**Tablo 1.** MSI görüntülerde yanar alan tespitinde kullanılan spektral indeksler ve formülleri (Liu vd. 2020)

Spektral İndeks	Formül
<b>NBR</b>	$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$
<b>NDVI</b>	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
<b>BAI</b>	$BAI = \frac{1}{\left(0.1 - \frac{Red}{1000}\right)^2 + \left(0.06 - \frac{NIR}{1000}\right)^2}$
<b>BSI</b>	$BSI = \frac{(SWIR1 + Red) - (NIR + Blue)}{(SWIR1 + Red) + (NIR + Blue)}$

Yaygın olarak yanar alan tespitinde, Sentinel 2 ve Landsat 8 uyduları son zamanlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Yanmış orman alanının sınıflandırılmasında, temel sınıflandırma metotları; denetimli ve denetimsiz olarak iki gruba ayrılır. Çolak ve Sunar (2018) tarafından, denetimli sınıflandırma metoduyla yapılan bir çalışmada; yanmış orman alanı sınıflandırırken kullanılan Maksimum Benzerlik ve Destek Vektör Makine Algoritması ile sırasıyla %80,30 ve %97,52 oranında bir doğruluk elde edilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada Nesne Tabanlı Sınıflandırma metodu kullanılarak %90 doğruluk oranı elde edilmiştir (Çömert vd. 2017). Demir (2020) Tarafından gerçekleştirilen çalışmada da 2020 yılında Avustralya'da meydana gelen orman yangınları Google Earth Engine platformu üzerinde analiz edilmiştir.

## 1.2. SAR Verilerinin Yanar Orman Alanlarındaki Kullanımı

SAR verileri farklı çözünürlüklerde ve farklı polarizasyonlarla K, X, C, L ve P bantlarında (farklı dalga boyları) elde edilebilir. Bu bantların her biri, orman örtüsünün taşıdığı özelliklere bağlı olarak farklı nüfuz kabiliyetine sahiptir. X bandı, yapraklar ve bitki örtüsü yüzeyi ile etkileşime girer, dolayısıyla ağaç yüzey katmanı bilgisi elde edilmesi için uygundur. C bandı üst yüzeye nüfuz eder; yapraklar, küçük dallar ve altta yatan dallar tarafından saçılabilir. L bandı, orta yüzey tabakalarına nüfuz eder; iç, ana dallar tarafından ve toprak yüzeyden saçılabilir. P bandındaki geri saçılmanın çoğu, ağaç gövde ve gövde-zemin etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, L ve P bantları için meydana gelen saçılmaların bize orman biyokütlesi ile ilgili çalışmalar için kullanım olanağı sağlamaktadır.

**Şekil 2.** Ağaçlarda radar saçılmaları (Meyer, 2019)

SAR sinyallerinin polarizasyonu, orman dokusunu elde etmede önemli bir parametredir. Elektromanyetik dalgaların polarizasyonu elektrik alanının yönünü ifade eder. Dört SAR veri polarizasyonu kombinasyonu mevcuttur (Ghasemi vd. 2011);

HH: Yayılan ve geri saçılan sinyallerin yatay polarizasyonu.

YG: Yayılan sinyalin yatay polarizasyonu ve geri saçılmış sinyalin dikey polarizasyonu.

VH: Yayılan sinyalin dikey polarizasyonu ve geri saçılmış sinyalin yatay polarizasyonu.

VV: Hem yayılan hem de yansıyan sinyallerin dikey polarizasyonu.

C, L ve P bantları biyokütle tahmin çalışmalarının çoğunda sıklıkla kullanılır. Daha uzun dalga boyları (L ve P bandı) ve HV polarizasyonu AGB (toprak üstündeki biyokütle)'ye en duyarlıdır. P bandı gibi daha uzun dalga boylarındaki ikili polarize (HH ve VV) verilerin değişen yüzey koşullarına duyarlı olduğu bulunmuştur (Ghasemi vd. 2011). Çapraz polarize (HV ve VH) geri saçılma esas olarak ağaç gölgelik içindeki çoklu saçılmadan kaynaklanır ve yüzey durumundan daha az etkilenir. Daha uzun dalga boylarında geri saçılma; otlak, bataklık, temiz kesimler, orman yenilenme alanları ve genç plantasyonlar gibi düşük biyokütle sahaları için düşüktür bu nedenle, düşük yoğunluklu biyokütle tahminleri için C bandı tercih edilir (Ghasemi vd. 2011). P bandında, çim veya genç bitki türleri ile kaplı yüzeyler için çok düşük geri saçılma görülür, aynı yüzeyler C bandında pürüzlü olur. C bandının sınırlaması, bitki örtüsüne çok fazla nüfuz edememesidir.

SAR verilerinden biyofiziksel parametrelerin çıkarılması için frekansa bağlı analizler yapılmaktadır. L-bandı (2.0-1.0 GHz) ve P-bandı (1.0-0.3 GHz) gibi düşük frekanslı bantlar, bitki örtüsü kütlesine daha iyi nüfuz edebilir ve yapısal bileşenleri (yapraklar, dallar, gövdeler) ile daha kapsamlı etkileşime girebilir. Daha yüksek frekanslı bantlar (C band, 3.8-7.5GHz), esasen kanopinin üst kısmı ile etkileşime girme eğilimindedir. Eğik alımlarda yangından etkilenen bölgeleri dik geliş açılarına göre tespit etmek daha zordur. Bu nedenle dik açılar, taçlı yangın tipi için yanmış ve yanmamış ormanlar arasında daha iyi ayırt edilebilmesini sağlamaktadır. Eğik alım, ormanın üst katmanları yangından önemli ölçüde etkilenirse, yangın izlerini algılama olasılığı önemli ölçüde azaltmaktadır (Das, 2020). Elde edilen görüntülerin zamansal çözünürlüğü, yangın haritasını hassas şekilde çıkarma şansını artırmaktadır. Yangın döneminde (kuru dönem) ve yağışlı mevsimde yangından kısa bir süre sonra alınan görüntüler en uygun SAR veri kümesini oluşturur. Geliştirilmiş iki basit polarizasyon indeksi; RVI (Radar Bitki Örtüsü İndeksi) ve RFDI (Radar Orman Bozulma İndeksi) orman türlerinin izlenmesi için önerilmektedir ve mevcut uydu SAR sistemlerinden kolayca üretilebilir (Tablo 2).

**Tablo 2.** SAR bitki örtüsü indeksleri (Saatchi, 2019)

İndeks	Formülü	Özellikleri
Radar Bitki Örtüsü İndeksi (RVI)	$\frac{8\gamma_{HV}^0}{\gamma_{HH}^0 + \gamma_{VV}^0 + 2\gamma_{HV}^0}$	RVI pürüzsüz çıplak bir yüzey için elde edilen değer 0'a yakındır ve bitki örtüsü büyümesiyle artar. Biyokütleye karşı hassasiyeti yüksektir.
Radar Orman Bozulma İndeksi (Radar Forest Degradation Index-RFDI)	$\frac{\gamma_{HH}^0 - \gamma_{HV}^0}{\gamma_{HH}^0 + \gamma_{HV}^0}$	RFDI değerleri, yoğun ormanlar için 0,3'ten düşük, bozulmuş ormanlar için 0,4 ile 0,6 ve ormansızlaştırılmış alanlar için 0,6'dan yüksektir.

