



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORMAN YANGINLARI SONRASI TAHRİBATIN VE YENİDEN
YEŞİLLENMENİN GOOGLE EARTH ENGINE İLE
İZLENMESİ: HATAY İLİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilruba Zuhul AKKOYUNLU

DANIŞMAN

Doç. Dr. Esra GÜRBÜZ

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 222306736 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Dilruba Zuhal AKKOYUNLU tarafından hazırlanan “**ORMAN YANGINLARI SONRASI TAHRİBATIN VE YENİDEN YEŞİLLENMENİN GOOGLE EARTH ENGINE İLE İZLENMESİ: HATAY İLİ ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Esra GÜRBÜZ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Tarık TORUN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 12/09/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Dilruba Zuhul AKKOYUNLU

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli katkı ve rehberliğini sunan, bilgi birikimi, anlayışı ve hoşgörüsüyle her zaman yanımda olan kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Esra GÜRBÜZ' e teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, çalışmamın gelişmesine değerli görüş ve önerileriyle katkı sağlayan jüri üyeleri saygıdeğer hocalarım Doç. Dr. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Tarık TORUN' a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak hayatımın her anında desteğini esirgemeyen, eğitimimde daima en iyiye ulaşmamı arzulayan canım babam Bülent AKKOYUNLU daima kalbimdesin. Emegin, çaban ve en önemlisi sevgin için minnettarım. Ve hayatım boyunca bana iyi insan olmam için çabalayan canım annem Saadet AKKOYUNLU 'ya ve kardeşlerime de yürekten teşekkür ederim.

Dilruba Zuhall AKKOYUNLU

AKSARAY, 2025

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışma Alanı ve Konusu.....	3
1.2 Problem ve Amaç	5
2. LİTERATÜR TARAMASI	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1 Materyal.....	14
3.1.1 Uydu görüntüleri.....	14
3.2 Yöntem	17
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	25
4.1 Yanmış Alanların ve Bu Alanlardaki Yanma Şiddetlerinin Belirlenmesi	25
4.1.1 Gülderen yangını	25
4.1.2 Soğukoluk yangını	26
4.1.3 Yaylacık yangını	28
4.1.4 Sarımazı yangını	30
4.2 Yangınlardan Günümüze Yeniden Yeşillenme Süreci.....	34
4.2.1 Gülderen yangını	35
4.2.2 Soğukoluk yangını	37
4.2.3 Yaylacık yangını	40
4.2.4 Sarımazı yangını	43
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	47
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ.....	63

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORMAN YANGINLARI SONRASI TAHRİBATIN VE YENİDEN YEŞİLLENMENİN GOOGLE EARTH ENGINE İLE İZLENMESİ: HATAY İLİ ÖRNEĞİ

Dilruba Zuhal AKKOYUNLU

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Esra GÜRBÜZ

ÖZET

Tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de orman yangınları orman varlığını tehdit eden en önemli afettir. Doğa ya da insan kaynaklı çıkan yangınlar sonucu her yıl milyonlarca hektar ormanlık alan yok olmakta, bununla birlikte can kayıpları yaşanmaktadır. Özellikle hava koşullarının ve arazi örtüsü gibi faktörlerin de etkisiyle hızla büyüyen, uzun süreli yangınlar, meydana geldikleri alanlarda hem ekonomik kayıplara hem de bitki örtüsünün ve bölgede yaşayan canlıların yaşam alanlarının yok olmasına sebep olmaktadır. Teknolojideki gelişmeler ile birlikte uzaktan algılama yöntemleri, pek çok alanda olduğu gibi orman yangınlarının eş ya da yakın zamanlı olarak tespit edilmesi, yanan alanların haritalanması ve bu alanlarda zamana bağlı değişimlerin izlenmesi için de öncelikli olarak tercih edilen bir araç haline gelmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında Hatay'ın farklı mevkilerinde 2013-2020 yılları arasında meydana gelen dört farklı büyüklükteki yangında, tahrip olan alanların sınırlarının uzaktan algılama ile belirlenmesi ve bu yangınlar sonrası süreçte bölgede meydana gelen yeşillenme sürecinin Google Earth Engine (GEE) platformu ile incelenmesi hedeflenmiştir. Seçilen alanlara ait Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak, yangın nedeniyle tahrip olan bölgeler öncelikle dNBR ve dNDVI indeksleri ile haritalanmıştır. Ardından, uzun dönemli Landsat verilerinden oluşturulan zaman serileri aracılığıyla bu bölgelerdeki bitki örtüsü değişimi kesintisiz izlenmiştir. Ayrıca, her bir yanmış alanın güncel arazi örtüsü durumu yine dNBR indeksi ile değerlendirilerek bitki örtüsündeki değişim detaylı biçimde incelenmiştir. Kullanılan indekslerin doğruluğunu test etmek amacıyla Sentinel görüntülerinden yararlanılmış; karmaşıklık matrisleri hesaplanmış ve her iki indeks için doğruluk oranı %80'in üzerinde, Kappa katsayısı (κ) ise Sarımsazı yangını hariç, 0,92-0,98 aralığında bulunmuştur. Bulgular, yangın sonrası yok olan bitki örtüsünün büyük ölçüde yeniden oluştuğunu ve bu sürecin hem doğal dinamikler hem de Orman İl Müdürlüğü'nün rehabilitasyon çalışmalarıyla desteklendiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Normalize Yanma Oranı (NBR), Fark Normalize Yanma Oranı (dNBR).

Eylül, 2025; 63 sayfa

M.Sc. THESIS

MONITORING DESTRUCTION AND REGROWTH AFTER FOREST FIRES WITH GOOGLE EARTH ENGINE: THE EXAMPLE OF HATAY PROVINCE

Dilruba Zuhall AKKOYUNLU

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatic Engineering**

Supervisor: Doç. Dr. Esra GÜRBÜZ

ABSTRACT

As is the case worldwide, forest fires are the most significant disaster endangering forest existence in our country. Millions of hectares of forested land are destroyed each year as a result of fires caused by nature or human activity, resulting in loss of life. Rapidly growing, long-lasting fires, particularly those influenced by factors such as weather conditions and land cover, cause economic losses in the areas where they occur, as well as the destruction of vegetation and habitats for the living creatures in the region. With advances in technology, remote sensing methods have become a preferred tool for simultaneous or near-simultaneous detection of forest fires, mapping burned areas, and monitoring changes in these areas over time, as in many other areas.

This thesis aims to identify changes in incoming light between 2013 and 2020 in different locations in Hatay using remote sensing and to investigate the changes in revegetation following these eruptions using the Google Earth Engine (GEE) platform. For this purpose, different forest products known to have formed and fragmented within Hatay province were selected. Using Landsat 8 satellite imagery for the selected areas, regions damaged by wildfire were initially identified through the dNBR and dNDVI indices. Subsequently, time series created from long-term Landsat data were used to continuously monitor vegetation changes in these regions. In addition, the current land cover status of each burned area was evaluated using the dNBR index, and vegetation changes were examined in detail. To assess the accuracy of the indices used, Sentinel satellite imagery was utilized and various complexity metrics were calculated. As a result, both indices achieved accuracy rates above 80%, with Kappa coefficients (κ) ranging between 0.92 and 0.98 (except Sarımazı fire). The findings indicate that the vegetation lost due to the wildfire has been largely restored, supported by both natural processes and rehabilitation efforts carried out by the Provincial Directorate of Forestry.

Keywords: Remote sensing, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Burn Ratio (NBR), Difference Normalized Burn Ratio (dNBR).

September, 2025; 63 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Tez kapsamında seçilen yangınların bulunduğu Hatay ilinin coğrafik konumu.....	4
Şekil 3.1.	Çalışma kapsamında seçilen yangınların meydana geldiği bölgeleri gösteren Landsat 8 uydu görüntüleri.....	15
Şekil 3.2.	Çalışma akış şeması.	18
Şekil 4.1.	Gülderen yangınının çıktığı bölgenin yangın öncesi ve sonrası a,ç)Landsat 8 görüntü mozaïği, b,d) NBR (NBR_1 , NBR_2) görüntüleri, c,e) NDVI ($NDVI_1$, $NDVI_2$) görüntüleri.	25
Şekil 4.2.	2013 yılı Gülderen yangınında a-b) dNBR ve dNDVI'a göre yanan alanların durumu, c-ç) dNBR ve dNDVI indekslerinden üretilmiş yanma şiddeti haritaları.	26
Şekil 4.3.	Soğukoluk yangının çıktığı bölgenin yangın öncesi ve sonrası a,ç) Landsat 8 görüntü mozaïği, b,d) NBR (NBR_1 , NBR_2) görüntüleri, c,e) NDVI ($NDVI_1$, $NDVI_2$) görüntüleri.	27
Şekil 4.4.	2018 yılı Soğukoluk yangınında a-b) dNBR ve dNDVI'a göre yanan alanların durumu, c-ç) dNBR ve dNDVI indekslerinden üretilmiş yanma şiddeti haritaları.	28
Şekil 4.5.	Yaylacık yangının çıktığı bölgenin yangın öncesi ve sonrası a,ç) Landsat 8 görüntü mozaïği, b,d) NBR (NBR_1 , NBR_2) görüntüleri, c,e) NDVI ($NDVI_1$, $NDVI_2$) görüntüleri.	29
Şekil 4.6.	2020 yılı Yaylacık yangınında a-b) dNBR ve dNDVI'a göre yanan alanların durumu, c-ç) dNBR ve dNDVI indekslerinden üretilmiş yanma şiddeti haritaları.	30
Şekil 4.7.	Sarımazı yangının çıktığı bölgenin yangın öncesi ve sonrası a,ç) Landsat 8 görüntü mozaïği, b,d) NBR (NBR_1 , NBR_2) görüntüleri, c,e) NDVI ($NDVI_1$, $NDVI_2$) görüntüleri.	31
Şekil 4.8.	2020 yılı Yaylacık yangınında a-b) dNBR ve dNDVI'a göre yanan alanların durumu, c-ç) dNBR ve dNDVI indekslerinden üretilmiş yanma şiddeti haritaları.	32
Şekil 4.9.	dNBR ve dNDVI arasındaki Pearson korelasyonuna ilişkin dağılım grafikleri.	33
Şekil 4.10.	2013 yılı Gülderen yangınının çıktığı bölgenin bölgenin yangın sonrası ve 2024 yılı Ağustos ayı a,c) Landsat 8 görüntü mozaïği, b,ç) NBR (NBR_2 , NBR_3) görüntüleri.	35
Şekil 4.11.	2013 yılı Gülderen yangınına ait a) dNBRa görüntüsünde yanmış alan sınıflarının dağılımı; b) dNBRb görüntüsüne göre yeniden yeşillenen alanların dağılımı; c) yanmış alan sınırları içerisindeki yeniden yeşillenmenin, yanma şiddeti sınıflarına göre dağılımı ve miktarını gösteren grafik.	36
Şekil 4.12.	Gülderen yangınına ait yanmış alan sınırları içinde, 2008-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama NDVI değerlerinin zaman serisi.	37
Şekil 4.13.	2018 yılı Soğukoluk yangınının çıktığı bölgenin yangın sonrası ve 2024 yılı Ağustos ayı a,c) Landsat 8 görüntü mozaïği, b,ç) NBR (NBR_2 , NBR_3) görüntüleri.	38

Şekil 4.14.	2018 yılı Soğukoluk yangınına ait a) dNBRa görüntüsünde yanmış alan sınıflarının dağılımı; b) dNBRb görüntüsüne göre yeniden yeşillenen alanların dağılımı; c) yanmış alan sınırları içerisindeki yeniden yeşillenmenin, yanma şiddeti sınıflarına göre dağılımı ve miktarını gösteren grafik.	39
Şekil 4.15.	Soğukoluk yangınına ait yanmış alan sınırları içinde, 2013-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama NDVI değerlerinin zaman serisi.	40
Şekil 4.16.	2020 yılı Yaylacık yangınının çıktığı bölgenin yangın sonrası ve 2024 yılı Ağustos ayı a,c) Landsat 8 görüntü mozaïği, b,ç) NBR (NBR ₂ , NBR ₃) görüntüleri.	41
Şekil 4.17.	2020 yılı Yaylacık-yanğınına ait a) dNBRa görüntüsünde yanmış alan sınıflarının dağılımı; b) dNBRb görüntüsüne göre yeniden yeşillenen alanların dağılımı; c) yanmış alan sınırları içerisindeki yeniden yeşillenmenin, yanma şiddeti sınıflarına göre dağılımı ve miktarını gösteren grafik.	42
Şekil 4.18.	Yaylacık yangınına ait yanmış alan sınırları içinde, 2015-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama NDVI değerlerinin zaman serisi.	43
Şekil 4.19.	2020 yılı Sarımazi yangınının çıktığı bölgenin yangın sonrası ve 2024 yılı Ağustos ayı a,c) Landsat 8 görüntü mozaïği, b,ç) NBR (NBR ₂ , NBR ₃) görüntüleri.	44
Şekil 4.20.	2020 yılı Sarımazi yangınına ait a) dNBRa görüntüsünde yanmış alan sınıflarının dağılımı; b) dNBRb görüntüsüne göre yeniden yeşillenen alanların dağılımı; c) yanmış alan sınırları içerisindeki yeniden yeşillenmenin, yanma şiddeti sınıflarına göre dağılımı ve miktarını gösteren grafik.	45
Şekil 4.21.	Sarımazi yangınına ait yanmış alan sınırları içinde, 2015-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama NDVI değerlerinin zaman serisi.	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. OGM, 2013-2023 tarihleri arası yangın tahribatı en fazla olan iller istatistik verileri.....	5
Çizelge 3.1. Landsat 8 uydusu spektral bantları ve özellikleri.....	16
Çizelge 3.2. Yanma şiddeti haritalarının oluşturulmasında kullanılan uydu görüntülerine ait bilgiler.....	16
Çizelge 3.3. dNBR için yanma şiddeti sınıflarının eşik değer seviyeleri	20
Çizelge 3.4. dNDVI için yanma şiddeti sınıflarının eşik değer seviyeleri.....	20
Çizelge 3.5. Pearson's Korelasyon katsayısı değerleri ve ilişki düzeyleri.	21
Çizelge 3.6. Karmaşıklık matrisi temel değerleri.	22
Çizelge 4.1. dNBR indeksine göre elde edilen doğruluk değerlendirmesi.....	33
Çizelge 4.2. dNDVI indeksine göre elde edilen doğruluk değerlendirmesi.	34
Çizelge 5.1. OGM istatistik verileri yeşillendirme çalışmaları.	53



SİMGELER VE KISALTMALAR

AHP	Analytical Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
AUC	Area Under Curve (Eğrinin Altındaki Alan)
BA	Dengeli Doğruluk (Balanced Accuracy)
BAI	Burn Scar Index (Yanmış Alan İndeksi)
BSI	Burn Scar Index (Yanık İzi İndeksi)
°C	Santigrat Derece
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographical Information Systems)
CORINE	Coordination of Information on the Environment (Çevresel Bilginin Koordinasyonu)
DEM	Digital Height Model (Dijital Yükseklik Modeli)
dNBR	Difference Normalized Burn Rate (Fark Normalize Yanık Oranı)
dNDVI	Difference Normalized Difference Vegetation Index (Fark Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi)
dSAVI	Difference Differenced soil adjusted vegetation index (Fark Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi)
EFFIS	European Forest Fire Information System (Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi)
ESA	Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency)
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus (Geliştirilmiş Tematik Haritalayıcı Plus)
FA	Yanlış Alarm (False Alarm)
FIREMON	Fire Effects Monitoring and Inventory System (Yangın Etkilerini İzleme ve Envanter Sistemi)
FS	F Skoru
GEE	Google Earth Engine
MD	Kaçırma Oranı (Missed Detection)
MODDIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Orta çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi)
NASA	National Aeronautical Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NBR	Normalized Burn Rate (Normalize Yanma Oranı İndeksi)
NBRT	Normalized Burn Rate (Normalleştirilmiş Yanma Oranı Termal)
NBRT	Normalized Burn Rate Thermal (Normalleştirilmiş Yanma Oranı Termal İndeks)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi)
NDWI	Normalized Differential Water Index (Normalleştirilmiş Fark Su indeksi)
NIR	Near Infrared (Yakın Kızılötesi)
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
OLI	Operational Land Imager (Operasyonel Yer Görüntüleyicisi)
PCC	Doğru Pozitif Oranı (True positive rate)
R	Korelasyon Katsayısı
R²	Determinasyon Katsayısı
ROC	Receiver Operating Characteristics Curve (Alıcı Çalıştırma Özellik Eğrisi)
SWIR	Short Wavelength Infrared (Kısa Dalga Kızılötesi)
TIRS	Thermal Infrared Sensor (Termal Kızılötesi Sensörü)

USGS	United States Geological Survey (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Servisi)
VIIRS	Stiren Butadiene Kauçuk- Styrene Butadine Rubber
VNIR	Visible and NearInfrared (Görünür Yakın Kızılötesi)
%	Yüzde



1. GİRİŞ

Orman yangınları, dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de orman varlığını tehdit eden en önemli felakettir. Doğa ya da insan kaynaklı çıkan yangınlar sonucu her yıl milyonlarca hektar orman ve ormanlık alan yok olmakta, bununla birlikte can kayıpları yaşanmaktadır. Özellikle hava koşullarının ve arazi örtüsü gibi faktörlerin de etkisiyle hızla büyüyen, uzun süreli yangınlar meydana geldikleri alanlarda hem ekonomik kayıplara hem de bitki örtüsünün tahrip olmasına, bölgede yaşayan canlıların yaşam alanlarının yok olmasına sebep olmaktadır.

6831 sayılı Orman Kanunu Ek 9. Maddesi 4. Fıkrası gereği ‘Yanan orman alanlarının yerinde yeni orman yetiştirilir, bu yerlerde başka çeşit tarım ve hayvancılık yapılamaz. Bütün ormanların gözetimi Devlete aittir’ (URL-1) ibaresine göre yeşillendirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu yasal çerçeve doğrultusunda, yeniden ağaçlandırma faaliyetleri yürütülmekte; yangında zarar gören alanların doğru şekilde belirlenmesi, bu alanlarda gerçekleştirilen iyileştirme çalışmalarına önemli katkı sağlamaktadır. Teknolojideki gelişmeler ile birlikte uzaktan algılama yöntemleri pek çok alanda olduğu gibi orman yangınlarının eş ya da yakın zamanlı olarak tespit edilmesi, yanan alanların haritalanması ve bu alanlarda zamana bağlı değişimlerin izlenmesi için de öncelikli olarak tercih edilen bir araç haline gelmiştir (Robinson 1991; Sunar ve Özkan, 2001; Schroeder vd., 2014; Karaca ve Güllü, 2019; Geçen ve Topuz, 2021; Güzel vd., 2021; Kavzoğlu vd., 2021; Bıçakçı ve Yıldız, 2024; Gündüz vd., 2025).

Uzaktan algılama yöntemleri ile yangınların gözlenmesine yönelik yapılan çalışmaların çok büyük bir bölümünde, bant oranları ve yangın tespitinde kullanılabilecek indislerin kullanılması ile yanmış alanların büyüklüklerinin ve yanma derecesinin hesaplanması konuları üzerinde durulmakta (Tonbul vd., 2016; Fassnacht vd., 2021; Konkathi ve Shetty, 2021; Gündüz vd., 2025), bir kısım çalışmada ise yangın sonrası uzun dönemli değişimin tespitine yönelik yaklaşımlar sunulmaktadır (Sunar ve Özkan, 2001; Veraverbeke vd., 2012; Tonbul vd., 2016; Güzel vd., 2021; Yılmaz vd., 2021; Nole vd., 2022).

Türkiye’de orman yangınları, hem sayıca fazla hem de yol açtıkları tahribat açısından en ciddi doğal afetler arasında yer almaktadır. İzmir, Antalya, Muğla ve Mersin gibi iller orman yangınlarının yoğun olarak yaşandığı bölgeler arasında öne çıkmakla

birlikte, Hatay ili de yangın sayısı ve yanmış alan miktarı açısından üst sıralarda yer almaktadır. Ancak literatür incelendiğinde, uzaktan algılama teknikleriyle yangın tahribatı ve yangın sonrası süreçlerin izlendiği çalışmaların büyük oranda diğer illere odaklandığı (Esemen, 2011; Tonbul, 2015; Gürbüz, 2022; Çelik vd., 2023; Demir, 2023; Ürker vd., 2024); Hatay’a yönelik çalışmaların ise oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmektedir (Geçen ve Topuz, 2021; Yılmaz vd., 2021; Bıçakçı ve Yıldız, 2024). Buna karşın, Akdeniz iklim kuşağında yer alan Hatay, sahip olduğu farklı topografik özellikler ve iklimsel koşullar nedeniyle yangınlar ile ilgili süreçlerin araştırılması açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bunun yanı sıra, bölge hem doğal hem de insan kaynaklı yangınlara karşı yüksek hassasiyet göstermekte ve dolayısıyla ciddi bir risk altında bulunmaktadır. Mevcut sınırlı çalışmada da genellikle ya yalnızca tek bir yangın ele alınmış (Yılmaz vd., 2021; Bıçakçı ve Yıldız, 2024) ya da birden fazla yangın incelenmiş olsa da detaylı analizler yapılmamıştır (Geçen ve Topuz, 2021).