### 1.2.1. C-Bandı Geri Saçılma Katsayısının Davranışı

Yangın, geri saçılma katsayısını potansiyel olarak azaltan bitki örtüsü saçılma elemanlarının sayısını azaltmaktadır. Bununla birlikte biyokütle kaybı, daha az bitki örtüsü, nem ve pürüzlülük gibi toprak yüzey özelliklerinin artan etkisi nedeniyle zeminden saçılmayı artırabilir. Bu nedenle, yangınlardan etkilenen alanlardaki radar sinyalinin geri saçılma davranışı, özellikle yangın sonrası yağış meydana geldiğinde, yanmamış alanlara kıyasla toprak nemi özelliklerinden daha fazla etkilenebilir. Yağmur ve eriyen kar, radar sinyalini etkileyen ve sonuç olarak yangına bağlı değişikliklere karşı C-band hassasiyetini azaltan toprak neminin ana nedenleridir.

SAR tabanlı BA (Yanmış Alan) haritalaması, yangınla dolaylı olarak ilgili faktörler (örneğin sıcaklık, güneşe maruz kalma, rüzgâr, eğim ve yönelim, toprak pürüzlülüğü), toprak nemindeki uzamsal değişikliklerle daha da engellenebilir. Lokal Alım Açısı (LIA), yangına bağlı değişikliklere karşı C-bant hassasiyetini etkileyen bir başka faktördür. Son olarak, polarizasyon da temel bir değişkendir, çapraz polarize dalgalar bitki örtüsünde değişikliklere (hacimsel saçılma) daha duyarlı ve ikili polarize dalgalara göre yüzey özelliklerine (örn. toprak nemi ve pürüzlülüğü) daha az duyarlıdır. Bu zıt etkiler, SAR algılayıcısı karakteristikleri (örn. dalga boyu, polarizasyon, geliş açısı) ve SAR alımındaki çevresel koşullar (örn. yangın etkisi, toprak yüzeyi özellikleri, meteorolojik koşullar) arasındaki etkileşime bağlı olan yanmış alanlar üzerinde çok çeşitli olası geri saçılma varyasyonları oluşturabilir (Belenguer-Plomer vd. 2019).

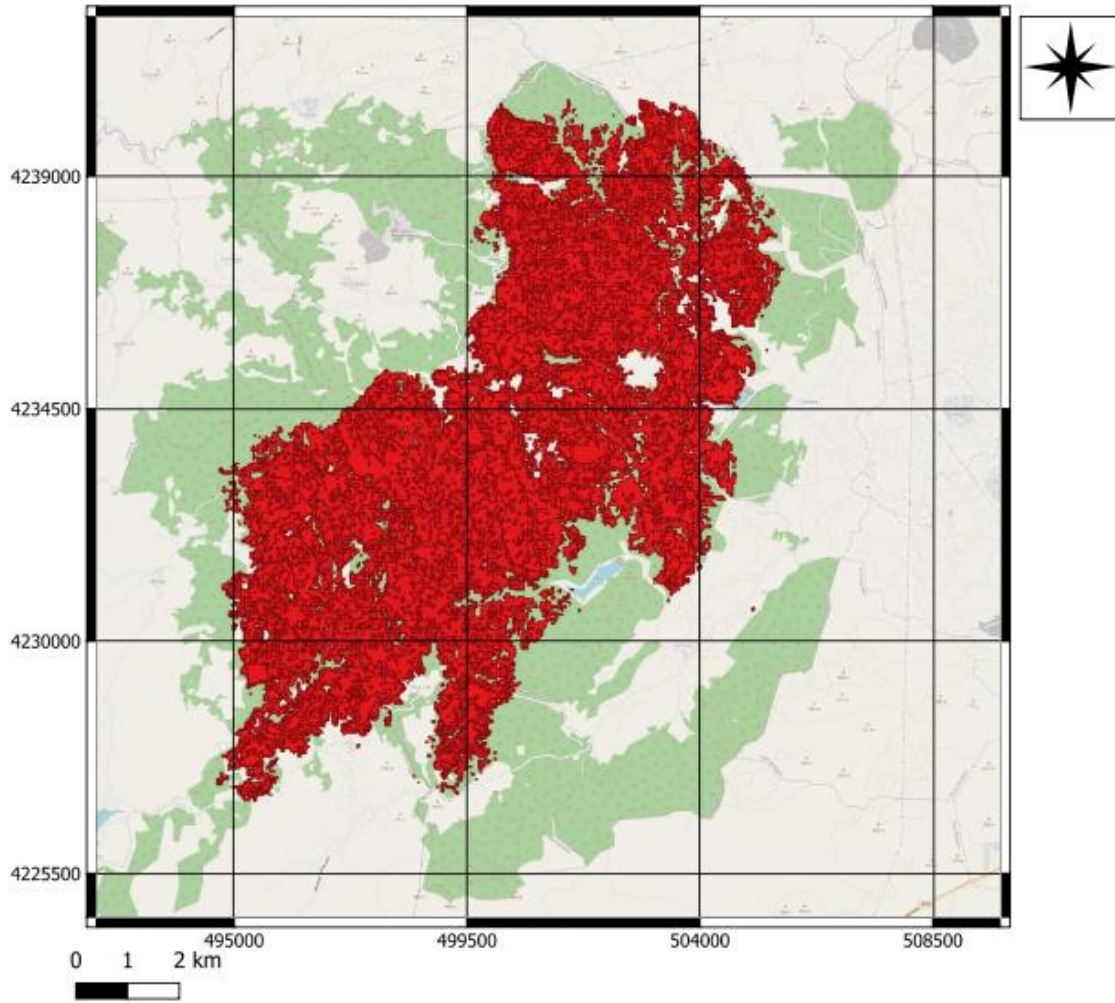
Yağıştan sonra, BA üzerindeki geri saçılma katsayısı arttıkça, yanmamış çevre ormandan ayırt edilmesi zordur. Ilıman bölgede ve Akdeniz havzasında, bitişik yanmamış ormana kıyasla çapraz polarize C-bandı için yangından etkilenen alanlarda daha düşük geri saçılma değerleri bulunmuştur (Imperatore vd. 2017). Toprak nemi yüksek olduğunda, C-bandı VV polarizasyonunda bitişik yanmamış alanlara kıyasla daha yüksek geri saçılma değerleri gözlenirken, daha iyi drenaja sahip bölgeler için daha düşük geri saçılma gözlemlenmiştir.

Yangın sonrası geri saçılma seviyelerindeki değişiklikler, toprak nemindeki değişikliklerle güçlü bir şekilde ilişkili gibi görünmektedir; yağış sonrası elde edilen veriler, sınıflandırma veya biyofiziksel parametrelerin geri alınması için daha az uygun olduğu değerlendirilmektedir (Gimeno ve San-Miguel-Ayanz, 2004). Bununla birlikte, Akdeniz havzasında yağıştan sonra BA için farklılaşma potansiyeli olduğunu bildirmiştir (Belenguier-Plomer vd. 2019).

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma Alanı

Bu makalede çalışma alanı olarak, İzmir ilinin güneybatısında yer alan Karabağlar bölgesi (38°14'59.75"K, 27° 0'19.27"D) bölgesi seçilmiştir. Bölgede hâkim bitki örtüsü maki ve orman olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma alanı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. İzmir Karabağlar orman yangını sonucu tahrip olan alan

Bölgede 18 Ağustos 2019'da meydana gelen orman yangınında başlangıçta sıcaklığın 35°C, nispi nemin %29, rüzgâr hızının 60-80 km/saat, rüzgâr yönünün de genelde kuzey (ağırlıklı olarak kuzeydoğu) olduğu raporlanmıştır. Yangının meydana geldiği bölge; çoğunlukla yüksek eğimli, GD-KB doğrultusunda derin vadilerle kaplı engebeli bir topoğrafyaya sahiptir. Yanan alanın büyük çoğunluğu yanma riski yüksek, 12-35 yaş aralığında ağaçlardan oluşmaktadır (TOD, 2019).

### 2.2. Veri Seti

Bu çalışmada İzmir ili Karabağlar ilçesinin 38°14'59.75"K 27° 0'19.27"D bölgesinde, 18 Ağustos 2019 tarihinde başlayan orman yangını uydu görüntüleri ile yangın öncesi ve sonrası yangın alanı tespit çalışması yapılmıştır. Çalışmada orta çözünürlüklü (mekânsal çözünürlük) uydu görüntüleri kullanılmıştır.

Uydu görüntüleri, United States Geological Survey (USGS, 2020), Copernicus (2020) ve OpenTopography (2020) web sayfalarından ücretsiz olarak temin edilmiştir. Landsat 8 ve Sentinel 2 uydu verileri ile yangın risk modeli oluşturmak için OpenTopography'den temin edilen DEM verisi kullanılmıştır. Radar görüntüleriyle yapılan analizler Google Earth Engine platformu üzerinden, "Sentinel-1A SAR GRD: C-band Synthetic Aperture Radar Ground Range Detected, log scaling" kataloğu (Google Earth Engine, 2020) yine ücretsiz olarak kullanılmıştır.

Kullanılan Sentinel 1A uydusunun SAR verileri; uydu geçişi Ascending modundayken alınmıştır. C bandının dalga boyu 5.405GHz olup yangın öncesi (13 Ağustos) ve yangın sonrası (25 Ağustos) alınan görüntüler VV ve VH polarizasyonlarındadır. SLC (Görüntüler Tekli Görünüm Kompleksi)'ne sahiptir. GRD (Zemin Aralığı Algılama) karelerinden oluşmuştur. Görüntülerin geliş açıları minimum 0° ile maksimum 90° arasında değişim göstermektedir. Mekânsal çözünürlük 10 metre (m)'dir (Google Earth Engine, 2020).

### 2.3. Kullanılan Yöntemler

Optik uydu görüntüler kullanılarak çeşitli indekslerin hesaplanması ile yanan alanların tespiti (NBR, dNBR, NDVI, dNDVI, BAI, BSI) ile Yangın risk modeli analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma; verilerin temini, ön işleme, bitki örtüsü ve yanan alan indekslerinin hesaplanması ile yanan alanların hesaplanması olmak üzere bir dizi bölümden oluşmaktadır. Son olarak da Sentinel uydusundan elde edilen dNDVI ve dNBR görüntülerinin sınıflandırılması sonucu elde edilen sınıflandırılmış alanlardan SAR görüntülerindeki geri yansımaya değerleri analiz edilmiştir. Çalışmamızda QGIS, SAGA-GIS ve Google Earth Engine platformları kullanılmıştır.

#### 2.3.1. Görüntü Önleme

Görüntü önleme aşamasında, jeoreferanslama işlemi uygulanmıştır. Bu çalışma için geometrik düzeltme uygulanırken En Yakın Komşuluk Yöntemi seçilmiştir. Radyometrik düzeltme ile de verilerdeki modellenemeyen atmosferik etkilerin giderilmesi ve objeleri tam olarak temsil etmeyen yansımaların düzeltilmesi gerçekleştirilmiştir. Her iki işlem de görüntü sınıflandırma adımıyla önce görüntülere uygulanmaktadır (KTÜ, 2020).

Bu çalışmada USGS sayfasından elde edilen, Sentinel 2 ve Landsat 8 görüntülerine, görüntü ön işleme adımları uygulanmıştır. SAR görüntülerine ise, görüntülerin analiz edildiği platform sağlayıcısı Google Earth Engine radyometrik ve termal görüntü kalibrasyonu ile arazi düzeltmesi yapıldığı için sadece Benek Filtresi uygulanmıştır. Ayrıca SAR görüntüleri platform sağlayıcısı tarafından desibel (db)'e dönüştürülmüştür (Google Earth Engine, 2020).

#### 2.3.2. Spektral Oranlama

Bu çalışmada yangın alanının uydu görüntüleri kullanılarak analizini yapmak için NBR, BAI, BSI ve NDVI indeksleri görüntüler üzerinde uygulanmıştır.

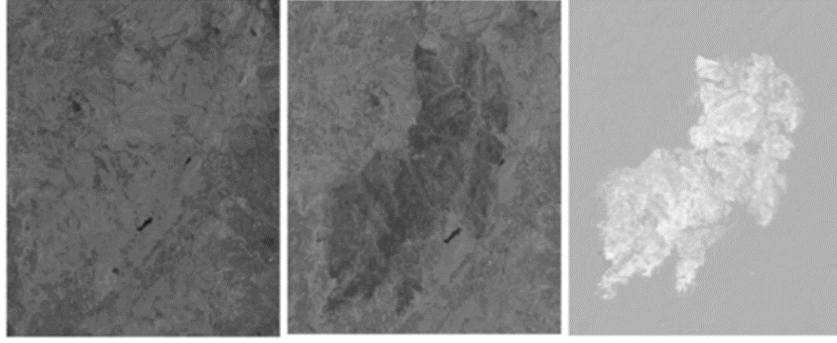
#### NDVI (Normalize Bitki Örtüsü İndeksi) ve dNDVI (Fark Normalize Bitki Örtüsü İndeksi)

NDVI, yakın kızıl ötesi ve kırmızı bant görüntülerinin matematiksel bir oranla ifade edilmesidir ve bitki örtüsünün izlenmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır (Denklem 1). İlgili bağıntı aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Denklem 1).