Bu çalışmada ise Hatay’da farklı tarihlerde meydana gelmiş ve farklı büyüklükte tahribata yol açmış dört ayrı orman yangını kapsamlı biçimde analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde yalnızca yangınların sebep olduğu fiziksel tahribatın belirlenmesiyle yetinilmemiş, aynı zamanda yangın sonrası yeniden yeşillenme süreçleri de incelenmiştir. Bunun yanı sıra, söz konusu yangın alanlarında uzun dönemli NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) değişimleri takip edilerek alanın zaman içindeki ekolojik iyileşme dinamikleri değerlendirilmiştir. Böylece çalışmada, yangın tahribatı ve sonrası süreçlerin çok yönlü bir yaklaşımla, daha bütüncül ve derinlemesine analiz edilmesi hedeflenmiştir.

Bu doğrultuda çalışmada, Hatay ilinde farklı tarihlerde meydana gelen ve farklı büyüklüklerde tahribata yol açan dört orman yangını uzaktan algılama yöntemleriyle kapsamlı biçimde analiz edilmiştir. Yangınların yalnızca sebep olduğu fiziksel tahribat değil, aynı zamanda yangın sonrası yeniden yeşillenme süreçleri de değerlendirilmiştir. Özellikle, yangın alanlarındaki uzun dönemli bitki örtüsü değişimlerinin izlenmesi amacıyla NDVI zaman serileri kullanılmıştır. Böylece çalışmada yangın öncesi ve sonrası süreçler, çok yönlü ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır.

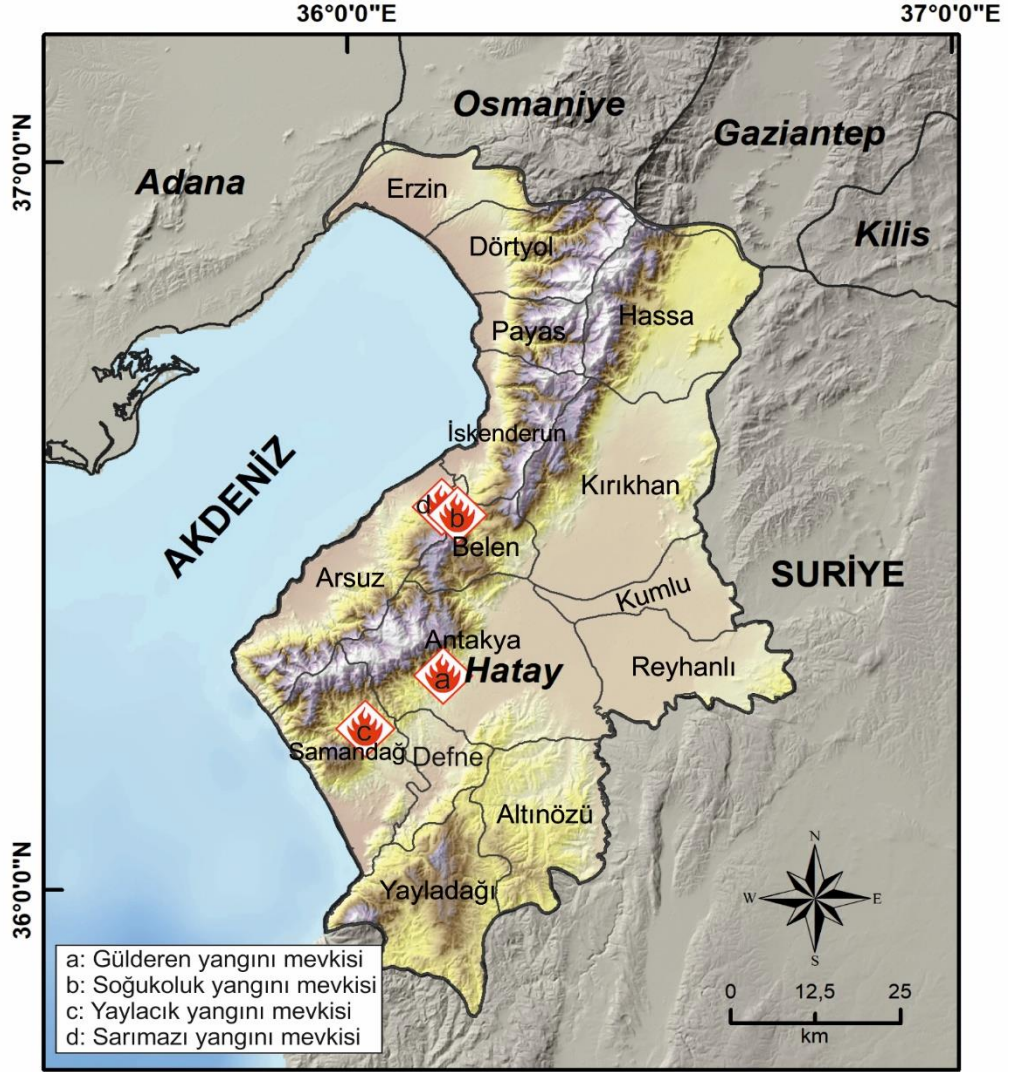
Bu bağlamda, Hatay’ın farklı ilçelerinde 2013–2020 yılları arasında gerçekleşen yangınların etkilediği alanlar belirlenmiş; bu alanlardaki arazi örtüsü değişimleri

Google Earth Engine (GEE) platformu aracılığıyla incelenmiştir. GEE, geniş uydu görüntüsü arşivine hızlı erişim sağlaması ve büyük hacimli verilerin bulut tabanlı olarak işlenebilmesi sayesinde, günümüzde uzaktan algılama temelli pek çok mekânsal analizde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gürbüz, 2018; Konkathi ve Shetty, 2021; Gündüz vd., 2025).

Çalışma kapsamında seçilen alanlarda, yangın öncesi ve sonrası durumlar Landsat uydu görüntüleri kullanılarak değerlendirilmiş; yangın sınırları ve şiddeti, Normalize Yanık Oranı (NBR), Fark Normalize Yanık Oranı (dNBR), Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ve Fark Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (dNDVI) gibi indeksler aracılığıyla belirlenmiştir. İlgili indekslerin birbiriyle olan uyumu korelasyon analizleriyle incelenmiş, oluşturulan yanmış ve yanmamış alan sınıflarının doğruluğu ise karmaşıklık matrisleri (confusion matrix) aracılığıyla değerlendirilmiştir. Ayrıca, her bir yangın alanı için, yangının meydana geldiği tarihin 5 yıl öncesinden Ağustos 2024'e kadar olan dönemi kapsayan NDVI zaman serileri analiz edilmiştir. Bu analizler sayesinde, hem yangınların neden olduğu yeşil alan kaybı hem de yangın sonrası bitki örtüsündeki iyileşme süreçleri ortaya konulmuştur. Böylece yangın etkileri ve sonrasındaki yeşillenme dinamikleri, güncel uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak yüksek doğrulukla izlenebilmiştir.

1.1 Çalışma Alanı ve Konusu

Hatay ili Türkiye'nin güneyinde, Akdeniz Bölgesi'nin doğu kesiminde ve İskenderun körfezinin doğu kıyısında bulunmaktadır. İl sınırları batıda Akdeniz, güney ve doğuda Suriye, kuzeybatıda Adana, kuzeyde Osmaniye ve Gaziantep ile çevrilidir (Şekil 1.1). İlde Akdeniz iklimi hâkim olup, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlıdır. Yıllık ortalama sıcaklık değerleri genel olarak 15,1- 20°C dereceleri arasında değişmekte olup, aylık sıcaklık ortalamaları yaz aylarında en yüksek seviyelere ulaşırken, kış aylarında ise en düşük değerlere ulaşmaktadır (URL-2). İklim özelliklerine paralel olarak ilin doğal bitki örtüsü ormanlardan oluşsa da günümüzde birçok bölgede ormanlar tahrip edilmiş, yerlerini maki türleri almıştır. Bölgedeki orman tahribatının bir diğer önemli sebebi ise orman yangınlarıdır.



Şekil 1.1. Tez kapsamında seçilen yangınların bulunduğu Hatay ilinin coğrafik konumu.

Orman Genel Müdürlüğü (OGM)'nün yayınladığı istatistiklere bakıldığında da özellikle son 10 yıllık periyot içerisinde Türkiye'de çıkan tahribatı büyük yangınlar içerisinde Hatay ilinin üst sıralarda yer aldığı Çizelge 1.1'de görülmektedir.

Uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak, 2012-2020 yılları arasında Hatay ilinin Gülderen, Soğukoluk, Belen ve Yaylacık mevkilerinde çıkan orman yangınları sonrası, öncelikle tahrip olan alanların belirlenmesi sonrasında ise yangınlardan günümüze geçen zamandaki arazi örtüsü değişimlerinin ve iyileş(tir)me süreçlerinin kesintisiz bir şekilde izlenmesi bu tez çalışmasının ana konusunu oluşturmaktadır.

Çizelge 1.1. OGM, 2013-2023 tarihleri arası yangın tahribatı en fazla olan iller istatistik verileri (URL-3).

Yıl	İl	Adet	Yanan alan (Ha)
2013	Balıkesir	64	1.812,26
2014	Muğla	266	695,90
2015	Antalya	281	2.159,02
2016	Antalya	281	2.159,02
2017	Antalya	274	2.755,75
2018	Hatay	96	1.308,48
2019	İzmir	146	4.858,77
2020	Hatay	100	49.78,61
2021	Antalya	294	60.366,56
2022	Muğla	234	5.523,09
2023	Çanakkale	132	5.069,70
Toplam		2.168	91.687,16

1.2 Problem ve Amaç

Ülkemizde yıllık olarak yayımlanan Ormancılık İstatistikleri 'ne bakıldığında 1988-2020 yılları arasında her yıl değişen sayılarda olmakla birlikte 2000'in üzerinde yangın çıktığı ve yangınlarda ortalama 15 bin ha alanın yandığı görülmektedir (URL-3). Bu yangınların önemli bir bölümü Ege ve Akdeniz bölgelerinde meydana gelmektedir. Yasalar gereği yanan orman alanlarının yeniden ormanlaştırılması gerekmektedir. Ormanlaştırma süreci, hasar gören alanın kendine has özelliklerine göre belirlenmekle beraber, temel hedef bu alanların mümkün olan en kısa sürede ve doğru şekilde eski sağlıklı orman örtüsüne kavuşturulmasıdır. Bunun için de yanan alanın hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi ve çalışmaların bölgeye uygun şekilde planlanması önem arz etmektedir. Bu doğrultuda günümüzde uzaktan algılama yöntemleri etkin olarak kullanılmaktadır.

Yürütülen bu tez çalışması kapsamında, neredeyse her yıl önemli bir yangının meydana geldiği Hatay ilinin farklı ilçelerinde 2013-2020 yılları arasında meydana gelen 4 orman yangını sonrasında bölgedeki arazi örtüsü değişiminin uzaktan algılama yöntemleri ile tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda,

İlgili yangınların olduğu alanların yangın öncesi ve sonrası durumlarının uydu görüntüleri üzerinden belirlenmesi,

Söz konusu alanlardaki yanma şiddeti sınıflarının ortaya konması,

Yangın sonrası ilgili bölge müdürlüğünce yapılan iyileştirme süreçlerinin izlenebilmesi için, yangınlardan günümüze meydana gelen arazi örtüsü değişiminin incelenmesi hedeflenmektedir.

Çalışma kapsamında tercih edilen yöntemin, özellikle yangın sonrası yeniden bitki örtüsü oluşum sürecinin izlenmesine ve arazi örtüsündeki değişimlerin geniş bir zamansal periyotta ve sürekli bir şekilde izlenmesine olanak sağlaması açısından konu ile ilgili sonraki çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak, bir bölgede çıkan orman yangınları sonrası yanmış alan sınırının belirlenmesi, yanma şiddetinin hesaplanması, yangın sonrası arazi örtüsü değişimi ve yeniden yeşillendirme süreçlerinin takibine gibi konularda çokça çalışma mevcuttur. Bu kapsamda tezin konusu ile ilgili ulusal ve uluslararası literatürde, çalışma yöntemi ya da bölgesi (yakın çevresi de dâhil) ile ilişkili olanların bir bölümü aşağıda sunulmuştur.

Esemen (2011), 31 Temmuz – 5 Ağustos 2008 tarihleri arasında Antalya ili, Manavgat ve Serik İlçelerinde meydana gelen orman yangınına incelediği çalışmasında SPOT 4 uydu verilerini kullanmıştır. Çalışmada temel olarak uydu görüntüleri üzerinden NDVI analizi gerçekleştirilmiş ve sınıflandırma yöntemleri uygulanarak yangından etkilenen alanlar tespit edilmiştir.

Tonbul (2015), farklı tarihlere ait uydu görüntüleri ile Akdeniz bölgesinde çıkan üç büyük orman yangınına (Antalya-Taşagıl, Mersin-Gölnar ve Hatay-Samandağ) bölgeleri incelediği çalışmasında Landsat 7 ETM+ ve MODDIS Mod 09A (Surface Reflectance) uydu görüntülerini kullanmıştır. Çalışma kapsamında bu görüntülere NBR ve dNBR indisleri uygulanmış ve yangının şiddeti belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca yerel Moran's I ve Getis-Ord Lokal Gi teknikleri kullanılmış ve yanan alanlar ile yangın şiddeti belirlenerek veriler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Çok zamanlı dNDVI görüntülerinin de üretilmesiyle yanan alanların zamansal değişimi ortaya çıkarılmıştır. Araştırma sonucunda, uygulanan yeniden iyileştirme çalışmalarının Antalya-Taşagıl'da etkili olduğu, Mersin-Gölnar'da ise yetersiz kaldığı, Hatay-Samandağ'da ise kuzey ve güney bölgelerde fayda gösterdiği belirtilmiştir.

Çabuk ve Aksoy (2018), İzmir ili Menderes ilçesinde 2017 yılında çıkan orman yangınında zarar gören alanların ve zararın şiddetinin belirlenmesi için Landsat 8 uydu görüntülerini kullanmışlardır. Çalışma kapsamında yangın öncesi ve yangın sonrası farklı tarihlere ait Landsat 8 görüntülerine NBR indeksi uygulanmıştır. Yazarlar uyguladıkları bu yöntem ile 2018 yılına gelindiğinde, yangın sonrasında yüksek seviyede yanmış olarak belirlenen alanlarda düşük düzeyli de olsa yeniden yeşillenme meydana geldiğini bunun yanı sıra alansal olarak az da olsa belli bölgelerin halen yüksek derecede yanmış durumda kaldığını ifade etmişlerdir.

Dereli (2018), Google Earth Engine platformu kullanılarak 2013-2018 yılları arasında Şanlıurfa ili için NDVI zaman serisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Landsat 8 OLI uydu verilerinden yararlanılmış ve GEE üzerinde geliştirilmiş kodlar aracılığıyla Nisan 2013'ten Ekim 2018'e kadar olan dönem incelenmiştir. Analizler sonucunda en yüksek NDVI değerine Nisan 2015'te ulaşıldığı, en düşük NDVI değerlerinin ise Mart ve Kasım 2017'de görüldüğü belirlenmiştir. Ayrıca, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında artış eğilimleri gözlenirken; Aralık, Ocak ve Şubat aylarında düşüş eğilimi ortaya çıkmıştır.

Geçen ve Topuz (2021), 2013-2021 yılları arasında Hatay'da meydana gelen orman yangınlarını Landsat 8 uydu verileriyle incelenmiştir. Çalışmada her yıl için elde edilen uydu görüntülerine NBR indeksi uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Yazarlar, sonuç olarak yaklaşık 9 yıllık dönemde Hatay ili sınırları içerisinde toplamda 7811 hektarlık orman alanının zarar gördüğünü belirlemişlerdir.

Polat ve Kaya (2021), Çalışmada Sentinel 2 uydu verilerini kullanarak Harran Üniversitesi Osmanbey kampüsü ve çevresinde meydana gelen yangını analiz edilmiştir. Çalışmada bitki indeksi ve yangın indeksi görüntüleri üzerinden yangının etkilediği alanlar belirlenmiş, hasar seviyeleri tespit edilerek haritalandırılmıştır. Yangın öncesi ve sonrasına ait uydu görüntülerinden üretilen NBR görüntüleri üretilmiştir. Yangın öncesi ve sonrası için üretilen NBR ve NDVI görüntüleri, düşük, orta ve yüksek yoğunluklu olarak sınıflandırılmıştır. Böylece yangından etkilenen bölgelerdeki bitki örtüsünün hangi düzeyde zarar gördüğü ve yangın öncesine göre değişim miktarı ortaya konulmuştur.

Yılmaz vd. (2021), 9 Ekim 2020 tarihinde Hatay'ın Belen ilçesinde meydana gelen orman yangınına, GEE platformunda UA yöntemleri kullanarak incelenmiştir. Çalışmada NDVI, NBR ve dNBR gibi spektral indekslerden yararlanılarak yangın şiddeti sınıflandırılmış ve yangın öncesi-sonrası görüntüler üzerinden haritalandırılması yapılmıştır. NDVI ve dNBR indeksleri aracılığıyla bitki örtüsündeki değişim değerlendirilmiş, analizler JavaScript tabanlı kodlama ile yürütülmüştür. Ayrıca, Dijital Yükseklik Modeli (DEM) kullanılarak CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ortamında yükselti, eğim ve bakı faktörleri de incelenmiş ve yangın şiddetinin topoğrafya ile ilişkisi ortaya konulmuştur. USGS-FIREMON (Fire Effects Monitoring and Inventory Protocol/ Yangın Etkilerini İzleme ve Envanter Protokolü) sisteminde

tanımlanan eşik değerlere göre, çalışma alanında özellikle 200-300 m arasındaki yükseltilerde, %30'dan fazla eğime sahip ve kuzey bakılı alanlarda orta ve yüksek şiddetli yangınların yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

Denizoğlu (2022), Kaliforniya'da meydana gelen en büyük ikinci orman yangını olan Dixie yangınında aktif yangın, yangından etkilenmemiş alan ve yanmış orman alanlarını tespit etmek için uzaktan algılama yöntemlerini ve farklı derinliklere sahip derin öğrenme ağlarını kullanmıştır. Çalışma kapsamında Sentinel-2 uydu görüntüleri tercih edilmiş ve VGG16, VGG19, Xception, ResNet101, ResNet152, MobileNet, Inceptionv3, DenseNet121 DenseNet169 ve DenseNet201 derin öğrenme modelleri kullanılmıştır. Sonuç olarak 10 farklı derin öğrenme modeli arasında Xception modelinin %98 'lik doğrulukla diğer modellerden başarılı olduğu belirtilmiştir.

Özdemir ve Demir (2022), 18 Ağustos 2019 tarihinde İzmir'in Karabağlar ilçesinde çıkan orman yangını incelenmiştir. Çalışmada yangın risk modeli oluşturulmuş ve NDVI ile NBR indeksleri yardımıyla tahrip olan alanlar belirlenmiştir. Landsat 8 ve Sentinel 2 uydu verileri kullanılarak dNBR ve dNDVI indeksleri üzerinden kontrolsüz sınıflandırma uygulanmış, çok yanmış, yanmış ve zarar görmüş alanlar tespit edilmiştir. Elde edilen görüntüler vektör katmanına dönüştürülerek toplamda 12 farklı katman üretilmiş ve bu sayede yangının etkilediği alanlar detaylı şekilde hesaplanmıştır.

Yüksel (2022), Eylül 2022'de Mersin ili Gülnar ilçesinde meydana gelen orman yangınına ele almıştır. Çalışmada yanan alan miktarının belirlenmesi amacıyla farklı uzaktan algılama karşılaştırılmıştır. Yanan alan miktarı dNDVI, dSAVI (Farklılaştırılmış toprak ayarlı bitki örtüsü indeksi) ve dNBR indeksleriyle tahmin edilmiş, doğruluk oranının kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. dSAVI ve dNBR indekslerinin, yanan alan büyüklüğünün tespit edilmesinde yüksek performans sergilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Gürbüz (2022), 2017 yılında İzmir'in Menderes ilçesinde meydana gelen orman yangını sonrası yanmış alanların belirlenmesi ve yeniden iyileştirme sürecinin izlenmesi amacıyla uzaktan algılama yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada GEE platformunda Landsat 8 görüntüleri üzerinden NBR, dNBR, NVDI ve dNDVI indeksleri üretilmiş ve yangın öncesi-sonrası dönemler karşılaştırılmıştır. Çalışmada

2012 ve 2022 yılları arasındaki bitki örtüsü değişimini sürekli gözlemleyerek 10 yıllık bir periyot için kapsamlı bir veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, yangın sonrası orman alanlarının yeniden ağaçlandırma faaliyetleriyle büyük ölçüde toparlandığı belirtilmiştir.