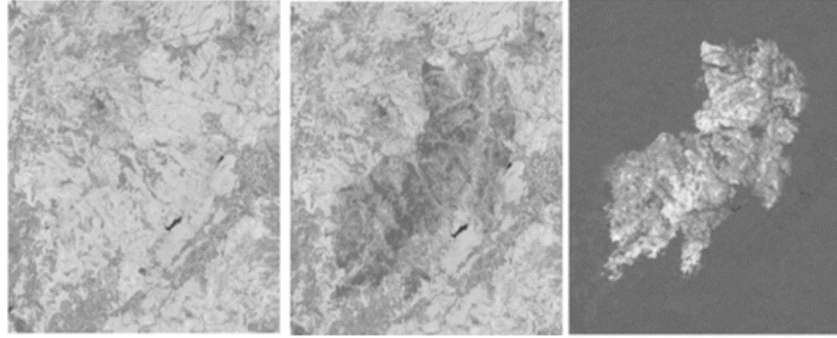
$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (1)$$

$$dNDVI = NDVI_{pre} - NDVI_{post} \quad (2)$$

Yangın öncesi ve sonrası görüntüler için NDVI hesaplanarak ilgili farklarla (dNDVI) yanan alanlar belirlenebilmektedir. Yangın öncesi ve sonrası NDVI değerleri yüksek oranda farklıdır, bu da görüntüde farklı tonlarda görülmektedir (Şekil 4 ve 5).



**Şekil 4.** Landsat 8 uydu görüntüsünün yangın öncesi (sol), yangın sonrası NDVI analizi sonucu (orta) ve bu iki görüntünün farkından elde edilen dNDVI görüntüsü (sağ)



**Şekil 5.** Sentinel 2 uydu görüntüsünün yangın öncesi (sol), yangın sonrası NDVI analizi sonucu (orta) ve bu iki görüntünün farkından elde edilen dNDVI görüntüsü (sağ)

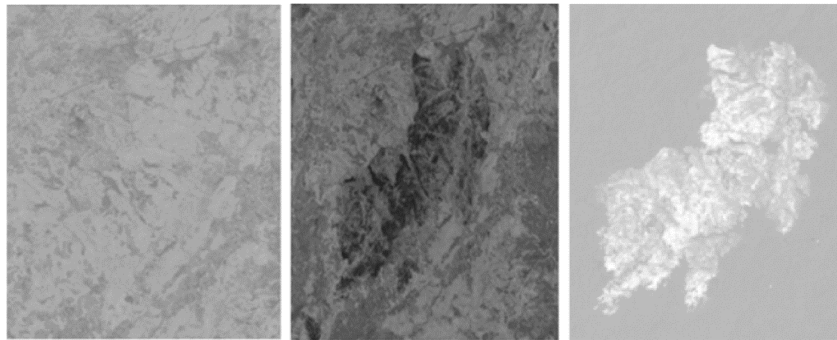
#### **NBR (Normalize Yanma Oranı) ve dNBR (Fark Normalize Yanma Oranı)**

NBR, orman yangınlarının etkilediği alanların tespitinde kullanılmaktadır. NBR, NIR ve SWIR2 bantları hesaplamada kullanılır (Denklem 3).

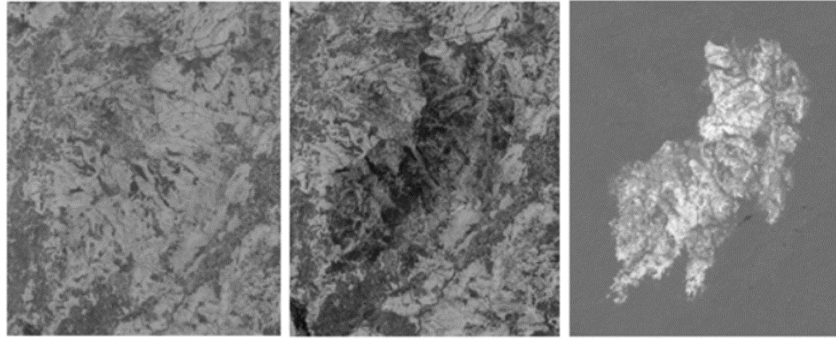
$$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (3)$$

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post} \quad (4)$$

dNBR ise meydana gelen orman yangını öncesi ve sonrası hesaplanan değerlerin birbirinin farkı ile elde edilmektedir (Denklem 4). Ayrıca, bu hesaplama ile birlikte karbon salınımı, aerosol üretimi ve biyokütle parametrelerinde meydana gelen değişimlerin ortaya konması ile yanma şiddeti hesaplanabilmektedir (Sabuncu ve Özener, 2019).



**Şekil 6.** Landsat 8 uydu görüntüsünün yangın öncesi (sol), yangın sonrası NBR analizi sonucu (orta) ve bu iki analizin farkından elde edilen dNBR görüntüsü (sağ)



**Şekil 7.** Sentinel 2 uydu görüntüsünün yangın öncesi(sol), yangın sonrası NBR analizi sonucu(orta) ve bu iki analizin farkından elde edilen dNBR görüntüsü(sağ)

dNBR indisi ile yapılan hesaplama sonucu literatürde aldığı değerlerin -2,00 ile +2,00 arasında olduğu görülmüştür (Key vd. 2006). Çalışmamızda yanmış alanlar; -0,33 ile 1 arasında değişirken, yanmamış alanlar -1 ile +1 arasında değişmektedir.

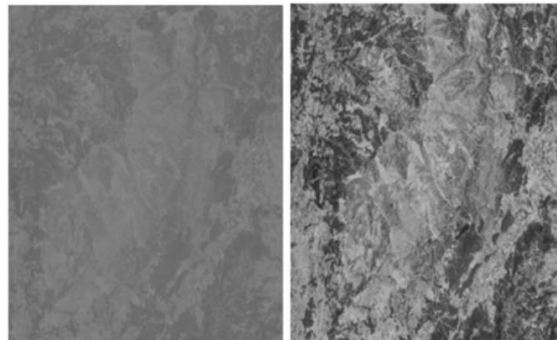
#### **Yanık İzi İndeksi (Burn Scar Index-BSI)**

Toprak özelliklerini incelemek için mavi, kırmızı, NIR ve SWIR spektral bantları içeren bir indekstir. (Denklem 5, Landsat 8 uydusunun sahip olduğu bantlar kullanılarak hesaplanan ifade). Spektral bantlar normalleştirilmiş halde kullanılır. SWIR ve kırmızı spektral bantlar toprak mineral bileşimini ölçmek için kullanılırken, mavi ve NIR spektral bantlar bitki örtüsünün tespitinde kullanılır. (Denklem 6, Sentinel 2 uydusunun sahip olduğu bantlar kullanılarak hesaplanan ifade) Yeşil bitki alanı NDVI'da 0,21 ile 0,23 arasındadır. Bu alanlar yüzey indeksine yakın değere sahip olduğunda, ayırmak için bir çalışmada BSI kullanılmıştır (Çömert vd. 2017).

BSI incelendiğinde aldığı değerler, Landsat 8 uydu görüntüsü ile oluşturulan indekslerde 0 ile 200 arasındayken, Sentinel 2 uydu görüntüsü ile oluşturulan indeksler 57 ile 140 aralığında değiştiği görülmüştür.

$$BSI = \frac{(SWIR1+Red)-(NIR+Blue)}{(SWIR1+Red)+(NIR+Blue)} \quad (5)$$

$$BSI = \frac{(Red\ edge\ (6)+Red)-(Red\ edge\ (5)+Blue)}{(Red\ edge\ (6)+Red)+(Red\ edge\ (5)+Blue)} \quad (6)$$



**Şekil 8.** Sırasıyla Landsat 8 ve Sentinel 2 uydularının yangın sonrası görüntülerinden elde edilen BSI görüntüsü

Çalıştığımız alanın yangından sonra elde edilen görüntüsünde farkın az olmasının sebebinin diri örtü yoğunluğunun düşük olması (TOD, 2019) olarak değerlendirilmektedir.

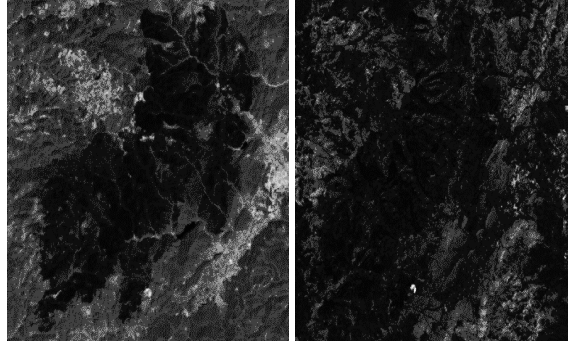
#### **Yanmış Alan İndeksi (Burned Area Index-BAI)**

Bu indeks, yangın sonrası görüntülerde ki yanan alanları tespit etmek için kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar kullanılarak hesaplanır (Denklem 7). Analiz sonucu oluşan görüntülerde daha koyu pikseller, yanmış alanları gösterir (Şekil 9).



$$BAI = \frac{1}{\left(0.1 - \frac{Red}{1000}\right)^2 + \left(0.06 - \frac{NIR}{1000}\right)^2} \quad (7)$$

BAI indeksi incelendiğinde aldığı değerler, Landsat 8 uydu görüntüsü ile oluşturulan indekste 0,02 ile 1660 arasındayken Sentinel 2 uydu görüntüsü ile oluşturulan indekste 1,03 ile 33,50 aralığında değiştiği görülmüştür.



Şekil 9. Sırasıyla Landsat 8 uydusuna ait yangın sonrası ve öncesi BAI görüntüsü

Bu analiz sonucuna göre yangın sonrası görüntü yanmış alanların yanmamış alanlara göre daha koyu görülmektedir.

### 2.3.3. Yangın Risk Modeli

Yangın riski, sıcak esen rüzgâr doğrultusunda, eğimli alanlardaki bitki örtüsünün biyokütle yoğunluğu ile ifade edilir (El-Sheimy vd. 2005). Sıcak esen rüzgâr doğrultusunda bakan, eğimin fazla olduğu yoğun biyokütleyle sahip alanlar, yüksek risk altındadır. Eğim ne kadar yüksekse alevinin yayılış oranı o kadar fazladır (Bengueraı vd. 2019).

Yangın risk analizi için dikkate almamız gereken üç faktör vardır: eğim (DEM'den), baki (DEM'den) ve bitki yoğunluğu (Landsat 8 ve Sentinel 2, NDVI) olarak sıralanabilir. Sıcak esen rüzgâr yönünün Güney-Kuzey olduğu ve üç faktörün her birine bakıldığında, ilgili risk modeli eğim, baki ve NDVI bileşenlerinden oluşacaktır (Bengueraı vd. 2019) (Şekil 11).

#### Eğim

Eğim, yangın yayılma oranını etkileyen bir parametredir. Ateş, eğimin az olduğu bölgelerde daha hızlı yükselirken eğimin fazla olduğu bölgelerde daha yavaş yükselir. Yangının yayılma hızı, arazinin eğimine ve ısı taşınım sürecine etkileyen parametrelere (rüzgâr, vs.) bağlı olarak yanma şiddetini artırabilir (Bengueraı vd. 2019).

Eğim, 90° olduğunda yüksek riski ifade ederken, 0° eğim ise riskin düşük olduğunu ifade eder. Bunun için her bir indeksi 0'dan 1'e normalleştirmek için eğimi 90°'ye böleriz (Denklem 8).

$$\frac{Eğim}{90} \quad (8)$$

#### Baki

Baki, güneş ışınımının düştüğü yüzey alanının miktarı ile ilişkilidir. Bitki örtüsü tipik olarak güneye bakan yamaçlarda kuzeye bakanlardan daha kuru ve daha az yoğundur. Kurutucu güneş ışınları ateşlenme riskine sebep olabilir. Ek olarak, doğu yönleri, batı yönlerinden gün içinde daha fazla mor ötesi ve doğrudan güneş ışığına maruz kalır. Dolayısıyla, doğu yönündeki bitki örtüsü tutuşmaya daha eğilimlidir (Bengueraı vd. 2019).

Yönüne bağlı olarak, güneye bakan alanlar en yüksek yangın riskine sahipken, kuzeye bakan alanlarda risk daha düşüktür. Bunu 1 (yüksek) ile 0 (düşük) yangın riski arasında ifade etmek için Denklem 9 kullanılmıştır.

$$1 - \left| \frac{180 - Baki}{180} \right| \quad (9)$$

#### NDVI

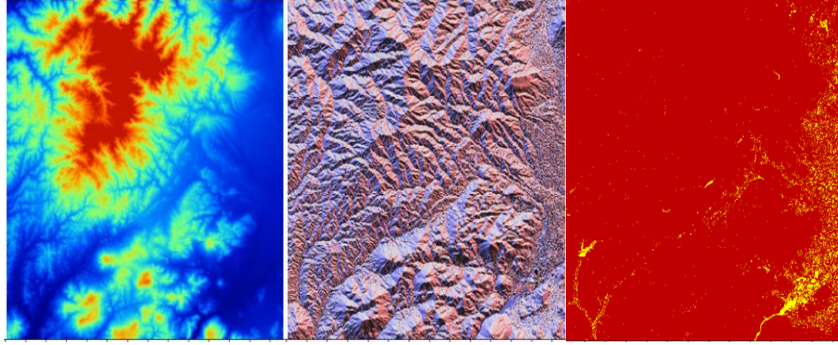
NDVI değeri, bölgede bulunan biyokütle miktarı hakkında bilgi sağlamak için uygun bir indekstir. -1 ila 1 arasında değişecek şekilde normalize edilmiştir, 1'i yüksek bitki örtüsü biyokütlesi ve -1'i düşük biyokütleyle sahip olduğunu ifade

eder (Benguerai vd. 2019). Bunu 1'den (yüksek risk) 0'a (düşük risk) indirmek için Landsat 8 ve Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılarak hesaplanan NDVI görüntüleri Denklem 10'da yerine yazılarak hesaplanmıştır.