Soydan (2022), Antalya'nın Manavgat ilçesinde 28 Temmuz 2021 tarihinde meydana gelen ve 15 gün süren orman yangını, Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak uzaktan algılama teknikleriyle analiz etmiştir. Çalışma kapsamında yangın öncesi ve yangın sonrası tarihli uydu görüntülerine NBR, NDVI, dNBR ve dNDVI uygulanmış, yanan alanlar tespit edilmiştir. Yazar ayrıca kullanılan veri setine bir kontrollü sınıflandırma olan maksimum benzerlik algoritması da uygulanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçların OGM verileri bazı farkları olduğu, ancak buna rağmen kullanılan yöntemlerin yeterli doğrulukta sonuç verdiği ifade edilmiştir.

Yılman (2022), 2019 yılı Ağustos ayında Çanakkale ili, Gelibolu yarımadasında (Behramlı-Alçitepe arasında) çıkan orman yangınında yanmış alanların uzaktan algılama ile belirlenmesine yönelik yaptığı çalışmada Landsat8 OLI uydu görüntülerini kullanmıştır. Yazar görüntüler üzerinden tahrip olan ve olmayan alanların belirlenmesinde farklı bant kombinasyonlarını kullanmıştır. Çalışma sonuçlarında RGB: 7-6-2 kombinasyonunun yanan ve yanmayan alanların belirlenmesinde en iyi sonucu verdiği ifade edilmiştir.

Çelik vd. (2023), 2021 yılında Mersin ili Silifke ilçesinde çıkan orman yangını incelenmiştir. Sentinel-2A ve Landsat 8 OLI uydu verileri yardımıyla NDVI, NBR, dNBR, dNDVI indeksleri hesaplanmış ve arazi örtüsündeki değişim ve yanma şiddeti belirlenmiştir. Ayrıca, alana ait doğrulama EFFIS (Avrupa Orman Yangın Bilgi Sistemi) veri tabanından elde edilen veriler ile gerçekleştirilmiştir. NBR yanma şiddeti için Düşük (0,1/0,27), Orta (0,27/0,66) ve Yüksek (>0,66) eşik değerleri kullanılmıştır.

Demir (2023), Mersin Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde kalan alanın yangın risk haritasını oluşturmayı amaçlamıştır. Yazar bu kapsamda risk haritasının oluşturulabilmesi için CBS tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanmıştır. Sonuç olarak çalışma alanının %13,87'si çok yüksek, %25,87'si yüksek, %24,68'i orta, %22,44'ü düşük ve %13,14'ü çok düşük riskli alanlar olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca söz konusu haritanın doğruluğunun belirlenmesi için

ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak AUC (Area Under Curve) değeri yaklaşık %74 bulunmuş olup yangın risk haritasının orta düzeyde güvenilir olduğunu ifade edilmiştir.

Bıçakcı ve Yıldız (2024), 16 Temmuz 2023 yılında Hatay'ın Belen ilçesinde çıkan orman yangını Sentinel-2 uydu verilerini kullanarak incelenmiştir. GEE ve CBS yardımıyla yanma şiddeti haritaları üretilmiş ve alanlar hesaplanmıştır. Bu amaçla yangın öncesi ve sonrasına ait uydu görüntülerine NDVI ve NBR indeksleri uygulanmıştır. USGS FIREMON tarafından belirlenmiş eşik değerler kullanılarak görüntüler sınıflandırılmıştır. dNDVI ve dNBR ile elde edilen sonuçlara bakıldığında toplam yanan alan miktarlarının birbirleriyle uyumlu olduğu ama farklı yanma şiddetlerine ait alanlarda farklılıklar olduğu belirtilmiştir.

Eker vd. (2024), Türkiye'de 2021 yılında meydana gelen 30 büyük yangının envanterini oluşturmayı amaçladıkları çalışmalarında uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanmışlardır. Yazarlar çalışmalarında orman türü, eğim, yükseklik ve bakı gibi topografik özelliklerin yanı sıra, yangının etkilediği alanlar, yangın şiddeti ve yakıt türleri hakkındaki bilgileri de içeren kapsamlı bir yangın veri tabanı oluşturmuşlardır. Çalışma kapsamında yangın şiddetinin değerlendirilmesinde Sentinel-2 uydu görüntülerine dNBR analizi uygulanmış ve bu süreç GEE platformunda yürütülmüştür. Çalışmanın genel sonuçlarına bakıldığında, söz konusu dönemde yanan alanların büyük çoğunluğunun (%59) Akdeniz Bölgesi'nde, sadece %3'ü Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer aldığı görülmektedir. Ayrıca çalışmada yangın olaylarından etkilenen ormanlık ve orman dışı alanların miktarı belirlenmiştir.

Güner (2024), 2020 yılında Hatay ili Belen ve Yaylacık bölgelerinde çıkan iki ayrı orman yangını Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak incelediği çalışmada Yangın öncesi ve sonrası görüntülere NBR indeksi uygulamış ve dNBR analizi ile yanan alanların büyüklüğünü hesaplamıştır. Yazar ayrıca bu yangınların hangi arazi türleri üzerinde hasar bıraktığını açıklayabilmek için Avrupa Arazi Örtüsü (Corine) verilerini kullanmıştır. Buna göre, her iki bölge içinde en fazla yıkıma uğrayan arazi tipi olarak Çam ormanları belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca yangın söndürme çalışmaları sırasında Büyük Karaçay Barajı'nın suyunun kullanılması dolayısıyla Antakya ilçesinin hem içme hem de tarımsal sulama amacı ile kullanılan temel kaynağının da azaldığı belirtilmiştir.

Ürker vd. (2024), Akdeniz iklim kuşağında yer alan ve büyük yangınlar yaşamış olan Muğla bölgesini çalışma alanı olarak seçmiştir. Çalışma kapsamında Landsat8 OLI uydu görüntüleri kullanılarak yangın risk haritaları üretilmiştir. Bu haritaların üretiminde NBR indeksi, Normalleştirilmiş Yanma Oranı Termal (NBRT) indeksi, NDVI ve Normalleştirilmiş Fark Su indeksi (NDWI) kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında, risk haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemlerin, yangınların nerede meydana geleceğini yüksek doğrulukla gösterdiği ifade edilmiştir.

Gündüz vd. (2025), Orman yangınlarına karşı oldukça hassas olan İzmir bölgesinde 15-18 Ağustos 2024 tarihleri arasında meydana gelen orman yangınları üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Yangından 15 gün önce ve 15 gün sonra alınan görüntüler analiz edilmiştir. dNBR ve dNDVI spektral indeksleri kullanılarak yanık şiddeti sınıflandırması ve ML kullanılarak yanık alanı tespiti hesaplanmıştır. NDVI, bitki örtüsündeki değişiklikleri değerlendirmek için kullanıldığı belirtilmiştir. dNBR indeksi, yüksek şiddette yanık alanlarını belirgin bir şekilde belirlerken, dNDVI düşük şiddette ve orta şiddette yanık alanlarını sınıflandırmada daha fazla belirsizlik ve mekânsal dağılım göstermektedir. Key ve Benson'ın dNBR eşikleri Türkiye de dâhil olmak üzere Akdeniz ekosistemlerinde uygulanabilirliğinin doğruluğundan ve yangın sonrası şiddet sınıflandırmasındaki güvenilirliğini teyit ettiği belirtilmiştir. Oluşturulan haritalardan dNBR orta ve yüksek şiddette yanık alanlarını belirlerken, dNDVI bu kategorilerde daha sınırlı bir alanı tespit ettiğine değinilmiştir. Değerlendirme sonucunda dNBR'nin dNDVI' dan daha yüksek doğruluk sağladığını ortaya koymuştur.

Yaman ve Görmüş (2025), 29 Temmuz 2021 tarihinde Köyceğiz mevkiinde gerçekleşen orman yangını analizi, hasar tespiti ve bölgeye özel risk analizi gerçekleştirmek için Landsat-8 ve Sentinel-2A uydu veri setleri kullanılmıştır. Çalışmada NDVI, NBR, dNBR, dNDVI, Yanık İzi İndeksi (BSI) ve Yanmış Alan İndeksi (BAI) kullanılmıştır. dNBR indeksi kullanılarak yanma şiddeti haritası oluşturmak için USGS FIREMON tarafından belirlenmiş eşik değerler kullanılmıştır. Yangın öncesi ve sonrası tarihlere ait uydu verileri %30'un altında bulutluluk oranına sahip olacak şekilde filtrelenmiştir. Yansıtım değerleri karşılaştırıldığında, Landsat-8 dNBR indeksinin, Sentinel-2 dNBR indeksinden daha yüksek, Sentinel-2 dNDVI indeksinin, Landsat-8 dNDVI indeksinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Sentinel-2A

uydu görüntüleriyle üretilen BSI ve BAI indeksleri yanmış alanların belirlenmesinde daha iyi bir sonuç verdiği belirtilmiştir. Tüm indeksler incelendiğinde yanmış alan ayrımını en iyi dNBR indeksi yapmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

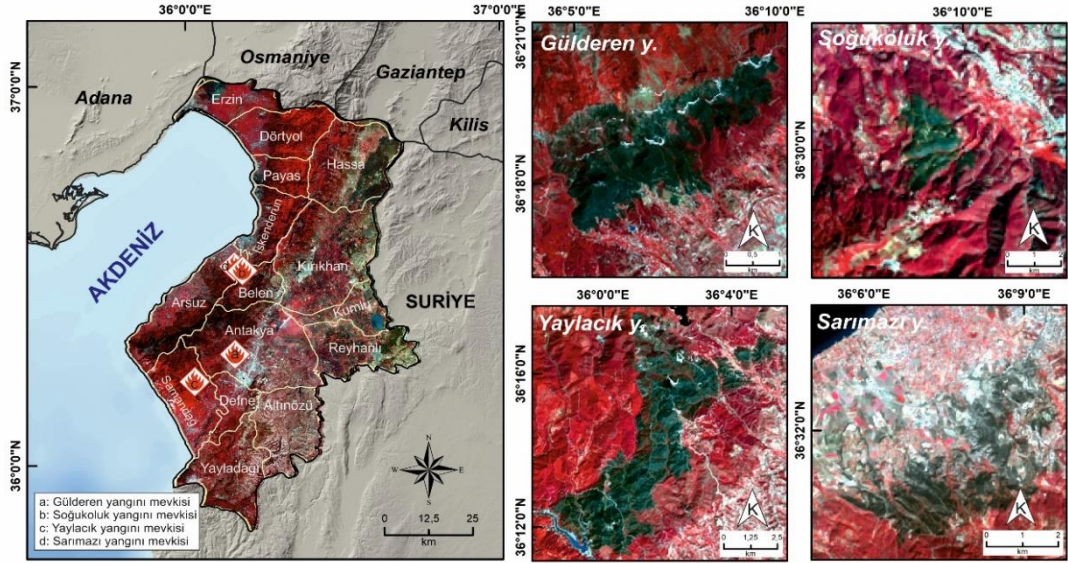
Çalışma kapsamında Hatay ilinin farklı ilçelerinde, farklı tarihlerde çıkan orman yangınlarında etkilenen alanların belirlenmesi ve bu alanlarda yangın sonrasında günümüze bitki örtüsünde meydana gelen değişimlerin izlenebilmesi amacıyla bulut tabanlı GEE platformu kullanılmıştır. GEE, farklı nitelik ve çözünürlükte mekânsal verilerin ve uydu görüntülerinin temin ve analiz edilebildiği bir bulut platformudur (Gorelick vd., 2017). Platform bünyesindeki verilerin tümünün doğrudan bilgisayar ortamına aktarılması gerekliliği olmaması ve özellikle uydu görüntülerinin analizinde ön işlem olarak tanımlanan (radyometrik düzeltme, görüntü mozaığı oluşturma, kesme gibi) adımların platform içerisinde hızlı bir şekilde yapılabilmesi platformun çalışmada kullanılmasında tercih sebebidir.

Tez çalışması kapsamında platform içerisinden temin edilen uydu görüntülerindeki yanmış alanların belirlenmesinde literatürde bu amaç için yaygın şekilde kullanılan yanma indeksleri ile indeks haritaları üretilmiştir. Son olarak tüm bu alanlarda meydana gelen bitki örtüsü değişimi yangınların çıktığı tarihten günümüze oluşturulan zaman serileri ile izlenmiştir. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve mekânsal verilere ait detaylı bilgiler ve izlenen yöntem alt başlıklarda sunulmuştur.

3.1 Materyal

3.1.1 Uydu görüntüleri

Yürütülen bu tez çalışması kapsamında Hatay ilinin Belen (Soğukoluk, Sarımazı) ve Antakya (Gülderen, Yaylacık) ilçelerinde 2013-2020 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarındaki hasarın tespiti ve yanan alanlardaki bitki örtüsü değişiminin uzun süreli takibi için Landsat 8 görüntüleri tercih edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma kapsamında seçilen yangınların meydana geldiği bölgeleri gösteren Landsat 8 uydu görüntüleri (RGB:543 bant kombinasyonu kullanılmıştır).

Landsat NASA (National Aeronautical Space Administration-Ulusal Havacılık Dairesi)'nin yeryüzü gözlemi yapmak amacıyla geliştirip tasarladığı uydu sistemleridir. NASA ve USGS (United States Geological Survey-Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu) ortaklığıyla yürüttüğü Landsat Programı, Dünya'nın uydu görüntülerini elde etmeye yönelik en uzun soluklu gözlem girişimidir. İlk uydusu ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite-Yeryüzü Kaynakları Teknoloji Uydusu, daha sonra adı Landsat-1 olarak güncellenmiştir). 1972 yılında başlayan serinin, son uydusu olan Landsat-9 2021 yılında yörüngeye yerleştirilmiştir (URL-4). 21. yüzyılın ilk Landsat uydusu olan ve yanmış alanların tespit ve iyileştirme süreçlerinin izlenmesinde sıklıkla tercih edilen Landsat 8 Operasyonel Kara Görüntüleyici (OLI) ve Termal Kızılötesi Sensör (TIRS) araçlarından oluşmaktadır. OLI, elektromanyetik spektrumun görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi kısımlarında (VNIR, NIR ve SWIR) ölçüm yapar ve bu bantlar 30m mekânsal çözünürlüğe sahiptir. TIRS ise 100m mekânsal çözünürlüğe sahip iki bantta kara yüzey sıcaklığını ölçer (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Landsat 8 uydusu spektral bantları ve özellikleri (URL-5).

Bant No	Bant Adı	Dalga Boyu (µm)	Çözünürlük (m)
Bant 1	Kıyı Aerosol	0,43 – 0,45	30
Bant 2	Mavi	0,45 – 0,51	30
Bant 3	Yeşil	0,53 – 0,59	30
Bant 4	Kırmızı	0,64 – 0,67	30
Bant 5	Yakın Kızılötesi (NIR)	0,85 – 0,88	30
Bant 6	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR 1)	1,57 – 1,65	30
Bant 7	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR 2)	2,11 – 2,29	30
Bant 8	Pankromatik	0,50 – 0,68	15
Bant 9	Sirrus (ince bulut)	1,36 – 1,38	30
Bant 10	Termal Kızılötesi (TIRS 1)	10,60 – 11,19	100
Bant 11	Termal Kızılötesi (TIRS 2)	11,50 – 12,51	100

Çalışma kapsamında gözlemi yapılan yangınların, yangın öncesi ve sonrası uydu görüntülerine ait görüntü bilgi ve tarihleri Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Yanma şiddeti haritalarının oluşturulmasında kullanılan uydu görüntülerine ait bilgiler.

Yangın Adı	Yangın Tarihi	Görüntü Dönemi	Görüntü Tarihi	Satır/Sütun	Görüntü Bilgisi
Gülderen	5.08.2013	Yangın öncesi	20.07.2013	174/035	LC08_174035_20130720
			27.07.2013	175/035	LC08_175035_20130727
		Yangın sonrası (1)	21.08.2013	174/035	LC08_174035_20130821
			12.08.2013	175/035	LC08_175035_20130812
		Yangın sonrası (2)	19.08.2024	174/035	LC08_174035_20240819
			26.08.2024	175/035	LC08_175035_20240826
Soğukoluk	13.09.2018	Yangın öncesi	19.08.2018	175/034	LC08_175034_20180810
			10.08.2018	175/035	LC08_175035_20180810
		Yangın sonrası (1)	27.09.2018	175/034	LC08_175034_20180927
			27.09.2018	175/035	LC08_175035_20180927
		Yangın sonrası (2)	7.06.2024	175/034	LC08_175034_20240607
			7.06.2024	175/035	LC08_175035_20240607
Yaylacık	5.09.2020	Yangın öncesi	24.08.2020	174/35	LC08_174035_20200824
			31.08.2020	174/35	LC08_175035_20200831
		Yangın sonrası (1)	25.09.2020	174/035	LC08_174035_20200925
			16.09.2020	175/035	LC08_175035_20200916
		Yangın sonrası (2)	3.08.2024	174/035	LC08_174035_20240803
			19.08.2024	174/035	LC08_174035_20240819
Sarımazı	9.10.2020	Yangın öncesi	24.08.2020	174/035	LC08_174035_20200824
			31.08.2020	175/035	LC08_175035_20200831
		Yangın sonrası (1)	18.10.2020	175/034	LC08_174035_20200925
			18.10.2020	175/035	LC08_175035_20200916
		Yangın sonrası (2)	3.08.2024	174/035	LC08_174035_20240803
			19.08.2024	174/035	LC08_174035_20240819

3.2 Yöntem

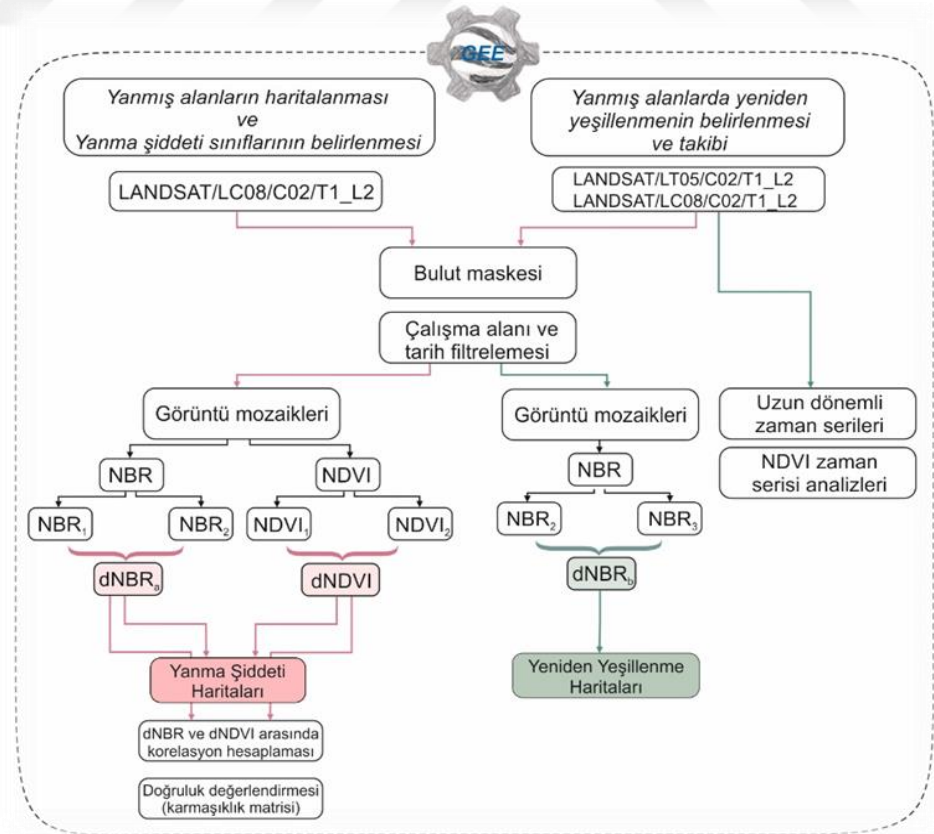
Çalışma kapsamında seçilen orman yangınlarının etkilediği alanların belirlenmesi ve yanan alanlarda, yangın sonrası bitki örtüsünde meydana gelen değişimlerin izlenebilmesi amacıyla GEE platformu kullanılmıştır. GEE, farklı özellik ve çözünürlüğe sahip mekânsal verilerin bilgisayar ortamına indirilmeden temin ve analiz edilebildiği bir platformdur. Bu nedenle sulak alanların tespiti ve izlenmesi (Gürbüz, 2018; Dervişoğlu, 2021; Dervişoğlu, 2022; Gürbüz, 2023), tarımsal ürünlerin takibi (Dong vd., 2016; Ou vd., 2019), arazi örtüsü değişiminin izlenmesi (Midekisa vd., 2017) ve yanmış alanların tespiti (Ebadi ve Beirami, 2022; Farhadi vd., 2022) gibi uzaktan algılama temelli farklı çalışmalarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

Çalışmanın konusu gereği, hem farklı bölgelerdeki yangınların incelenmiş olması hem de bu yangınların sonrasındaki süreçlerin uzun süreli olarak takibinin yapılmış olması nedeniyle uydu görüntülerinin temin ve analiz süreçlerinde bu platform tercih edilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında bölgeye ait Orman genel Müdürlüğü'nden temin edilen Orman istatistik ve raporları incelenerek bölgedeki farklı tarih, konum ve büyüklükteki orman yangınları belirlenmiştir. Sonrasında bu yangınların oldukları tarihlere ait atmosferik düzeltmesi yapılmış Landsat 8 görüntüleri platform üzerinden temin edilmiştir. Görüntü temini aşamasından sonra görüntülere konum ve tarih filtrelenmesi yapılarak, doğrudan ilgilenilecek alan ve tarihlere ait görüntüler ayıklanmıştır. Bu filtreleme aşaması sadece çalışılmak istenen tarih ve bölgeyi kapsayan görüntülerin ayıklanmasını sağladığı, diğer bir ifade ile kullanılmayacak veri setinin oluşturacağı yükü azalttığı için yapılan analizlerin daha hızlı bir şekilde tamamlanmasına katkı sağlamaktadır.

GEE tabanlı analizlerde kullanılan uydu görüntülerinin mekânsal (piksel) çözünürlüğü, zamansal çözünürlüğü ve bulut örtüsü gibi faktörler doğruluk üzerinde doğrudan etkilidir. Landsat serisi uydularda 30 m mekânsal çözünürlük, arazi örtüsü değişimlerinin genel düzeyde güvenilir biçimde izlenmesini sağlamakla birlikte, küçük ölçekli değişimlerin tespitinde sınırlılık oluşturabilmektedir. Ayrıca, optik uydu verilerine bulut ve gölge etkisi, spektral bantlardaki yansımaları bozarak analiz sonuçlarında hatalara yol açabilmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında kullanılan uydu görüntülerindeki bulut etkisini en aza indirmek amacıyla öncelikle bulut oranı düşük (%10'un altında) görüntüler seçilmiş ardından GEE'de QA_PIXEL yöntemiyle bulut

maskelemesi yapılmıştır. Landsat görüntü dosyasında bulunan QA_PIXEL bandı her pikselin durumunu ikili sayı (bit) şeklinde saklar. Her bit belirli bir özelliği temsil eder. Bit düzeyindeki işlemlerle istenmeyen özellikler (bulut, gölge, kar, su vb.) tespit edilerek maskeleme yapılır ve yalnızca temiz pikseller analizde kullanılır.

Görüntü ön işleme olarak tanımlanabilecek bu aşamalar sonrası iki ayrı veri seti hazırlanmıştır. Bunlardan ilki yangınların olduğu bölgelerde, yangının hemen öncesi, hemen sonrası ve günümüzdeki durumu göstermek üzere kısa süreleri kapsayan görüntülerden oluşmaktadır. Bu görüntülerden yangının hemen öncesi ve sonrası görüntüler yangınların etki ettiği alanların ve yangının şiddetinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Yine bu veri seti içerisinde bulunan ve günümüzdeki durumu gösteren görüntüler ise yangınlardan günümüze arazi örtüsündeki değişimin görselleştirilmesi ve yeniden yeşillenme sürecinin olup olmadığının anlaşılması, varsa ise değişim miktarının hesaplanması için kullanılmıştır. Bu aşamada söz konusu görüntülere, yangınların ve yanma şiddetinin uydu görüntüleri üzerinden tespit edilmesine yönelik literatürde de sıklıkla kullanılan NBR, dNBR, NDVI ve dNDVI indisleri uygulanmış ve yanmış alanların yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Çalışma akış şeması.

Tucker (1979) tarafından geliştirilmiş olan NDVI; sağlıklı bitki örtüsünün yakın kızılötesi bölgedeki yüksek yansımaya ve kırmızı dalga boyundaki yüksek soğurma değerlerini kullanarak (Eşitlik 3.1) yeşil bitki örtüsünün yoğunluğu hakkında bilgi sağlar ve yanma şiddeti değerlendirmesinin yapıldığı farklı çalışmalarda da tercih edilmiştir (Kovács, 2019; Vlassova vd., 2014).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3.1)$$

Çalışmada Landsat 8 uydu görüntüleri kullanıldığından, NDVI hesaplamalarında yakın kızılötesi (NIR) için Band 5, kırmızı (Red) için ise Band 4 kullanılmıştır.

Tersi şekilde, yakın zamanda yanmış alanlar Yakın Kızılötesi bantta oldukça düşük yansımaya sergilerken, Kısa dalga kızılötesi bantta ise yüksek yansımaya gösterirler (Pereira vd. 1999; Key ve Benson, 2006). Bu temel prensipten hareketle, yangından etkilenen bölgelerin uydu görüntülerinde daha belirgin biçimde ayırt edilebilmesi için NIR ve SWIR (kısa dalga kızılötesi) bantlarının kullanıldığı NBR indeksi geliştirilmiştir (Eşitlik 3.2) (Key ve Benson, 2005).

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (3.2)$$

Çalışmada Landsat 8 uydu görüntüleri kullanıldığından, NBR hesaplamalarında NIR için Band 5, SWIR için ise Band 7 olarak kullanılmıştır.

NBR indeksi bir bölgede yangının hemen sonrası tarihe ait uydu görüntülerine uygulandığında ilgili alandaki yanmış bölgenin sınırlarının belirlenmesini sağlar. Bunun yanı sıra bu bölgedeki yangının şiddetinin, yani yangının yarattığı etkinin tespiti için ise dNBR indeksi kullanılmaktadır. NBR indeksi dNBR indeksinin temelini oluşturur. Yangının hemen öncesi ve hemen sonrası tarih aralıklarına ait NBR görüntülerinin farkları alınarak dNBR görüntüsü elde edilir.

NDVI ve NBR'den elde edilen sonuçlar -1 ve +1 arasında değerler alır. Her iki indekste de sağlıklı bitki örtüsünün olduğu alanlar pozitif değerler alır. NDVI'nin negatif değerleri bitki örtüsünün olmadığı bölgeleri işaret ederken, NBR'deki düşük değerler ise çıplak zemini ve/veya yakın zamanda yanmış alanlara işaret eder.

Çalışma kapsamında seçilen bölgelerin yangın şiddeti haritalarının hazırlanabilmesi ve günümüze kadar olan süreçteki bitki örtüsü değişimlerinin izlenebilmesi için yangın öncesi ve sonrası (bu aşamada yangın şiddetinin belirlenmesinde yangının hemen sonrası, yeniden yeşillendirme sürecinin takibi için günümüz tarihli) görüntüler kullanılmıştır. NDVI ve NBR görüntülerinin farkı alınarak, dNDVI ve dNBR görüntüleri oluşturulmuştur. dNBR görüntülerine USGS FIREMON tarafından, bir bölgedeki yanma şiddetini tespit etmek amacıyla belirlenmiş eşik değerler uygulanarak çalışma alanlarının her biri için yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur (Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4). Bu eşik değerler temel olarak dNBR indeksine bağlı olarak geliştirilmiş olmakla birlikte, literatürde bu değerlerin, yanmış alanların belirlenmesinde kullanılan farklı indekslerden üretilmiş görüntülere uygulandığı örnekler de bulunmaktadır (Konkathi ve Shetty, 2021; Gürbüz, 2023). Bunun yanı sıra dNDVI için üretilmiş ve yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilen farklı eşik değer sınıflamalarını da literatürde görmek mümkündür (Yılmaz vd., 2023; Gündüz vd., 2025). Bu çalışmada da seçilen yanmış alanlardaki yanma şiddetinin belirlenmesi hem de ilgili yangınlardan günümüze bitki örtüsünde değişimin olup olmadığı; var ise derecesi ve kapladığı alan hakkında bilgi edinebilmek için hem dNBR hem de dNDVI görüntülerine bu eşik değerler uygulanarak yanma şiddeti sınıflarını gösteren haritalar üretilmiştir.

Çizelge 3.3. dNBR için yanma şiddeti sınıflarının eşik değer seviyeleri (Key ve Benson, 2006).

Numara	Yanma Şiddeti Sınıfları	Eşik Değeri
1	Yanmamış alan	<0,1
2	Düşük şiddetli yanmış alan	0,1-0,26
3	Orta-düşük şiddetli yanmış alan	0,27-0,43
4	Orta-yüksek şiddetli yanmış alan	0,44-0,65
5	Yüksek şiddetli yanmış alan	>0,66

Çizelge 3.4. dNDVI için yanma şiddeti sınıflarının eşik değer seviyeleri (Morante-Carballo vd.,2022).

Numara	Yanma Şiddeti Sınıfları	Eşik Değeri
1	Yanmamış alan	<0,07
2	Çok düşük şiddetli yanmış alan	0,08-0,13
3	Düşük şiddetli yanmış alan	0,13-0,20
4	Orta şiddetli yanmış alan	0,20-0,33
5	Yüksek şiddetli yanmış alan	0,33-0,44
6	Çok Yüksek şiddetli yanmış alan	>0,45

Çalışma kapsamında, dNBR ve dNDVI indeksleri ile üretilen haritaların birbirleri ile tutarlılıklarının kontrolünü sağlamak amacıyla her bir yangın için Pearson's korelasyon analizi yapılmıştır.

Pearson korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçen istatistiksel değerdir. Katsayı -1 ile 1 arasında bir değer alır. Değerin -1 olması, değişkenler arasında güçlü negatif ilişkiyi ifade ederken; +1 olması ise güçlü ve pozitif yönlü bir ilişkiyi gösterir. Katsayının 0 çıkması ise değişkenler arasında herhangi bir doğrusal ilişki bulunmadığını göstermektedir. Bu değerler ve yorumları Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Pearson's Korelasyon katsayısı değerleri ve ilişki düzeyleri.

Korelasyon Katsayısı (R)	İlişki Düzeyi
0,00 – 0,19	Çok zayıf ilişki
0,20 – 0,39	Zayıf ilişki
0,40 – 0,59	Orta düzeyde ilişki
0,60 – 0,79	Güçlü ilişki
0,80 – 1,00	Çok güçlü ilişki

Bu amaçla, ArcGIS yazılımı aracılığıyla her yangın bölgesinde 500 rastgele nokta seçilmiş ve bu noktaların dNBR ile dNDVI görüntülerindeki piksel değerleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler Microsoft Excel ortamına aktarılarak Pearson korelasyon katsayısı (R) ve determinasyon katsayısı (R^2) hesaplanmış, ayrıca dağılım grafikleri üretilmiştir.

Ayrıca çalışma kapsamında Landsat görüntüleri kullanılarak üretilen, dNBR ve dNDVI haritalarından belirlenmiş yanmış ve yanmamış alanların doğruluğunu değerlendirmek amacıyla, sınıflandırma performansının kantitatif olarak ölçülmesine olanak tanıyan karmaşıklık matrisi (confusion matrix) yöntemi kullanılmıştır.

Bu yöntem, modelin doğru ve yanlış sınıflandırma durumlarını detaylı bir şekilde ortaya koyarak genel doğruluk, kullanıcı doğruluğu, üretici doğruluğu ve Kappa katsayısı gibi metriklerin hesaplanmasına imkân sağlamaktadır. Karmaşıklık matrisi, sınıflandırma modellerinde tahmin edilen sonuçlarla gerçek değerlerin karşılaştırılmasını sağlayan, modelin doğruluk, hata ve genel performansını değerlendirmede kullanılan temel ve yaygın yöntemlerden bir tanesidir (Fawcett,

2006; Powers, 2011). Karmaşıklık matrisi genel olarak dört temel hücre üzerinden açıklanır: True Positive (TP) doğru şekilde pozitif sınıfa atanan, True Negative (TN) doğru bir şekilde negatif sınıfa atanan, False Pozitif (FP) yanlışlıkla pozitif sınıfa atanan, False Negative (FN) yanlışlıkla negatif sınıfa atanan örnekleri gösterir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Karmaşıklık matrisi temel değerleri.

Tahmin Veri	Yanmış Alan	Yanmamış Alan
Gerçek Veri		
Yanmış Alan	TP	FN
Yanmamış Alan	FP	TN

Tez kapsamında analiz edilen her bir yangın bölgesi için sınıflandırma doğruluğu, karmaşıklık matrisi bileşenlerine (TP, TN, FP, FN) dayalı metrikler kullanılarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu metrikler, ilgili matematiksel eşitlikler aracılığıyla hesaplanmaktadır.

Genel doğruluk (OA), doğru tahmin edilen örneklerin toplam örnek sayısına oranıdır (Eşitlik 3.3). Modelin genel başarısını gösterir.

$$\frac{(TN + TP)}{N} \quad (3.3)$$

Kappa katsayısı (κ), sınıflandırmanın doğruluğunu tesadüfi sonuçlarla karşılaştırmalı olarak değerlendiren bir ölçüttür (Eşitlik 3.4). 0 ile 1 arasında değer alır ve 1'e yaklaştıkça güvenilirlik artar.

$$PCC = \frac{(TP + FP) \times (TP + FN) + (FN + TN) \times (FP + TN)}{(TN + TP + FP + FN)^2} \quad (3.4)$$

$$1 - \frac{(TP + FP) \times (TP + FN) + (FN + TN) \times (FP + TN)}{(TN + TP + FP + FN)^2}$$

Duyarlılık (Recall), gerçekte pozitif olan örneklerin, doğru biçimde pozitif olarak sınıflandırılma oranıdır (Eşitlik 3.5).

$$\frac{(TP)}{(TP + FN)} \quad (3.5)$$

Özgüllük (Specificity), gerçekte negatif olan örneklerin, doğru biçimde negatif olarak sınıflandırılma oranıdır (Eşitlik 3.6).

$$\frac{(TN)}{(TN + FP)} \quad (3.6)$$

Doğru Pozitif Oranı (PCC/ True positive rate), doğru sınıflandırılan örneklerin oranını gösterir, modelin genel doğruluğunu yansıtır (Eşitlik 3.7)

$$\frac{(TP)}{(TP + FP)} \quad (3.7)$$

Dengeli Doğruluk (BA/ Balanced Accuracy), duyarlılık ve özgüllüğün ortalamasıdır. Özellikle dengesiz veri kümelerinde daha adil bir başarı ölçütü sağlar (Eşitlik 3.8).

$$\frac{\text{Recall} + \text{Specificity}}{2} \quad (3.8)$$

F- Skoru (FS), Duyarlılık ve kesinliğin birlikte değerlendirilmesiyle hesaplanır. Sınıflandırma başarısını dengeli şekilde yansıtır (Eşitlik 3.9).

$$\frac{2 \times TP}{(2 \times TP + FP + FN)} \quad (3.9)$$

Yanlış Alarm Oranı (FA/False Alarm), Negatif örneklerin yanlış biçimde pozitif olarak sınıflandırılma oranıdır (Eşitlik 3.10).

$$\frac{(FP)}{(TN + FP)} \quad (3.10)$$

Kaçırma Oranı (MD/ Missed Detection), Pozitif örneklerin yanlış biçimde negatif olarak sınıflandırılma oranıdır. Gerçek pozitiflerin gözden kaçma riskini gösterir (Eşitlik 3.11).

$$\frac{(FN)}{(TP + FN)} \quad (3.11)$$

Doğruluk analizlerinde, ilgili bölgeler için Sentinel-2 uydu görüntüleri ile Google Earth görüntüleri birlikte referans veri olarak kullanılmıştır. Sentinel-2, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından Copernicus Programı kapsamında geliştirilen, Dünya gözlemine yönelik optik bir uydu sistemidir. Tarım, orman, su kaynakları ve afet izleme gibi alanlarda kullanılmak üzere yüksek çözünürlüklü multispektral görüntüler sağlar (URL-6). Sentinel-2 uyduları, 13 farklı spektral bantta veri toplar ve bu bantların mekânsal çözünürlükleri 10, 20 ve 60 metre arasında değişmektedir. Özellikle 10 metre çözünürlüğe sahip bantlar, arazi örtüsü haritalama gibi detaylı analizlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Phiri vd., 2020).

Yürütülen bu çalışma kapsamında, tüm yangınların gerçekleştiği tarihleri kapsayabilmesi amacıyla Landsat görüntüleri tercih edilmiştir. Ancak doğruluk değerlendirmelerinde, mekânsal çözünürlüğü daha yüksek olan Sentinel-2 görüntüleri kullanılmıştır. Gülderen yangını özelinde, yangının tarihi nedeniyle Sentinel-2 görüntüsü bulunmamaktadır. Bu nedenle, doğruluk değerlendirmesi için Google Earth verileri ve yangından bir süre sonra elde edilen, ancak yanmış alan sınırlarının hâlâ net bir şekilde seçilebildiği Sentinel-2 görüntüleri kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan, ikinci veri seti ise uzun dönemli görüntü koleksiyonlarından oluşmaktadır. Bu koleksiyonlar yangınlardan önceki dönemden başlayarak ve günümüze uzanacak şekilde, yangınların olduğu bölgelerdeki tüm Landsat 8 görüntülerini kapsamaktadır. Her bir yangın bölgesi için ayrı ayrı oluşturulan bu koleksiyonlara NDVI indeksi uygulanmış ve her bölge için rasgele seçilmiş noktaların uzun süreli (her yangın için 5 yıl öncesinden Ağustos 2024'e kadar olan dönemi kapsayan NDVI zaman serileri) bitki örtüsü değişimi grafiklenmiştir. Bu grafikler içerdikleri kesintisiz veri seti, kapsadıkları tarih aralıkları nedeniyle yangının ve yeniden yeşillenme süreçlerinin uzun dönemli olarak gözlenmesini sağlamaları açısından önemlidir.

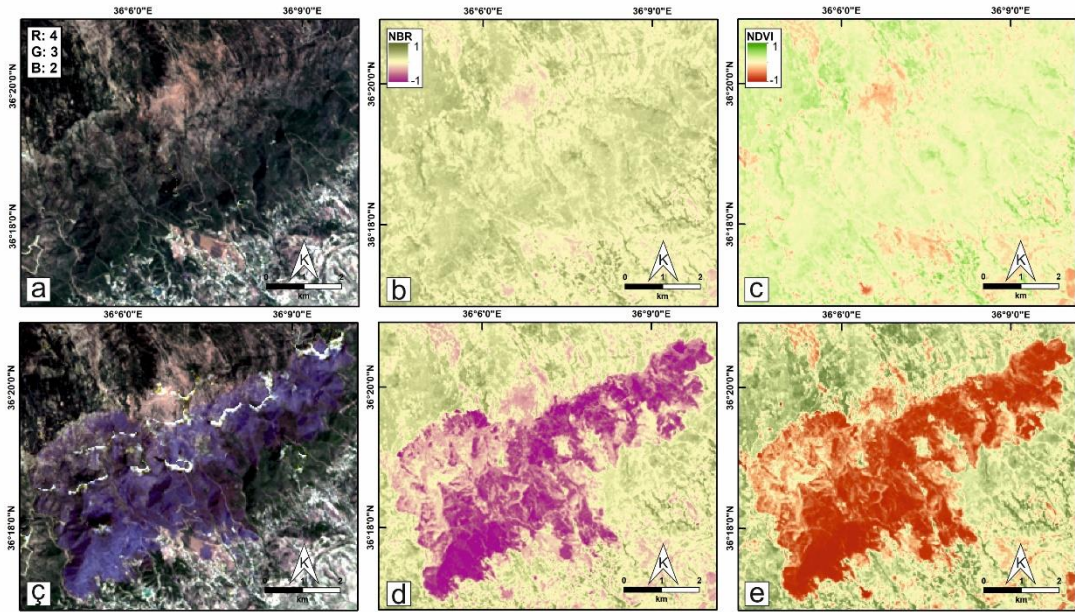
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Yanmış Alanların ve Bu Alanlardaki Yanma Şiddetlerinin Belirlenmesi

4.1.1 Gülderen yangını

Tez kapsamında analizi yapılan yangınlardan ilki 05.08.2013 tarihinde başlamış Hatay merkeze bağlı Gülderen, Dikmece, Oğlakören, Alahan köyleri arasında çıkan ve Karaali ile Karlısu beldelerine kadar ilerlemiştir. Söz konusu yangın, çalışma kapsamında Gülderen yangını olarak adlandırılmıştır.

2013 yılında meydana gelen Gülderen orman yangınında, dNBR ($NBR_1 - NBR_2$) indeksi kullanılarak yapılmış hesaplamalara göre 2162 ha, dNDVI indeksi kullanılarak yapılmış hesaplamalara ($NDVI_1 - NDVI_2$) göre ise 2350 ha alanın yandığı tespit edilmiştir (Şekil 4.1, 4.2).