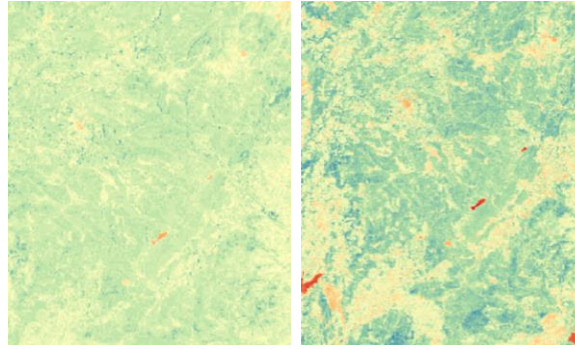
$$\frac{NDVI+1}{2} \quad (10)$$

Sonuç olarak yangın risk modeli için El-Sheimy vd. (2005) tarafından önerilen model aynen alınıp çalışmamızda kullanılmıştır.

$$Risk = \frac{\frac{Eğim}{90} + 1 - \left| \frac{180 - Bakı}{180} \right| + \frac{NDVI+1}{2}}{3} \quad (11)$$



Şekil 10. Sırasıyla Alos DEM verisi, eğim görüntüsü ve bakı görüntüsü



Şekil 11. Sırasıyla Landsat 8 ve Sentinel 2'nin yangın risk analizi sonucu

Bu işlem sonucunda, Şekil 11'de kırmızı renkler yangın riskinin düşük olduğu bölgeler koyu yeşil-mavi bölgeler ise yangın riskinin yüksek olduğu bölgeleri göstermektedir. Sentinel 2 uydusu kullanılarak yapılan analizde alanlar daha belirgin görülmektedir. Kullanılan uyduların mekânsal çözünürlüğü yapılan analizin sonucunu değiştirmiştir (Şekil 11). Bu analizden hareketle, yanma riski yüksek ağaçların potansiyel yanıcılık oranı (konumu, yüzey eğimi vs. parametrelere bağlılık oranı) meydana gelen yangının sebebini açıklayabilmektedir.

#### 2.3.4. Sınıflandırma

Çalışmada kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır.

##### Kontrolsüz Sınıflandırma Metodu

Bu çalışmada Sentinel 2 ve Landsat 8 uydu görüntüleri üzerinde hesaplanmış dNBR ve dNDVI indeks görüntüleri üzerinde kontrolsüz sınıflandırma metodu uygulanmıştır. Çok yanmış, yanmış ve zarar görmüş alanları hesaplamak için sonuç görüntüler vektör haline getirilmiş ve toplamda oluşan 12 farklı görüntü katmanı (Sentinel; dNDVI; çok yanmış, yanmış, zarar görmüş. dNBR; çok yanmış, yanmış, zarar görmüş.)(Landsat 8; dNDVI; çok yanmış, yanmış, zarar görmüş. dNBR; çok yanmış, yanmış, zarar görmüş) için ayrı ayrı alanlar hesaplanmıştır. Yanmış, çok yanmış ve zarar görmüş alanların hesaplama sonucu Tablo 3'de, doğruluk analizi sonucu Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Kontrolsüz sınıflandırma metoduna göre dNBR ve dNDVI indeksleri kullanılarak hesaplanan alanlar

	Çok Yanmış Alan [Km <sup>2</sup> ]	Yanmış Alan [Km <sup>2</sup> ]	Zarar Görmüş Alan [Km <sup>2</sup> ]	Toplam Yanan Alan [Km <sup>2</sup> ]
Sentinel 2 dNBR	9,968	27,625	20,679	58,272
Landsat 8 dNBR	6,892	30,835	27,151	64,878
Sentinel 2 dNDVI	7,361	21,999	36,285	65,645
Landsat 8 dNDVI	1,976	22,596	41,535	66,108

**Tablo 4.** Yapılan kontrolsüz sınıflandırmanın doğruluk analizi sonuçları

Uydular	Sentinel						Landsat					
	dNDVI			dNBR			dNDVI			dNBR		
Seviye	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş
Tespit edilen Alan [km <sup>2</sup> ]	7.36081	22	36.2849	9.9683	27.625	20.67901	1.9762	22.596	41.53497	6.89153	30.835	27.1514
Hesaplanan Alan [km <sup>2</sup> ]	65.645179			58.272071			66.107568			64.878384		
Referans Vektör Veri (RV) [km <sup>2</sup> ]	72.38296056						69.75478256					
RV'de Orman Olmayan Alan [km <sup>2</sup> ]	6.737781559			14.11088956			3.647214559			4.876398559		
Vektör Dışındaki Alan [km <sup>2</sup> ]	0	0.0009	0.0018	0	0.0016	0.001601	0	0.0009	0.000901	0	0.0004	0.0016
Tamlık [km <sup>2</sup> ]	72.38025856			72.37975856			69.75298056			69.75278156		
Doğruluk [km <sup>2</sup> ]	65.642477			58.268869			66.105766			64.876383		
Doğruluk Hata Oranı (%)	0.004116237			0.005495216			0.002725935			0.003084327		

\*Tamlık; Referans vektörü kesişim orman alanı, \*Doğruluk; orman alanı kesişim referans alanı

### ISODATA Sınıflandırma Algoritması

Bu çalışmada önceki uygulanan sınıflandırmaya ek olarak Sentinel 2 ve Landsat 8 uydu görüntülerinde, ISODATA (İteratif Kendiliğinden Organize Veri Analizi) algoritması kullanılmıştır. Tüm görüntüler dNBR indeks görüntülerinde 11 sınıfta, dNDVI indeks görüntülerinde 10 sınıfta sınıflandırılmıştır. Saha çalışmasından elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır.

Sınıflandırılmış alanlar; çok yanmış, yanmış ve zarar görmüş alanlara ayrılarak toplamda 12 farklı görüntüde alan hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama sonuçları Tablo 5'de yapılan doğruluk analizi sonuçları da Tablo 6'da gösterilmiştir.

**Tablo 5.** dNBR ve dNDVI indeksleri kullanılarak ISODATA sınıflandırma algoritması sonucu hesaplanan alanlar

	Çok Yanmış Alan [Km <sup>2</sup> ]	Yanmış Alan [Km <sup>2</sup> ]	Zarar Görmüş Alan [Km <sup>2</sup> ]	Toplam Yanan Alan [Km <sup>2</sup> ]
Sentinel 2 dNBR	18,755	15,638	17,450	51,843
Landsat 8 dNBR	6,904	30,748	27,158	64,810
Sentinel 2 dNDVI	11,296	20,219	15,472	46,987
Landsat 8 dNDVI	20,215	24,335	19,689	64,238

**Tablo 6.** Yapılan ISODATA kontrolsüz sınıflandırmasının doğruluk analizi sonuçları

Uydular	Sentinel						Landsat					
Görüntüler	dNDVI			dNBR			dNDVI			dNBR		
Yanma Seviye	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş
Yanan Alan [km <sup>2</sup> ]	11,296	20,219	15,472	18,755	15,638	17,450	20,215	24,335	19,689	6,904	30,748	27,158
Tespit Edilen Orman Alanı [km <sup>2</sup> ]	47			52			64			65		
Referans Vektörü (RV)[km <sup>2</sup> ]	72.38						69.75478256					
Vektör Dışındaki Alan [km <sup>2</sup> ]	0.038508	0.224	0.57552	0.082	0.1712	3.1716	0	0.1552	2.83584	0	0.1504	0.83318
Tamlık [km <sup>2</sup> ]	71.54456456			68.95827356			66.76372056			68.77117056		
RV'da Orman Olmayan Alan [km <sup>2</sup> ]	25.40			20.54			6			4.94478256		
Doğruluk [km <sup>2</sup> ]	46.14456454			48.42			61.246938			63.826388		
Doğruluk Hata Oranı (%)	1.8538163			7.073123345			4.883610671			1.541074203		

\*Tamlık; Referans vektörü kesişim orman alanı, \*Doğruluk, orman alanı kesişim referans alanı

### 2.3.5. SAR verilerinin orman yangınları analizinde kullanımı

Yangın, bitki örtüsünün dielektrik (su içeriği) miktarını azaltır ve ayrıca ormanın ağaç geometrisini, gövde özelliklerini (kompozisyon, yoğunluk) ve mekansal özelliklerini (bitki örtüsü, pürüzlülüğü) değiştirmektedir (Das, 2020).

Bu çalışmada Sentinel 1A uydusu ile yangın öncesi (13 Ağustos) ve yangın sonrası (25 Ağustos) saçılma değerleri analiz edilmiştir. Burada öncelikle dNDVI ve dNBR ile tespit edilen alanlardaki saçılma karakteristiği ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. İlgili analizler Google Earth Engine Platformu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 7'de gösterilmiştir.

Analiz sonucunda elde edilen geri saçılma değerlerinde, VV polarizasyonunda özellikle dNBR indeksinde önemli azalmalar görülmektedir. Bunun sebebinin Rücker ve Siegert (2000), yaptıkları çalışmada, yangının geri saçılma katsayısı üzerindeki etkisinin aslında belirsiz etkilere neden olduğunu tespit etmişlerdir. Kuru hava koşullarında C-bandı VV polarizasyonunda yanmış tropikal ormanlar için, azalan hacim ve artan ısı akısı daha kuru bir zemine yol açar dolayısıyla güçlü bir geri saçılma azalması gözlemlenir (Rücker vd. 2000). Çalışılan alanda yangın sonrasında SAR verilerinin alındığı tarihte havanın kuru (bağıl nem seviyesi %40 ve %40'ın altında) %39 bağıl nem oranına sahip olması gözlenmektedir.

dNDVI ve dNBR indekslerinde, gruplandırılan alanlar arasında saçılma değerlerinin birbirinden farklı sonuçlar vermesinin sebebi; indeksleri oluşturan farklı spektral aralıkların bitki sağlığına duyarlılığının değişkenlik göstermesidir. Biyokütlerdeki değişimi her iki indekste tespit ettiği alanların yapısının farklı olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Orman yangınlarıyla yapılan çalışmalarda VH polarizasyonda VV polarizasyona göre belirgin bir değişimin olmamasının sebebi; yangın sonrası orman bitki örtüsünde büyük bir değişiklik meydana gelmedikçe, yanmış alanlardan elde edilen SAR verilerinde belirgin farklılıklara rastlanmamasıdır. Yapılmış benzer bir çalışmada Sentinel-1 C-bandı geri saçılma miktarı, yangın öncesi ve sonrası sonuçları, optik uydu görüntülerinin verileriyle karşılaştırılmıştır. Sentinel-1 C-bandı geri yansımaları (VH) yangının verdiği yapısal değişikliklere duyarlı olduğunu kanıtlamıştır (Belenguer-Plomer vd. 2019). Bunun en büyük sebeplerinden bir tanesi C bandının dalga boyunun ağaç kanopi alanından içeriye nüfus edememesidir (Ghasemi vd. 2011). dNDVI veya dNBR indeksleriyle yanmış olarak tespit edilen alanların yanık morfolojisinin kanopi bölgesi dışında orman tabanında oluşan tahribata dair veri alamamasından kaynaklı olduğu değerlendirilebilir.

Çalışılan bölgenin, yanan alanın yaklaşık %60-65'inin düşük enerjili (Çam ibrelerinin tüketilmeden sadece kavrulduğu) bir yangına maruz kaldığı tespit edilmiştir (TOD, 2019). Yangın türünün düşük enerjili oluşu ağaçlar üzerinde olduğu gibi duran kavrulmuş iğne yaprakların yangın öncesindeki orman örtüsünün şeklini değiştirmemesi, yaptığımız analizdeki geri yansıma değerlerinin neden önemli ölçüde değişmediğinin bir göstergesidir.

**Tablo 7.** SAR görüntülerinden elde edilen saçılma değerlerinin istatistiksel hesaplama sonuçları

Uydu	Sentinel 1					
İndeksler	dNDVI			dNBR		
Sınıflandırma	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş	Çok Yanmış	Yanmış	Zarar Görmüş
<b>Yangın Öncesi</b>						
<b>VV polarizasyon</b>						
Ortalama (db)	-8.153085459	-5.665413358	-12.10764268	-10.01224893	-13.23835667	-13.04083485
Standart Sapma (db)	0.33895205	0.203390897	1.893850721	1.340953293	0.177831024	0.106938421
Median (db)	-8.168359576	-5.639722928	-12.65697149	-9.824723801	-13.22822201	-13.03523122
<b>VH polarizasyon</b>						
Ortalama (db)	-10.62590163	-13.876068	-16.27746816	-13.6243273	-17.07833177	-18.47740985
Standart Sapma (db)	1.487178178	0.528325563	2.037951531	0.770771935	0.203819853	0.323541203
Median (db)	-10.31098955	-13.87336552	-16.03299411	-13.44362013	-17.06197247	-18.48800967
<b>Yangın Sonrası</b>						
<b>VV polarizasyon</b>						
Ortalama (db)	-7.286774001	-6.686124103	-10.60786432	-8.024909543	-9.696060363	-8.967815945
Standart Sapma (db)	0.867770206	0.340915684	1.557948557	1.025371027	0.309765647	0.190373793
Median (db)	-7.552090212	-6.683895199	-10.30004828	-7.835735348	-9.66974765	-8.924261911
<b>VH polarizasyon</b>						
Ortalama (db)	-10.65899359	-14.61103319	-16.82311989	-15.36982152	-18.36593231	-17.97659691
Standart Sapma (db)	0.364735593	0.43085388	1.480587323	1.84595294	0.111840285	0.707060131
Median (db)	-10.62823992	-14.48116377	-16.98616224	-15.16973647	-18.38132528	-17.95366245

### 3. Tartışma ve Sonuçlar

Gerçekleştirilen bu çalışmada İzmir ilinin Karabağlar ilçesinde meydana gelen orman yangını MSI ve SAR veri setleri kullanılarak uzaktan algılama yöntemleriyle analiz edilmiştir. Çok bantlı görüntülerle yapılan hesaplamalarda dNDVI ve dNBR indeksinden elde edilen sonuçlar yanmış alan hesaplamasında kullanılmıştır. Her iki sınıflandırmada elde edilen hesaplamalar sonucunda ilk uygulanan kontrolsüz sınıflandırma metodunun, ISODATA algoritması kullanılarak yapılan sınıflandırmaya göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Ekoloji Birliği'nin açıklamasına göre yaklaşık 6500 ha alan yanmıştır (Ekoloji Birliği, 2019). Basın açıklamasında belirtilen yanan alan miktarına en yakın hesaplanan alan ISODATA sınıflandırılmasında, Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılarak 6480 ha olarak bulunan dNBR indeksidir. İlk uygulanan kontrolsüz sınıflandırmada ise Sentinel 2 uydu görüntüsü kullanılarak 6564 ha olarak hesaplanan dNDVI indeksi olmuştur. Alan hesaplamaları üzerinde yapılan doğruluk analizi sonuçlarına göre ilk uygulanan kontrolsüz sınıflandırma metodu ISODATA sınıflandırma metoduna göre daha doğru sonuçlar vermektedir.