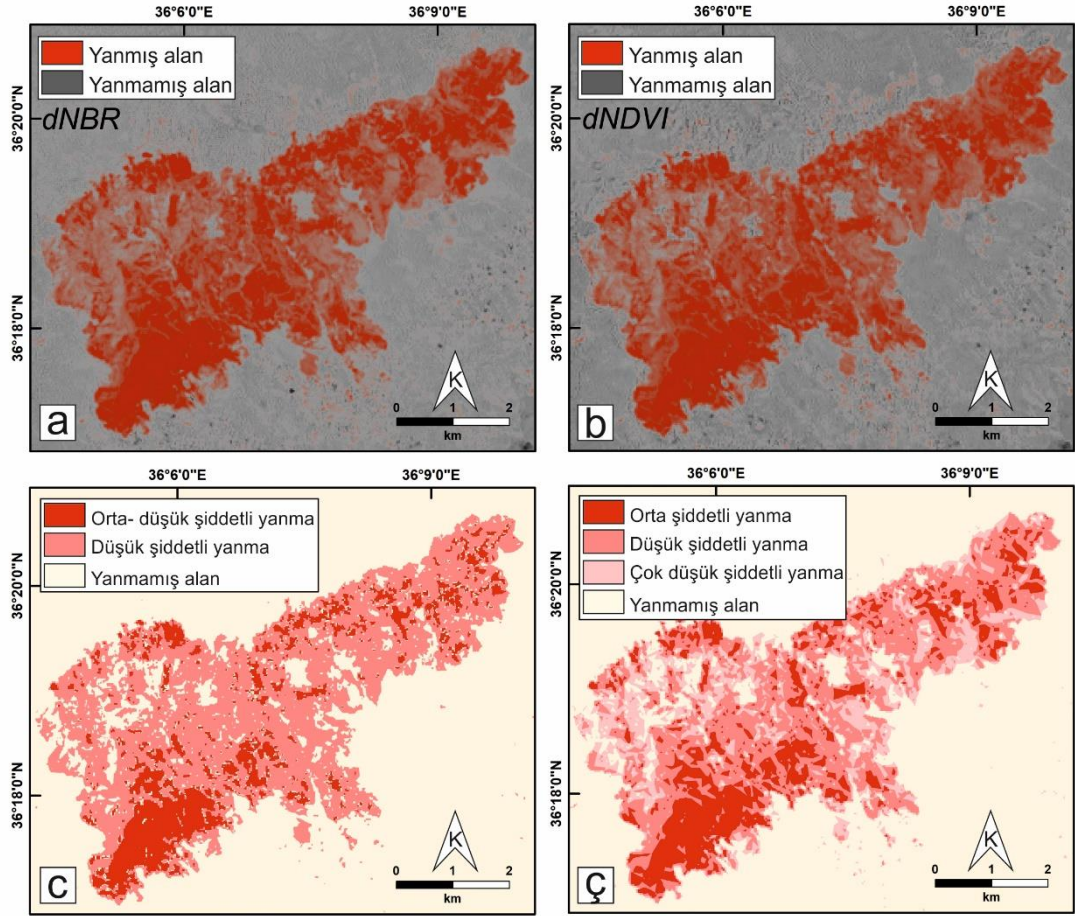


Şekil 4.1. Gülderen yangınının çıktığı bölgenin yangın öncesi ve sonrası a,ç) Landsat 8 görüntü mozaiği, b,d) NBR (NBR_1 , NBR_2) görüntüleri, c,e) NDVI ($NDVI_1$, $NDVI_2$) görüntüleri.

Çizelge 3.3'te sunulan eşik değerler dikkate alınarak oluşturulan dNBR indeksine dayalı yanma şiddeti sınıfları incelendiğinde 1681 ha alan düşük şiddetli yanmış alan, 481 ha alan orta-düşük şiddetli yanmış alan olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.2 a,c).

Çizelge 3.4'te sunulan eşik değerler dikkate alınarak oluşturulan dNDVI indeksine dayalı yanma şiddeti sınıfları incelendiğinde ise 628 ha alan çok düşük şiddetli yanmış,

1205 ha alan düşük şiddetli yanmış, 517 ha alan ise orta şiddetli yanmış alan olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.2 b,ç).

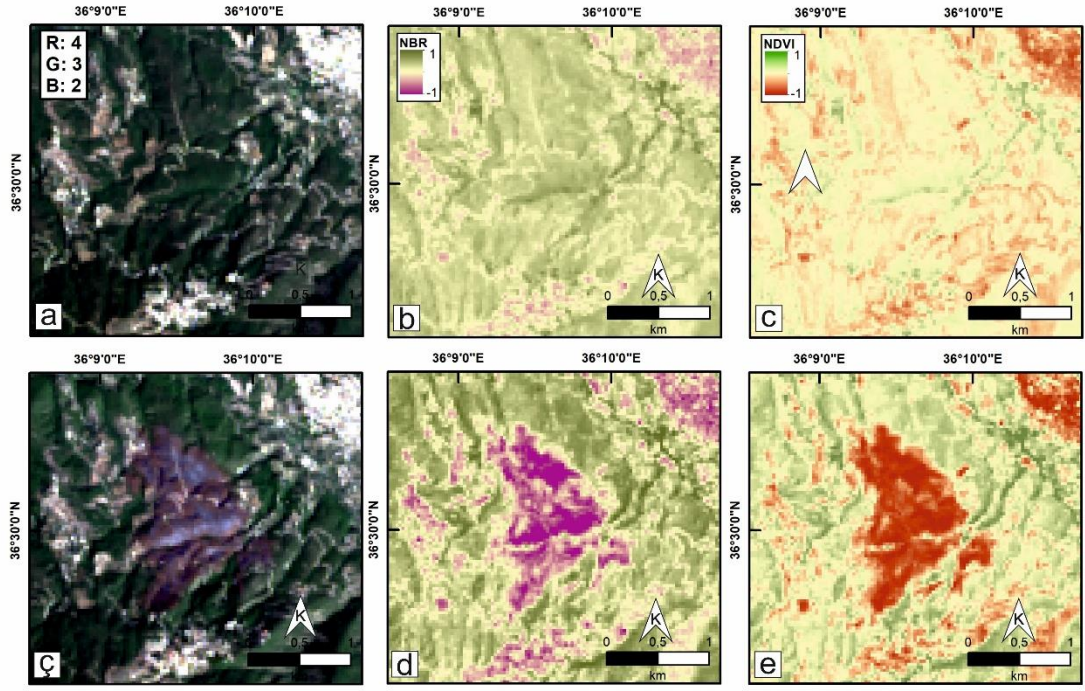


Şekil 4.2. 2013 yılı Gülderren yangınında a-b) dNBR ve dNDVI'a göre yanan alanların durumu, c-ç) dNBR ve dNDVI indekslerinden üretilmiş yanma şiddeti haritaları.

4.1.2 Soğukoluk yangını

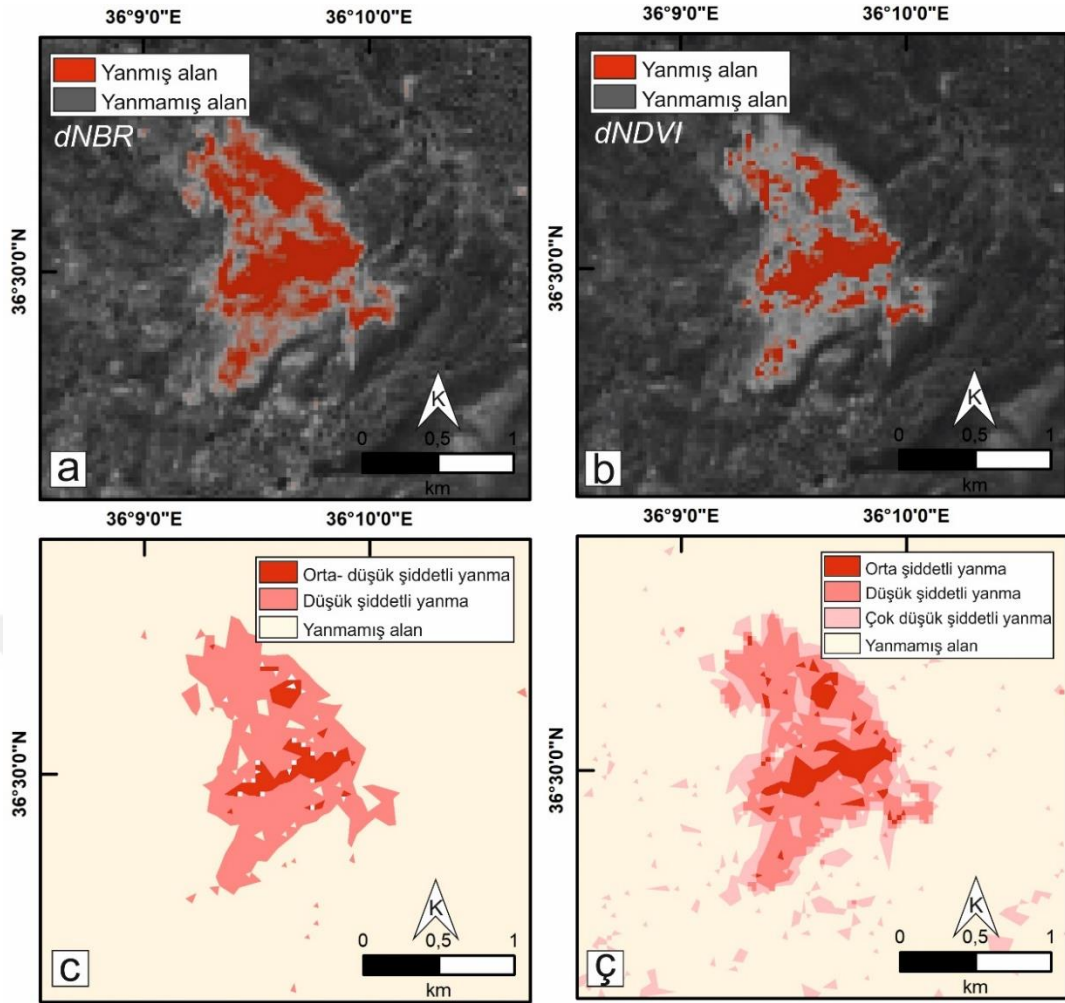
Çalışma kapsamında analizi yapılan ikinci yangın, Hatay'ın Belen ilçesine bağlı Soğukoluk Yaylası mevkiindeki ormanlık alanda 13.09.2018 tarihinde elektrik trafosunun patlaması sonucu başlamıştır. Yangın çalışma kapsamında Soğukoluk yangını olarak tanımlanmıştır.

2018 yılında meydana gelen Soğukoluk yangınında, dNBR ($NBR_1 - NBR_2$) indeksi kullanılarak yapılmış hesaplamalara göre 118 ha, dNDVI indeksi kullanılarak yapılmış hesaplamalara ($NDVI_1 - NDVI_2$) göre ise 162 ha alanın yandığı tespit edilmiştir (Şekil 4.3, 4.4).



Şekil 4.3. Soğukoluk yangının çıktığı bölgenin yangın öncesi ve sonrası a,ç) Landsat 8 görüntü mozaığı, b,d) NBR (NBR₁, NBR₂) görüntüleri, c,e) NDVI (NDVI₁,NDVI₂) görüntüleri.

dNBR indeksinden üretilen yanma şiddeti sınıflarına bakıldığında 104 ha alan düşük şiddetli yanmış, 14 ha alan ise orta-düşük şiddetli yanmış alan olarak hesaplanmıştır. dNDVI haritasından üretilen yanma şiddeti sınıflarına bakıldığında ise 56 ha alan çok düşük şiddetli yanmış, 86 ha alan düşük şiddetli yanmış, 20 ha alan ise orta şiddetli yanmış alan olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.4 b,ç).



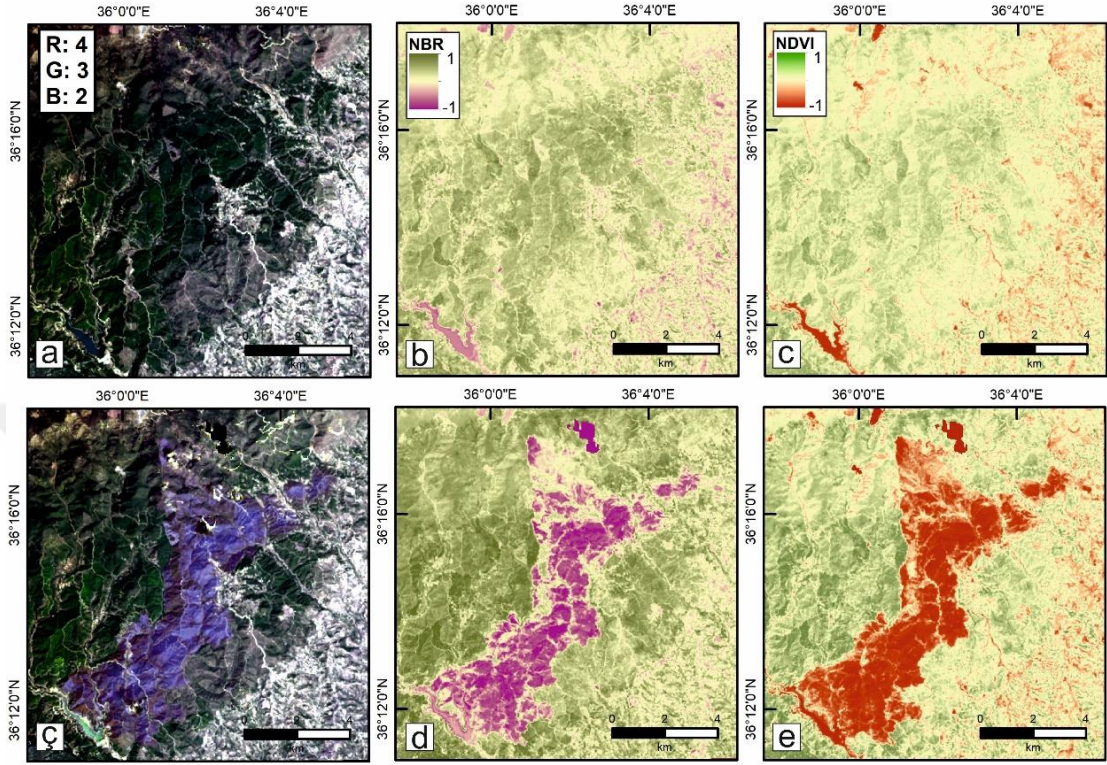
Şekil 4.4. 2018 yılı Soğukoluk yangınında a-b) dNBR ve dNDVI'a göre yanan alanların durumu, c-ç) dNBR ve dNDVI indekslerinden üretilmiş yanma şiddeti haritaları.

4.1.3 Yaylacık yangını

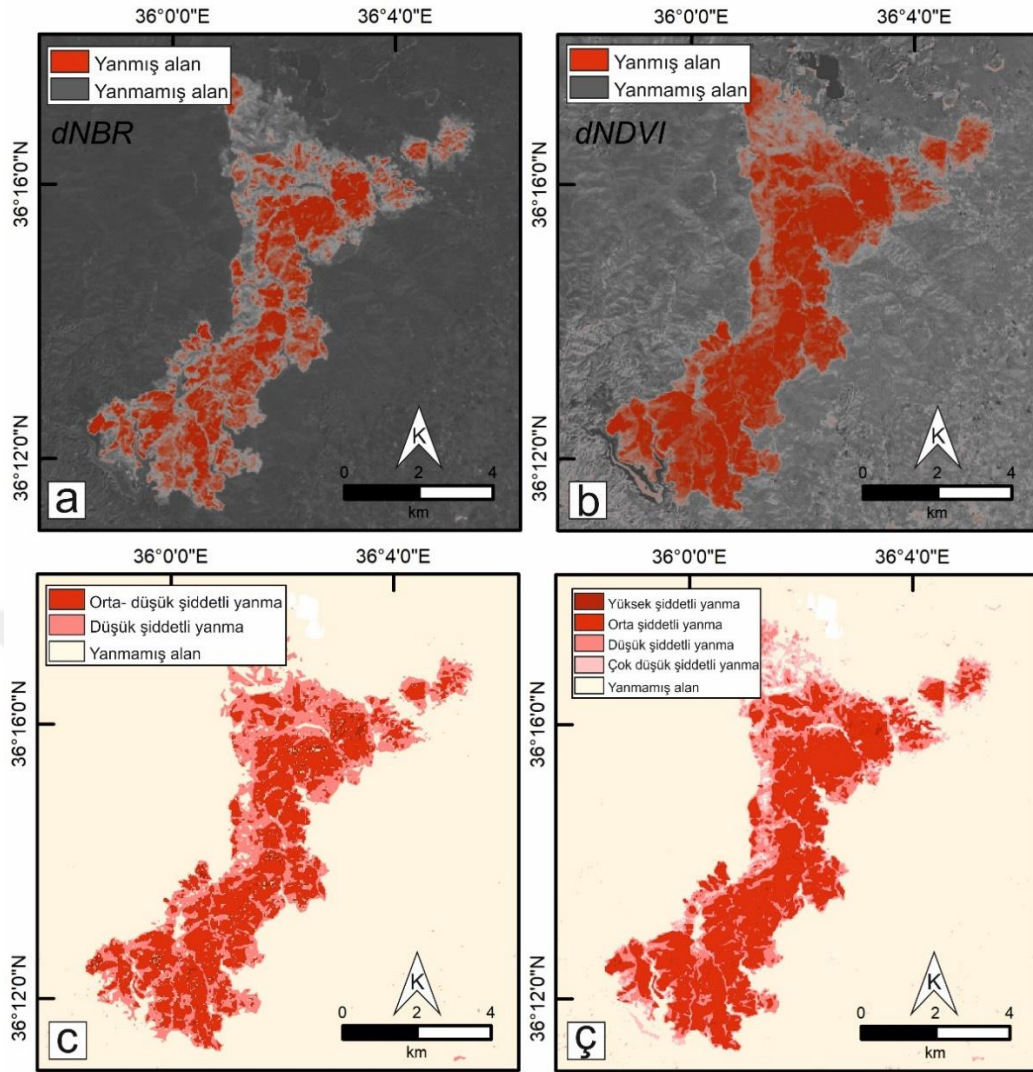
Çalışma kapsamında analizi yapılan son yangın, Hatay Samandağı'nın Yeniköy Mahallesiindeki ormanlık alanda 05.09.2020 tarihinde çıkan ve Antakya ilçesi Yaylacık Mahallesi'ne de sıçrayan yangındır. Yangın tez çalışması kapsamında Yaylacık yangını olarak tanımlanmıştır.

2020 yılında meydana gelen Yaylacık yangınında, dNBR ($NBR_1 - NBR_2$) indeksi kullanılarak yapılmış hesaplamalara göre 3197 ha, dNDVI indeksi kullanılarak yapılmış hesaplamalara ($NDVI_1 - NDVI_2$) göre ise 3550 ha alanın yandığı tespit edilmiştir (Şekil 4.5, 4.6). dNBR indeksinden üretilen yanma şiddeti sınıflarına bakıldığında 1483 ha alan düşük şiddetli, 1658 ha alan orta-düşük şiddetli, 56 ha alan ise orta-yüksek şiddetli yanmış alan olarak hesaplanmıştır. dNDVI haritasından

Üretilen yanma Şiddeti sınıflarına bakıldığında 549 ha alan çok düşük Şiddetli, 1012 ha alan düşük Şiddetli yanmış, 1978 ha alan orta Şiddetli yanmış, 11 ha alan ise yüksek Şiddetli yanmış alan olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.6 b,).



Şekil 4.5. Yaylacık yangının çıktığı bölgenin yangın öncesi ve sonrası a,) Landsat 8 görüntü mozaiği, b,d) NBR (NBR₁, NBR₂) görüntüleri, c,e) NDVI (NDVI₁,NDVI₂) görüntüleri.

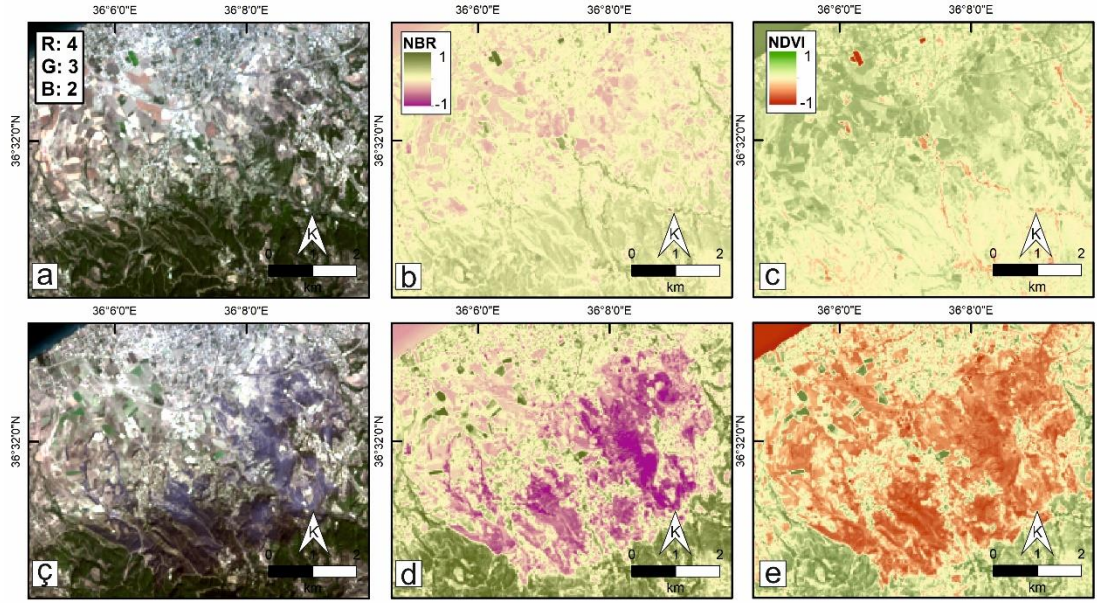


Şekil 4.6. 2020 yılı Yaylacık yangınında a-b) dNBR ve dNDVI'a göre yanan alanların durumu, c-ç) dNBR ve dNDVI indekslerinden üretilmiş yanma şiddeti haritaları.