Yangın risk analizi sonucuna göre yanan alanın yanmaya karşı hassas olduğu görülmüştür. MSI ile yapılan değişim tespiti analizlerinde yanmış alan belirgin bir şekilde görülürken SAR görüntüleriyle yapılan analizlerde kullanılan band aralığı (C band) ve polarizasyon (VV ve VH) sebebiyle yangın öncesi ve yangın sonrası arasında geri yansıma değerlerinde gözle görülür bir fark tespit edilememiştir. Çalıştığımız bölgenin, yanan alanın yaklaşık %60-65'inin düşük enerjili (Çam ibrelerinin yok olmadan sadece kavrulduğu) bir yangına maruz kaldığı tespit edilmiştir (TOD, 2019). Kullandığımız C bandının yüksek enerjili dalga boyunda olması ve orman kanopisine fazla nüfus edememesi yaptığımız analizdeki geri yansıma değerlerinin neden önemli ölçüde değişmediğinin bir göstergesidir. Literatürde de bahsedildiği üzere SAR verileri ile yanmış orman alanlarına uygulanan değişim tespiti analizlerinde kullanılan bantların L veya P gibi uzun dalga boyu seçimi ve polarizasyonların HH ve HV seçilmesinin, belirgin farklar elde edileceği belirtilmiştir. Google Earth Engine platformu üzerinde yapılan SAR analizlerinde L veya P bandına ait bir kataloğun olmaması, C band kataloğunda HH ve HV bantlarının olmaması, çalışmamızı yaparken SAR görüntülerinin işlenmesi aşamasında yaşadığımız zorluklardan birisi olmuştur.

## Kaynaklar

- Belenguer-Plomer, M.A., Tanase, M.A., Fernandez-Carrillo, A., & Chuvieco, E. (2019). Burned area detection and mapping using Sentinel-1 backscatter coefficient and thermal anomalies. *Remote Sensing of Environment*, 233: 111345, doi: 10.1016/j.rse.2019.111345.
- Benguerai, A., Benabdeli, K., & Harizia, A. (2019). Forest fire risk assessment model using remote sensing and GIS techniques in Northwest Algeria. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica: An International Journal in Forest, Wood and Environmental Sciences*, 15(1), 9-21.
- Copernicus. (2020, Mayıs 25). *Copernicus Open Access Hub*, Retrieved from <https://scihub.copernicus.eu/>
- Çolak, E. & Sunar, F. (2018, Eylül). Yüzey sıcaklığı ve spektral yanma indekslerinin orman yangını analizinde kullanımı. In *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*, 2018. (pp. 311-320). UZAL-CBS.
- Çömert R., Küçük Matcı, D., Emir, H. & Avdan, U. (2017, Nisan). Uydu görüntüleri kullanılarak orman yangınlarının haritalanması. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) IX. Teknik Sempozyumu*, 2017. TUFUAB.
- Das, A. K. (2020, Mayıs 25). *Advanced SAR Techniques for Forest Applications*, Retrieved from [https://vedas.sac.gov.in/vedas/downloads/ertd/SAR\\_And\\_HyperSpectral/Notes.pdf](https://vedas.sac.gov.in/vedas/downloads/ertd/SAR_And_HyperSpectral/Notes.pdf)
- Demir, N. (2020). NDVI analysis of Australian Bushfires with cloud computing. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), 78-84.
- Ekoloji Birliği. (2019, Eylül 3). *TMMOB'dan İzmir'deki orman yangınları ile ilgili şok eleştiriler*. Retrieved from <https://ekolojibirligi.org/tmmobdan-izmirdeki-orman-yanginlari-ile-ilgili-sok-elestiriler/>
- El-Sheimy, N., Habib, A., & Valeo, C. (2005). *Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation, and Applications*. Boston: Artech House Publishers.
- Ghasemi, N., Sahebi, M. R., & Mohammadzadeh, A. (2011). A review on biomass estimation methods using synthetic aperture radar data. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1(4), 776-788.
- Gimeno, M., & San-Miguel-Ayanz, J. (2004). Evaluation of RADARSAT-1 data for identification of burnt areas in Southern Europe. *Remote Sensing of Environment*, 92(3), 370-375.
- Google Earth Engine. (2020, Mayıs 25). *Data catalog, Sentinel-1 SAR GRD: C-band synthetic aperture radar ground range detected, log scaling*. Retrieved from [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS\\_S1\\_GRD](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S1_GRD)
- Imperatore, P., Azar, R., Calo, F., Stroppiana, D., Brivio, P. A., Lanari, R., & Pepe, A. (2017). Effect of the vegetation fire on backscattering: an investigation based on Sentinel-1 observations. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(10), 4478-4492.
- Key, C.H & Benson, N.C. (2006). *Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio* (Report No. RMRS-GTR-164-CD: LA 1-51). Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- KTÜ. (2020, Mayıs 25). *Uzaktan algılamada uydu görüntülerine uygulanan işlemler*, Retrieved from [http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani\\_09c24.pdf](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_09c24.pdf)
- Liu, S., Zheng, Y., Dalponte, M., & Tong, X. (2020). A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. *European Journal of Remote Sensing*, 53(1), 104-112.
- OpenTopography. (2020, Mayıs 25). *OpenTopography high resolution topography data and tools*, Retrieved from <https://opentopography.org/>
- Meyer, F. (2019). Spaceborne Synthetic Aperture Radar: Principles, Data Access, and Basic Processing Techniques. In A. Flores, K. Herndon, R. Thapa & E. Cherrington (Eds.), *SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*, (pp. 21-62), National Space Science and Technology Center, Huntsville, AL: NASA.
- Ruecker, G., & Siegert, F. (2000). Burn scar mapping and fire damage assessment using ERS-2 SAR images in East Kalimantan, Indonesia. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B7/3 Part 7), 1286-1293.
- Saatchi, S. (2019). SAR Methods for Mapping and Monitoring Forest Biomass. In A. Flores, K. Herndon, R. Thapa & E. Cherrington (Eds.), *SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*, (pp. 207-253), National Space Science and Technology Center, Huntsville, AL: NASA.
- 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.
- Taşcı İ. & Avdan, Z. Y. (2018, Eylül). Orta çözünürlüklü uydu görüntülerinden değişim saptama ile yanmış orman alanların haritalanması. In *VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*. 2018. (pp. 880-887). UZAL-CBS.
- TOD. (2019, Ağustos 18). *Türkiye Ormancılar Derneği Tarihli İzmir orman yangını ile ilgili basın açıklaması*. Retrieved from [https://www.ormancilardernegi.org/dosyalar/files/TOD\\_izmir\\_yangini\\_basin\\_bildirisi%2812.09.2018%29.pdf](https://www.ormancilardernegi.org/dosyalar/files/TOD_izmir_yangini_basin_bildirisi%2812.09.2018%29.pdf)
- USGS. (2020, Mayıs 25). *USGS Home Page*, Retrieved from <https://www.usgs.gov/>