4.1.4 Sarımazı yangını

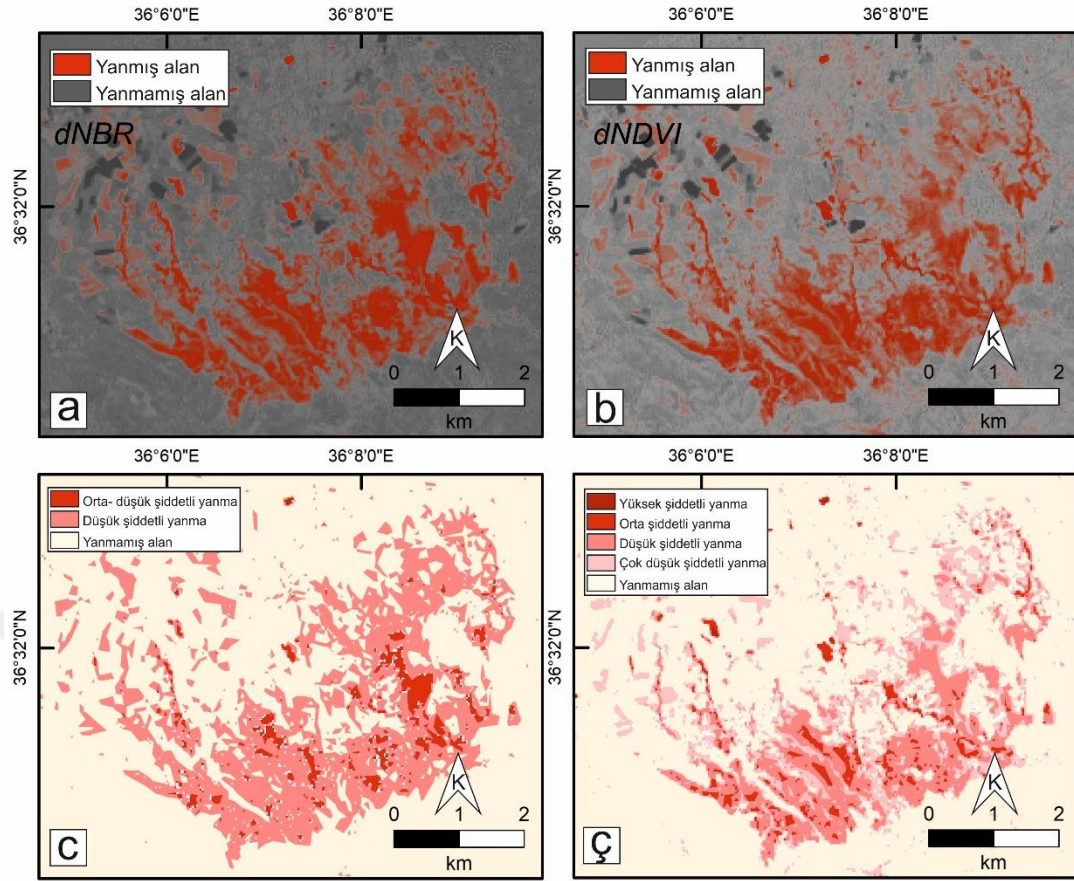
Hatay'ın Belen ilçesi Sarımazı Mahallesi'ndeki ormanlık alanda 09.10.2020 tarihinde trafo patlaması nedeniyle çıkan yangın İskenderun ilçesindeki Şekere ve İsmet İnönü mahalleleri ile Arsuz ilçesindeki ormanlık alana da sıçramıştır. Yangın, çıkış noktası dikkate alınarak Sarımazı yangını olarak tanımlanmıştır.

2020 yılında meydana gelen Sarımazı yangınında, dNBR ($NBR_1 - NBR_2$) indeksi kullanılarak yapılmış hesaplamalara göre 1290 ha, dNDVI indeksi kullanılarak yapılmış hesaplamalara ($NDVI_1 - NDVI_2$) göre ise 1238 ha alanın yandığı tespit edilmiştir (Şekil 4.7, 4.8).



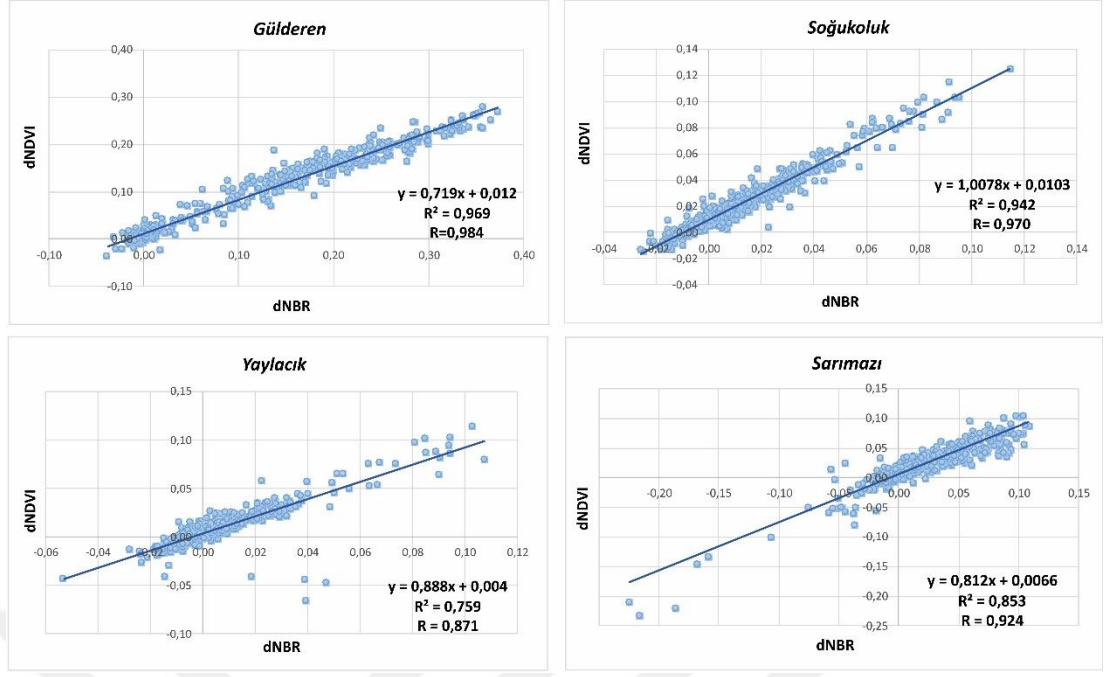
Şekil 4.7. Sarımazı yangının çıktığı bölgenin yangın öncesi ve sonrası a,ç) Landsat 8 görüntü mozaïği, b,d) NBR (NBR₁, NBR₂) görüntüleri, c,e) NDVI (NDVI₁,NDVI₂) görüntüleri.

dNBR indeksinden üretilen yanma şiddeti sınıflarına bakıldığında 1165 ha alan düşük şiddetli yanmış, 122 ha alan orta-düşük şiddetli yanmış, 3 ha alan ise orta-yüksek şiddetli yanmış alan olarak hesaplanmıştır. dNDVI haritasından üretilen yanma şiddeti sınıflarına bakıldığında ise 586 ha alan çok düşük şiddetli yanmış, 547 ha alan düşük şiddetli yanmış, 98 ha alan orta şiddetli yanmış, 4 ha alan yüksek şiddetli yanmış, 3 ha alan ise çok yüksek şiddetli yanmış alan olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.8 b,ç).



Şekil 4.8. 2020 yılı Yaylacık yangınında a-b) dNBR ve dNDVI'a göre yanan alanların durumu, c-ç) dNBR ve dNDVI indekslerinden üretilmiş yanma şiddeti haritaları.

Tez çalışması kapsamında dNBR ve dNDVI indeksleri ile üretilen haritaların birbirleri ile tutarlılıklarının kontrolünü sağlamak amacıyla her bir yangın için yapılan Pearson's korelasyon analizi sonuçları Şekil 4.9'da sunulmuştur. Korelasyon analizlerine yönelik dağılım grafikleri incelendiğinde, yanan alanların belirlenmesinde kullanılan dNBR ile dNDVI indeksleri arasında yüksek düzeyde pozitif korelasyon olduğu görülmektedir. Çalışma alanlarına ait korelasyon katsayıları 0,87 ile 0,98 aralığında değişmekte olup, determinasyon katsayıları ise 0,76 ile 0,97 arasında hesaplanmıştır. Bu durum, her iki indis arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişki olduğunu ve her iki indeksin de yangın sonrası değişimleri benzer şekilde yansıttığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.9. dNBR ve dNDVI arasındaki Pearson korelasyonuna ilişkin dağılım grafikleri.

Tüm yangın bölgeleri için, her iki indisten elde edilen yanmış ve yanmamış alan sınıflarının doğruluğunu değerlendirmek amacıyla oluşturulan karmaşıklık matrislerine ait metrikler, Çizelge 4.1 ve 4.2’de sunulmuştur. Dört yangın bölgesinin her biri için doğruluk değerlendirmeleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. dNBR indeksine göre elde edilen doğruluk değerlendirmesi.

Yangın Adı	OA (%)	Kappa (κ)	Recall (%)	Specificity (%)	PCC (%)	BA (%)	FS (%)	FA (%)	MD (%)	Örnek Sayısı
Gülderen	89,60	0,92	85,10	95,41	96	90,25	90,22	4,58	14,89	500
Soğukoluk	97,20	0,98	95,38	99,16	99	97,27	97,25	0,83	4,61	250
Yaylacık	95,25	0,98	92,09	98,91	99	95,50	95,42	1,08	7,90	400
Sarımaşı	98,50	0,97	96,80	99,05	98	97,93	97,84	0,94	3,19	400

Çizelge 4.2. dNDVI indeksine göre elde edilen doğruluk değerlendirmesi.

Yangın Adı	OA (%)	Kappa (κ)	Recall (%)	Specificity (%)	PCC (%)	BA (%)	FS (%)	FA (%)	MD (%)	Örnek Sayısı
Gülderen	92,20	0,89	90,84	93,83	94	92,33	92,71	6,16	9,15	500
Soğukoluk	96,00	0,98	93,43	99,11	99	96,27	96,24	0,88	6,56	250
Yaylacık	96,25	0,94	95,71	96,84	97	96,27	96,40	3,15	4,28	400
Sarımazı	86,25	0,59	78,72	90,34	81	84,53	80,14	9,65	21,27	400

Çizelge 4.1’de verilen dNBR indeksine göre yapılan doğruluk analizi sonuçları incelendiğinde, en yüksek genel doğruluk (OA) değeri %98,50 ile Sarımazı yangınında, en düşük değer ise %89,60 ile Gülderen yangınında elde edilmiştir. Kappa katsayısı (κ) 0,92 ile 0,98 arasında değişmektedir. Recall oranları %85,10 ile %96,80, Specificity oranları ise %95’in üzerinde hesaplanmıştır. FA ve MD oranları ise düşük seviyelerde kalmıştır.

Çizelge 4.2’de verilen dNDVI indeksine göre yapılan doğruluk analizi sonuçları incelendiğinde, en yüksek genel doğruluk (OA) değeri %96,25 ile Yaylacık yangınında, en düşük değer ise %86,25 ile Sarımazı yangınında elde edilmiştir. Kappa katsayısı (κ) 0,59 ile 0,98 arasında değişmektedir. Recall oranları %78,72 ile %95,71; Specificity oranları ise %90,34 ile %99,11 aralığında hesaplanmıştır. FA oranları %0,88 ile %9,65, MD oranları ise %4,28 ile %21,27 arasında değişmektedir.

Her iki indisten elde edilen genel doğruluk değerinin %86 üzerinde olması yanmış alanlar genel olarak doğru şekilde tespit edildiğini göstermektedir.

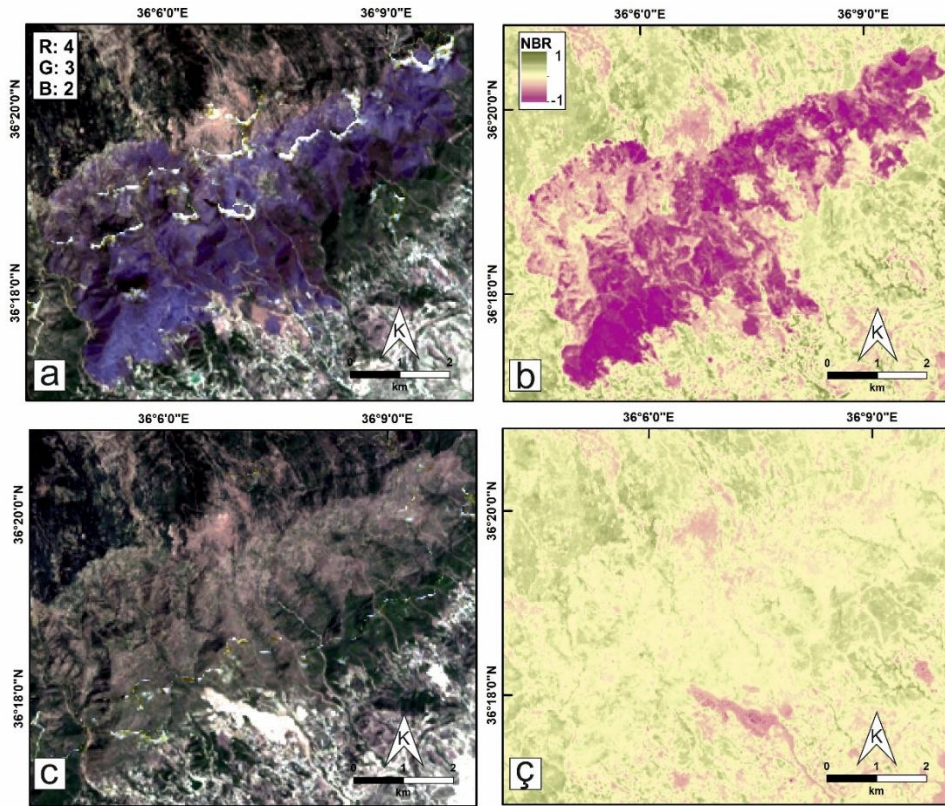
4.2 Yangınlardan Günümüze Yeniden Yeşillenme Süreci

Çalışmanın bu bölümünde, yanmış alanları hesaplanan yangın bölgelerinde, 2024 yılı sonbaharına kadar geçen süre içinde ne kadar alanın yeniden yeşillendiği belirlenmiştir. Hesaplamaların yapılabilmesi için, öncelikle her bölgeye ait yangın sonrası ve 2024 yılına ait uydu görüntüleri seçilmiştir. (Soğukoluk yangın bölgesi için, tüm çalışma boyunca uygulanan bulutluluk kriterini karşılamaması nedeniyle, Ağustos ayı yerine Haziran ayına ait görüntüler kullanılmıştır.)

Seçilen bu görüntüler kullanılarak, her yangın için ikinci bir dNBR (dNBR_b) görüntüsü oluşturulmuştur. Bu görüntüler ile yangın sonrası döneme ait dNBRa görüntülerinde tanımlanmış yanmış alan sınıfları karşılaştırılarak, yangın sonrası iyileşme süreci görselleştirilmiş ve yeşillenme miktarları hesaplanmıştır.

4.2.1 Gülderen yangını

2013 yılı Ağustos ayında meydana gelen Gülderen yangınında, yangının meydana geldiği bölgenin, yangından hemen sonraki ve 2024 yılı Ağustos ayı Landsat 8 görüntüleri kullanılarak NBR (NBR₂, NBR₃) görüntüleri üretilmiştir (şekil 4.10).

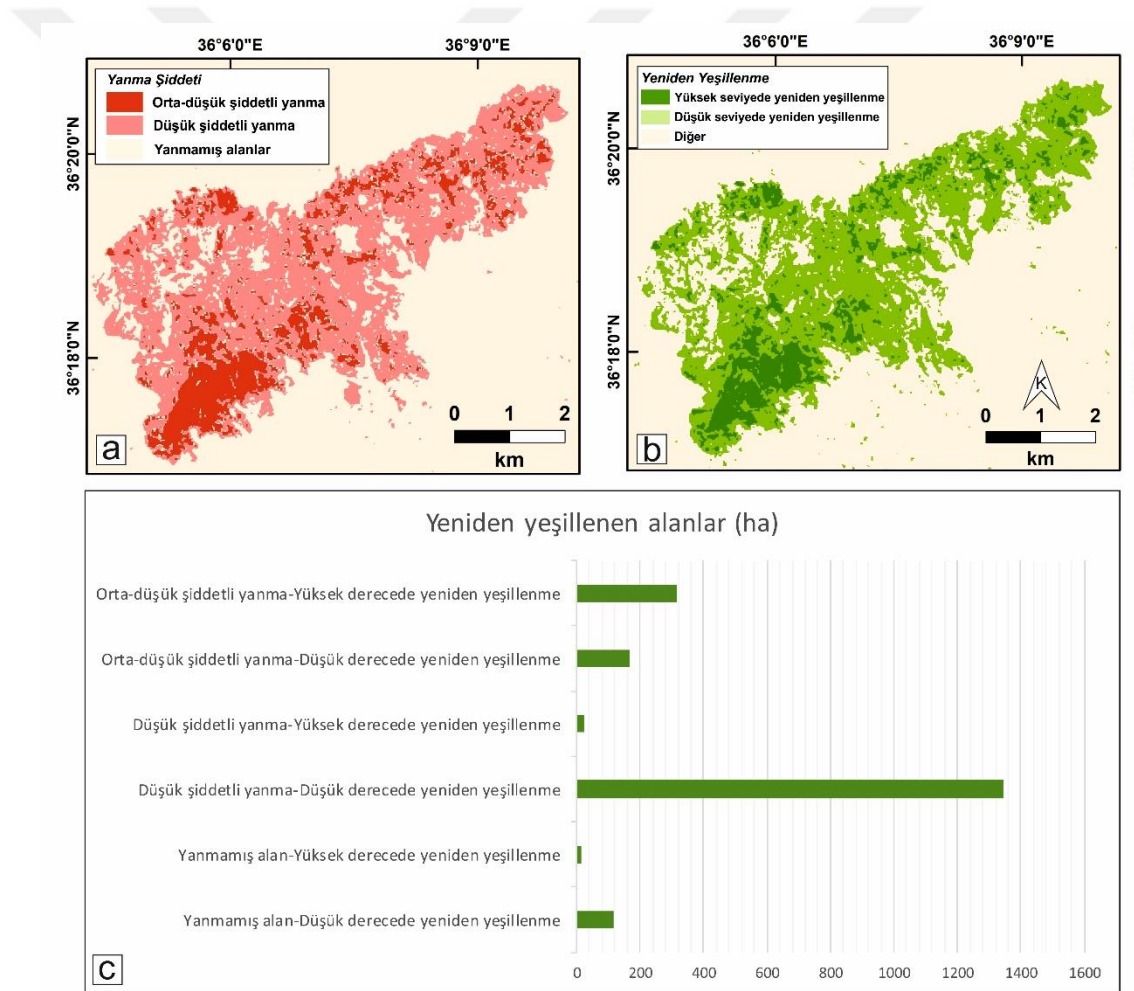


şekil 4.10. 2013 yılı Gülderen yangınının çıktığı bölgenin bölgenin yangın sonrası ve 2024 yılı Ağustos ayı a,c) Landsat 8 görüntü mozaığı, b,) NBR (NBR₂, NBR₃) görüntüleri.

Bu görüntülerin farkları alınarak dNBR (dNBR_b) görüntüleri üretilmiş ve üzerinden yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur. dNBR indeksi kullanılarak yapılan hesaplamalara göre 352 ha alanın yüksek, 1626 ha'lık alanın ise düşük seviyede yeniden yeşillendiği sonucuna ulaşılmıştır (şekil 4.11).

Değişimin dağılımına detaylı olarak bakıldığında, düşük şiddetli yanmış alanların (1681 ha) 1345 hektarlık kısmının düşük derecede, 22 hektarlık kısmının ise yüksek derecede yeniden yeşillendiği belirlenmiştir. Geriye kalan 314 hektarlık alanın ise, yanmamış alanlara benzer dNBR değerleri aldığı ancak henüz belirgin bir yeşillenme düzeyine ulaşmadığı tespit edilmiştir.

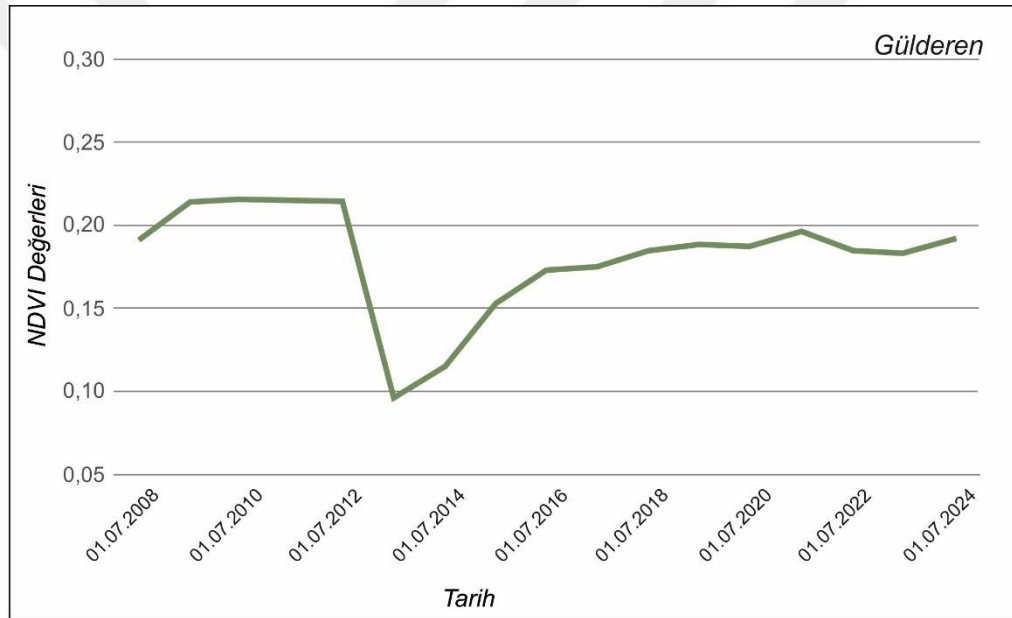
Orta-düşük şiddetli yanmış alanlarda ise 166 hektar alan düşük derecede, 315 hektar alan ise yüksek derecede yeniden yeşillenmiştir. Ayrıca, yangından hemen sonra üretilen dNBRA görüntüsünde "yanmamış alan" olarak sınıflandırılan 15 hektarlık alanın yüksek derecede, 116 hektarlık alanın ise düşük derecede yeşillendiği tespit edilmiştir (Şekil 4.11.c).



Şekil 4.11. 2013 yılı Gülderen yangınına ait a) dNBRA görüntüsünde yanmış alan sınıflarının dağılımı; b) dNBRb görüntüsüne göre yeniden yeşillenen alanların dağılımı; c) yanmış alan sınırları içerisindeki yeniden yeşillenmenin, yanma şiddeti sınıflarına göre dağılımı ve miktarını gösteren grafik.

Yeniden yeşillenme sürecinin daha geniş bir zamansal periyotta takip edilebilmesi amacıyla, GEE platformunda, yangından önceki 5 yıl (2008) ile Ağustos 2024 sonu arasındaki dönemi kapsayan bir NDVI zaman serisi oluşturulmuştur. Oluşturulan zaman serisinde Landsat 5 ve Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmış, yanmış alan sınırları içerisindeki ortalama NDVI değerlerinin yıllık değişimi hesaplanarak grafiksel olarak sunulmuştur (Şekil 4.12).

Yanmış alanın yıllık ortalama NDVI değeri, yangın öncesi dönemde yaklaşık 0,2 civarında seyrederken, yangının hemen ardından 0,1 seviyesine düşmüştür. İzleyen yıllarda ise bu değerin zamanla artış göstererek günümüzde 0,15–0,20 aralığına ulaştığı gözlemlenmektedir.



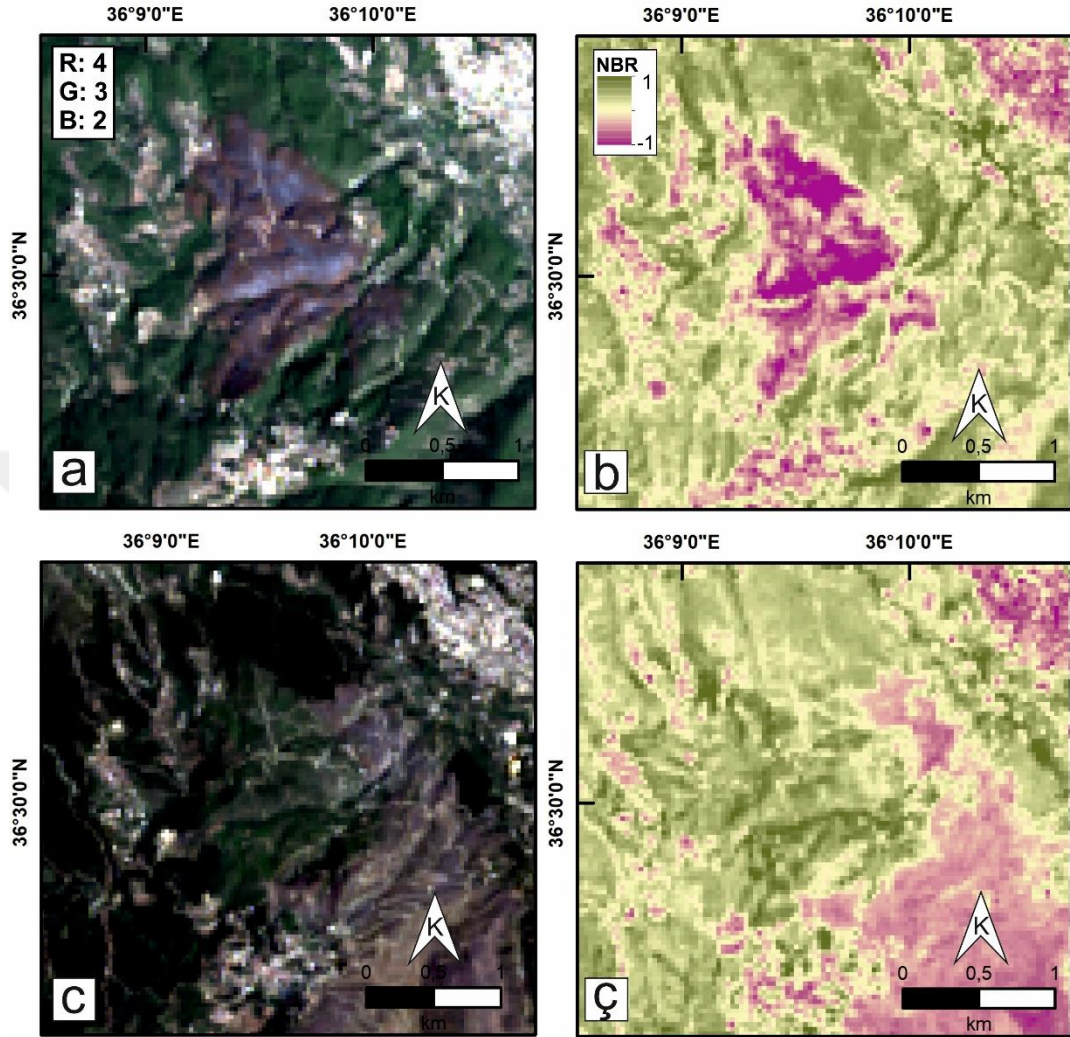
Şekil 4.12. Gülderen yangınına ait yanmış alan sınırları içinde, 2008-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama NDVI değerlerinin zaman serisi.

4.2.2 Soğukoluk yangını

2018 yılı Eylül ayında meydana gelen Soğukoluk yangınında, yangının meydana geldiği bölgenin, yangından hemen sonraki ve 2024 yılı Ağustos ayı görüntüleri kullanılarak NBR (NBR₂, NBR₃) görüntüleri üretilmiştir (Şekil 4.13).

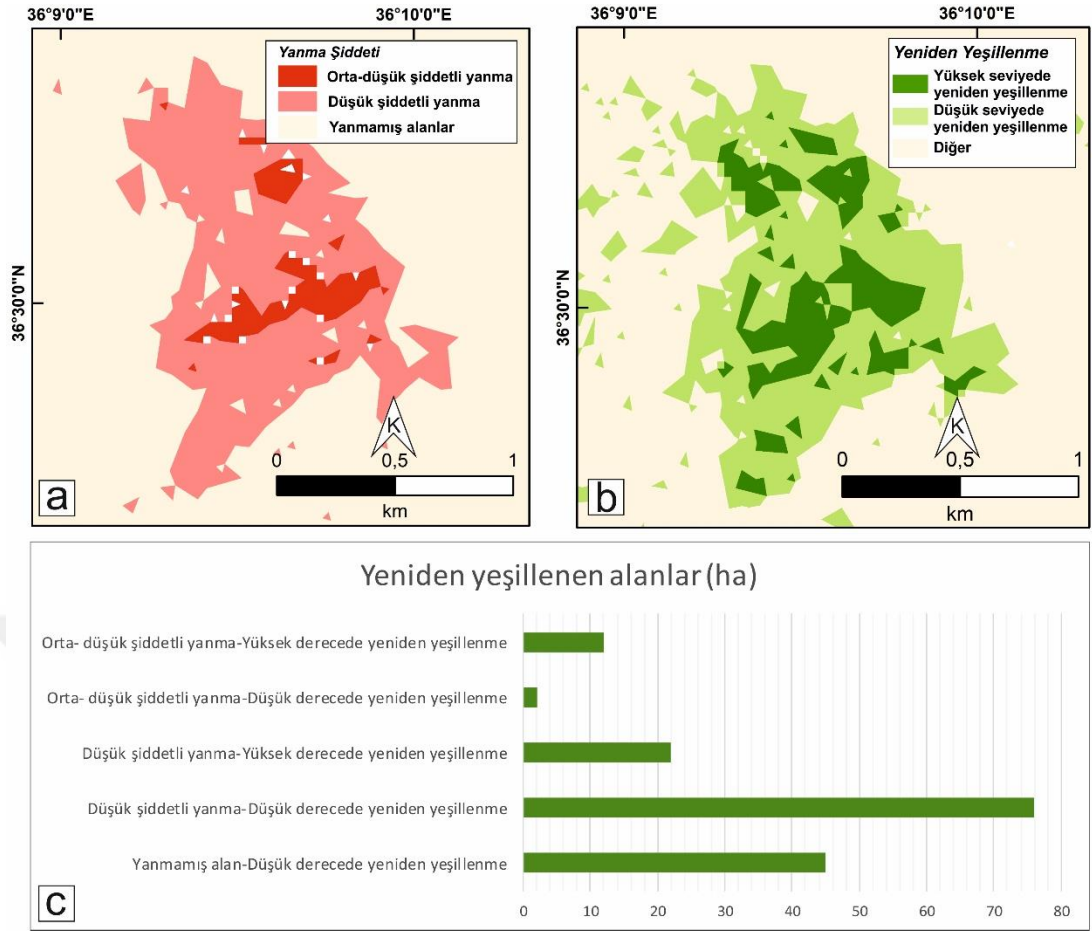
Bu görüntülerin farkları alınarak dNBR (dNBR_b) görüntüleri üretilmiş ve üzerinden yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur. dNBR indeksi kullanılarak yapılan

hesaplamalara göre 35 ha alanın yüksek, 123 ha'lık alanın ise düşük seviyede yeniden yeşillendiği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.14).



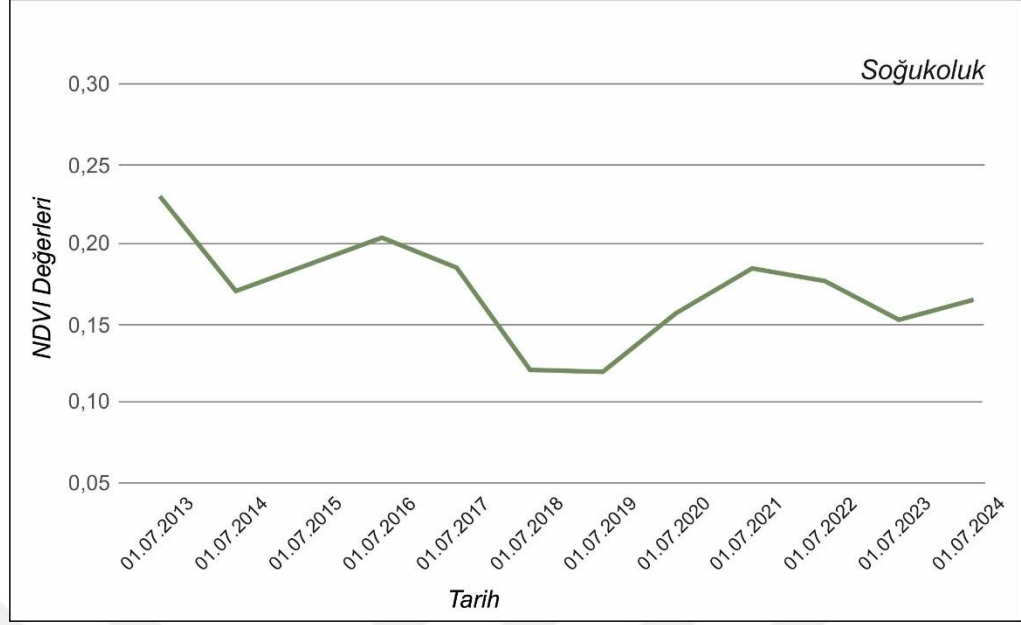
Şekil 4.13. 2018 yılı Soğukoluk yangınının çıktığı bölgenin yangın sonrası ve 2024 yılı Ağustos ayı a,c) Landsat 8 görüntü mozaığı, b,ç) NBR (NBR₂, NBR₃) görüntüleri.

Değişimin dağılımına detaylı olarak bakıldığında, düşük şiddetli yanmış alanların (104 ha) 76 hektarlık kısmının düşük derecede, 22 hektarlık kısmının ise yüksek derecede yeniden yeşillendiği belirlenmiştir. Geriye kalan 6 hektarlık alanın ise, yanmamış alanlara benzer dNBR değerleri aldığı ancak henüz belirgin bir yeşillenme düzeyine ulaşmadığı tespit edilmiştir. Orta-düşük şiddetli yanmış alanlarda ise 2 hektar alan düşük derecede, 12 hektar alan ise yüksek derecede yeniden yeşillenmiştir. Ayrıca, yangından hemen sonra üretilen dNBRA görüntüsünde "yanmamış alan" olarak sınıflandırılan 45 hektarlık alanın yüksek derecede yeşillendiği tespit edilmiştir (Şekil 4.14.c).



Şekil 4.14. 2018 yılı Soğukoluk yangınına ait a) dNBRA görüntüsünde yanmış alan sınıflarının dağılımı; b) dNBRb görüntüsüne göre yeniden yeşillenen alanların dağılımı; c) yanmış alan sınırları içerisindeki yeniden yeşillenmenin, yanma şiddeti sınıflarına göre dağılımı ve miktarını gösteren grafik.

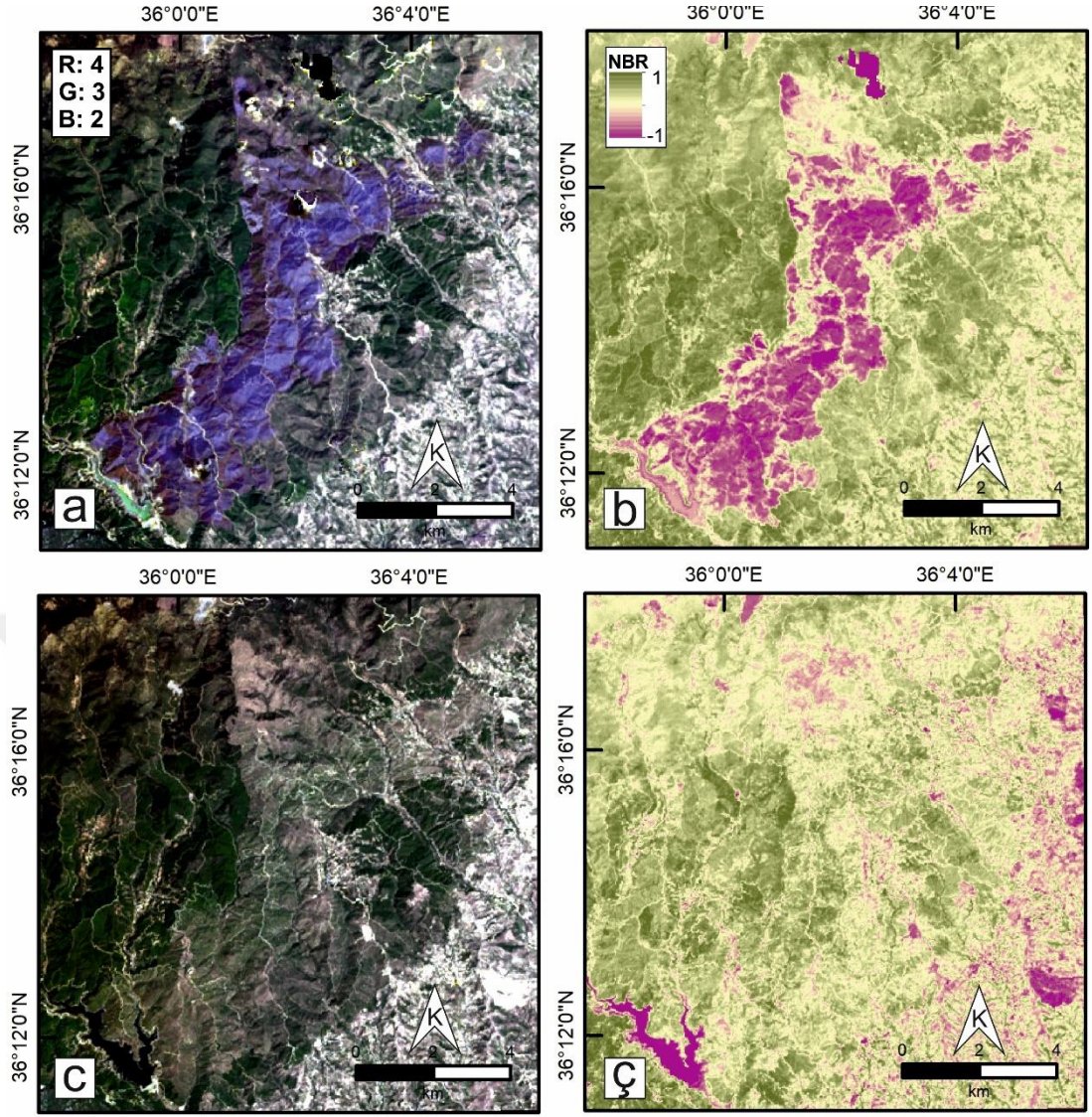
Yeniden yeşillenme sürecinin daha geniş bir zamansal periyotta takip edilebilmesi amacıyla, yangından önceki 5 yıl (2013) ile Ağustos 2024 sonunu kapsayan zaman serisi Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak oluşturulmuştur. Yanmış alan sınırları içerisindeki ortalama NDVI değerlerinin yıllık değişimine bakıldığında, yangın öncesi dönemde NDVI değerlerinin 0,19–0,23 aralığında değiştiği, yangının ardından ise 0,12 seviyesine düştüğü hesaplanmıştır. İzleyen yıllarda bu değerin dalgalanmakla birlikte zamanla artış gösterdiği ve günümüzde 0,15–0,18 aralığına ulaştığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Soğukoluk yangınına ait yanmış alan sınırları içinde, 2013-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama NDVI değerlerinin zaman serisi.

4.2.3 Yaylacık yangını

2020 yılı Eylül ayında meydana gelen Yaylacık yangınında, yangınında, yangının meydana geldiği bölgenin, yangından hemen sonraki ve 2024 yılı Ağustos ayı Landsat 8 görüntüleri kullanılarak NBR (NBR_2 , NBR_3) görüntüleri üretilmiştir (Şekil 4.16).

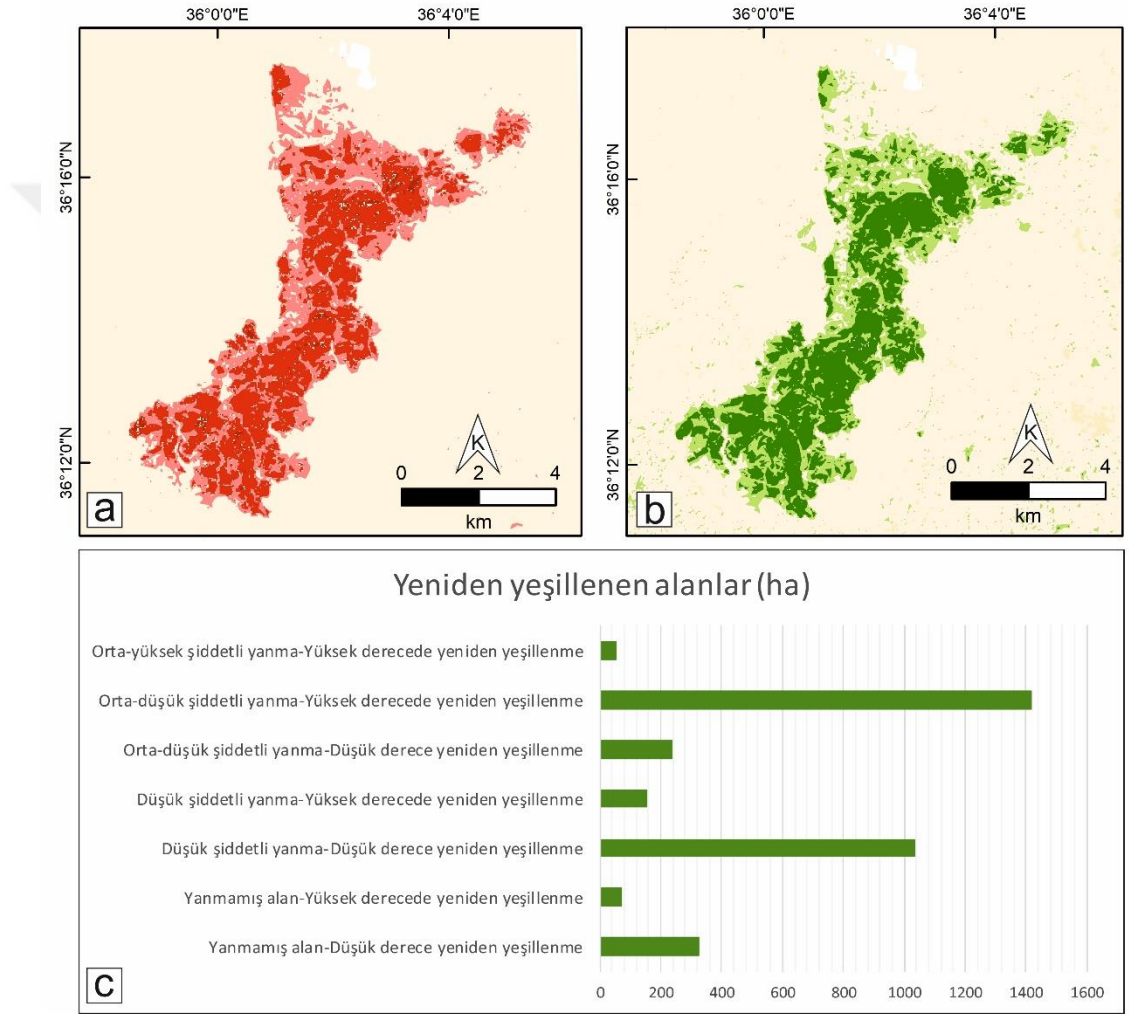


Şekil 4.16. 2020 yılı Yaylacık yangınının çıktığı bölgenin yangın sonrası ve 2024 yılı Ağustos ayı a,c) Landsat 8 görüntü mozaïği, b,ç) NBR (NBR_2 , NBR_3) görüntüleri.

Bu görüntülerin farkları alınarak dNBR ($dNBR_b$) görüntüleri üretilmiş ve üzerinden yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur. dNBR indeksi kullanılarak yapılan hesaplamalara göre 1694 ha alanın yüksek, 1322 ha'lık alanın ise düşük seviyede yeniden yeşillendiği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.17).

Değişimin dağılımına detaylı olarak bakıldığında, düşük şiddetli yanmış alanların (1483 ha) 1026 hektarlık kısmının düşük derecede, 153 hektarlık kısmının ise yüksek derecede yeniden yeşillendiği belirlenmiştir. Geriye kalan 304 hektarlık alanın ise, yanmamış alanlara benzer dNBR değerleri aldığı ancak henüz belirgin bir yeşillenme düzeyine ulaşmadığı tespit edilmiştir.

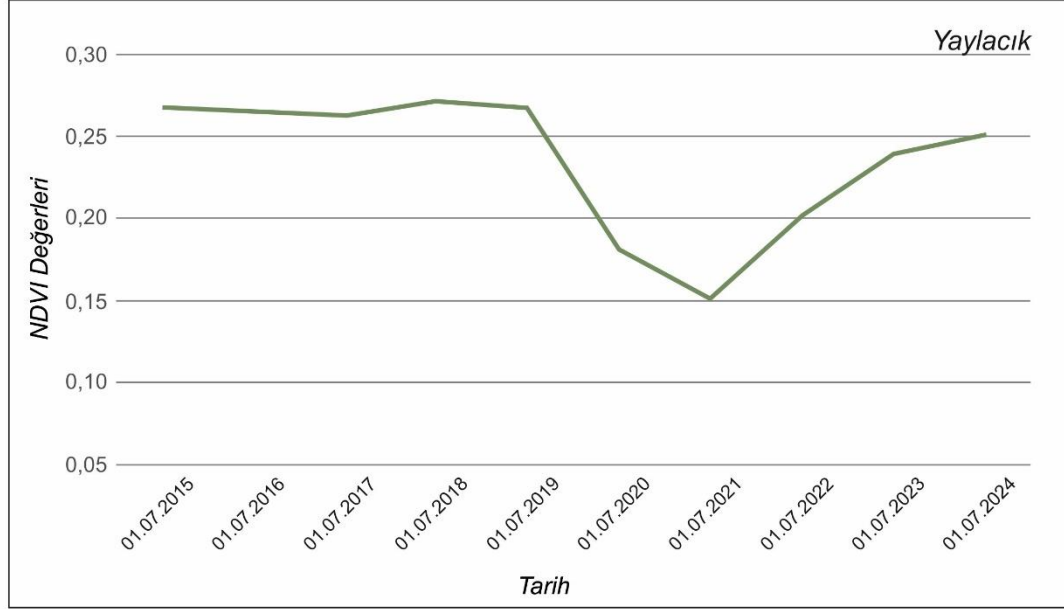
Orta-düşük şiddetli yanmış alanlarda ise 238 hektar alan düşük derecede, 1418 hektar alan ise yüksek derecede yeniden yeşillenmiştir. Geriye kalan 2 hektarlık alanın ise, yanmamış alanlara benzer dNBR değerleri aldığı ancak henüz belirgin bir yeşillenme düzeyine ulaşmadığı tespit edilmiştir. İlaveten orta-yüksek şiddetli yanmış 56 ha alanın ise 54 hektarının yüksek derecede yeniden yeşillendiği geriye kalan 2 hektarlık alanın ise, yanmamış alanlara benzer dNBR değerleri aldığı ancak henüz belirgin bir yeşillenme düzeyine ulaşmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.17.c).



Şekil 4.17. 2020 yılı Yaylacık-yanğına ait a) dNBRA görüntüsünde yanmış alan sınıflarının dağılımı; b) dNBRb görüntüsüne göre yeniden yeşillenen alanların dağılımı; c) yanmış alan sınırları içerisindeki yeniden yeşillenmenin, yanma şiddeti sınıflarına göre dağılımı ve miktarını gösteren grafik.

Yaylacık yangını bölgesinde, yeniden yeşillenme sürecinin daha geniş bir zamansal periyotta takip edilebilmesi amacıyla, yangından önceki 5 yıl (2015) ile Ağustos 2024 sonunu kapsayan zaman serisi Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak

oluşturulmuştur. Yanmış alan sınırları içerisindeki ortalama NDVI değerlerinin yıllık değişimine bakıldığında, yangın öncesi dönemde NDVI değerlerinin ~ 0,27 olduğu yangının ardından ise 0,15 seviyelerine düştüğü hesaplanmıştır. İzleyen yıllarda bu değerin zamanla artış gösterdiği ve 0,20–0,25 aralığına ulaştığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.18).

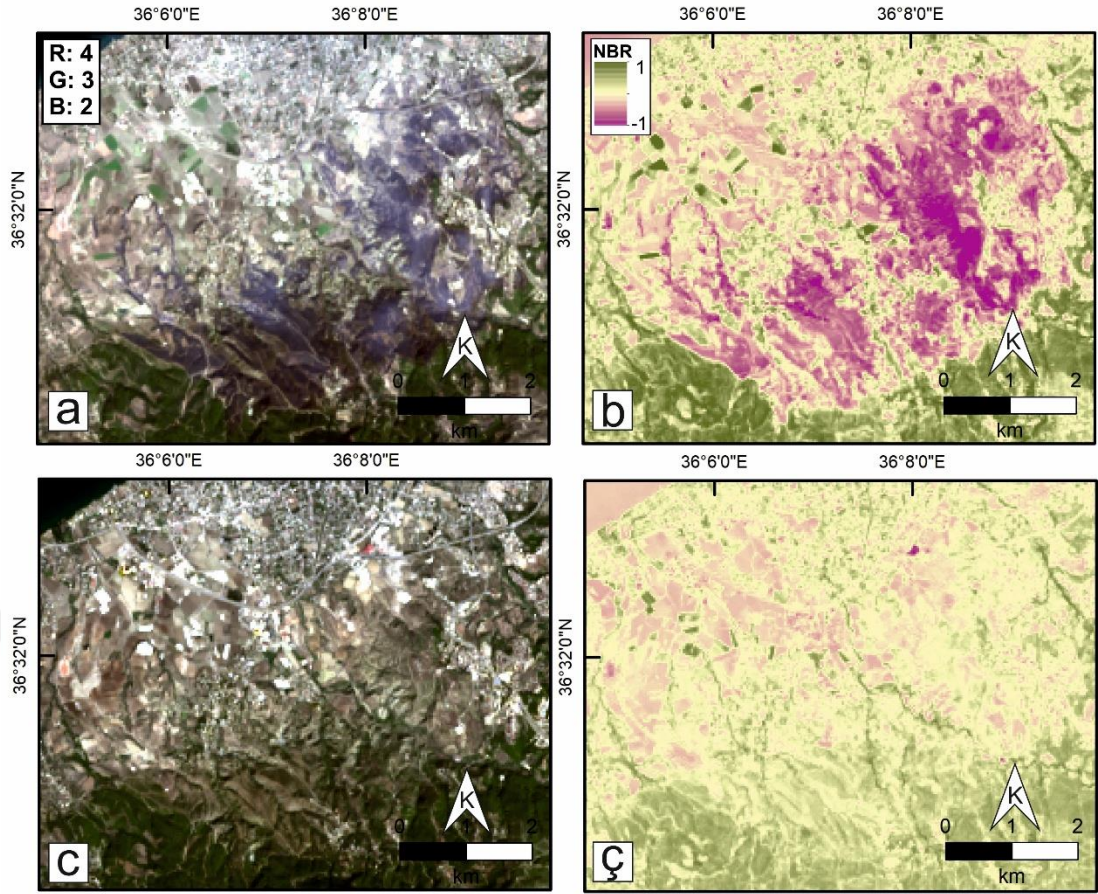


Şekil 4.18. Yaylacık yangınına ait yanmış alan sınırları içinde, 2015-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama NDVI değerlerinin zaman serisi.

4.2.4 Sarımaçı yangını

2020 yılı Ekim ayında meydana gelen Sarımaçı yangınında, yangının meydana geldiği bölgenin, yangından hemen sonraki ve 2024 yılı Ağustos ayı görüntüleri kullanılarak NBR (NBR_2 , NBR_3) görüntüleri üretilmiştir (Şekil 4.19).

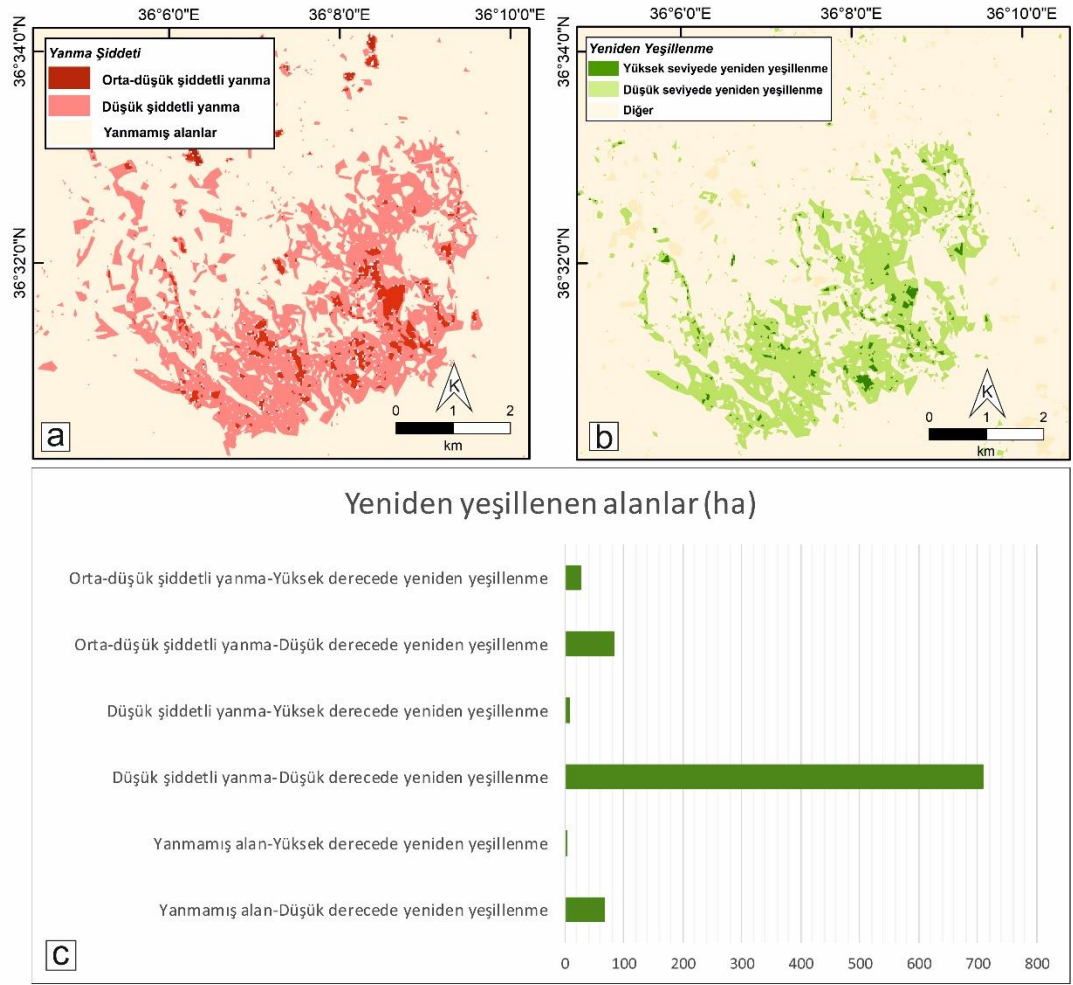
Bu görüntülerin farkları alınarak dNBR ($dNBR_b$) görüntüleri üretilmiş ve üzerinden yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur. dNBR indeksi kullanılarak yapılan hesaplamalara göre 38 ha alanın yüksek, 885 ha'lık alanın ise düşük seviyede yeniden yeşillendiği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.19. 2020 yılı Sarımaçı yangınının çıktığı bölgenin yangın sonrası ve 2024 yılı Ağustos ayı a,c) Landsat 8 görüntü mozaïği, b,ç) NBR (NBR₂, NBR₃) görüntüleri.

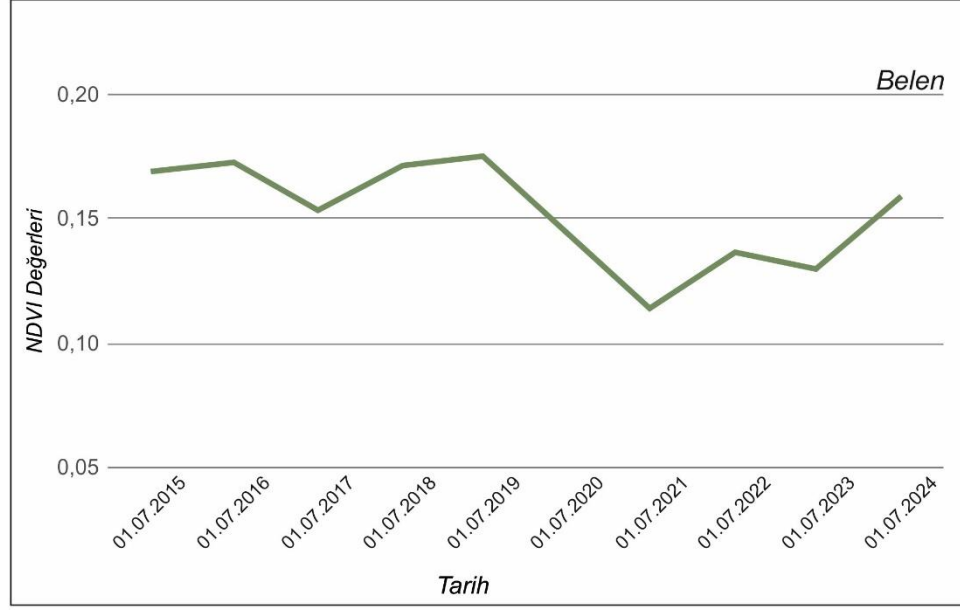
Değişimin dağılımına detaylı olarak bakıldığında, düşük şiddetli yanmış alanların (1165 ha), 708 hektarlık kısmının düşük derecede, 9 hektarlık kısmının ise yüksek derecede yeniden yeşillendiği görülmektedir. Geriye kalan 448 hektarlık alanın ise, yanmamış alanlara benzer dNBR değerleri taşıdığı ancak henüz belirgin bir yeşillenme düzeyine ulaşmadığı anlaşılmaktadır.

Orta-düşük şiddetli yanmış alanlarda (122 ha), 83 hektarlık kısmın düşük derecede, 26 hektarlık kısmın ise yüksek derecede yeniden yeşillendiği belirlenmiştir. Kalan 13 hektarın ise, yanmamış alanlara benzer dNBR değerleri taşıdığı ancak belirgin bir yeşillenme göstermediği gözlemlenmiştir (Şekil 4.20.c).



Şekil 4.20. 2020 yılı Sarımazı yangınına ait a) dNBRa görüntüsünde yanmış alan sınıflarının dağılımı; b) dNBRb görüntüsüne göre yeniden yeşillenen alanların dağılımı; c) yanmış alan sınırları içerisindeki yeniden yeşillenmenin, yanma şiddeti sınıflarına göre dağılımı ve miktarını gösteren grafik.

Sarımazı yangını bölgesinde, yeniden yeşillenme sürecinin daha geniş bir zamansal periyotta takip edilebilmesi amacıyla, yangından önceki 5 yıl (2015) ile Ağustos 2024 sonunu kapsayan zaman serisi Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak oluşturulmuştur. Yanmış alan sınırları içerisindeki ortalama NDVI değerlerinin yıllık değişimine bakıldığında, yangın öncesi dönemde NDVI değerlerinin 0,14- 0,18 arasında değiştiği yangının ardından ise 0,11 seviyelerine düştüğü hesaplanmıştır. İzleyen yıllarda bu değer düzensizlik gösterse de zamanla arttığı ve günümüzde 0,16 düzeyine ulaştığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Sarımazı yangınına ait yanmış alan sınırları içinde, 2015-2024 yılları arasındaki yıllık ortalama NDVI değerlerinin zaman serisi.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında GEE platformu kullanılarak, Hatay ilinin Gülderen, Soğukoluk, Yaylacık ve Sarımazı bölgelerinde, 2013-2020 yılları arasındaki tarihlerde meydana gelen orman yangınlarının yarattığı tahribat belirlenmiş ve bölgede yangınlar öncesi süreçten günümüze bitki örtüsünde meydana gelen değişim ve yangın sonrası süreçteki yeşillenme kesintisiz olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışma kapsamında Hatay, Gülderen mevkiinde 05.08.2013 tarihinde çıkan yangında NBR indeksine göre toplam 2162 ha, NDVI indeksine göre ise toplam 2350 hektar alanın yandığı hesaplanmıştır. dNBR indeksine göre yanan alanın yaklaşık olarak ~ %78'inin düşük şiddetli yanmış alan, ~ %22'sinin ise orta-düşük şiddetli yanmış alan olduğu belirlenmiştir. dNDVI'a göre yanan alanların dağılımı ise yaklaşık olarak ~ %27'sinin çok düşük şiddetli, ~ %51'inin düşük şiddetli, ~ %22'sinin ise orta şiddetli yanmış alan olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada ele alınan ikinci yangın Hatay, Soğukoluk mevkiinde 13.09.2018 tarihinde çıkan yangındır. Bu yangında NBR indeksine göre toplam 118 ha, NDVI indeksine göre ise toplam 162 hektar alanın yandığı hesaplanmıştır. dNBR indeksine göre yanan alanın yaklaşık olarak ~%88'inin düşük şiddetli yanmış alan, geri kalanının ise orta-düşük şiddetli yanmış alan olduğu belirlenmiştir. dNDVI'a göre yanan alanların ~%35'inin çok düşük şiddetli, ~%53'ünün düşük şiddetli, ~%12'si ise orta şiddetli yanmış alan olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında değerlendirilen bir diğer yangın, Hatay'ın Yaylacık mevkiinde 05.09.2020 tarihinde çıkan yangındır. Bu yangında NBR indeksine göre toplam 3197 ha, NDVI indeksine göre ise toplam 3550 hektar alanın yandığı hesaplanmıştır. Tez çalışması kapsamında değerlendirilen yangınlardan en fazla tahribatın olduğu yangındır. dNBR indeksine göre yanan alanın yaklaşık olarak ~%46'sının düşük şiddetli, ~%52'sinin orta-düşük şiddetli ve ~%2'sinin ise orta-yüksek şiddetli yanmış alan olduğu belirlenmiştir. dNDVI'a göre yanan alanların ~%16'sının çok düşük şiddetli, ~%28'inin düşük şiddetli, ~%55'inin orta şiddetli, ~%1'inin ise yüksek şiddetli yanmış alan olarak dağılım göstermektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan son yangın, Hatay'ın Sarımazı mevkiinde 09.10.2020 tarihinde çıkan yangındır. Bu yangında NBR indeksine göre toplam 1290 ha, NDVI indeksine göre ise toplam 1238 hektar alanın yandığı hesaplanmıştır. dNBR indeksine göre yanan alanın yaklaşık olarak ~%90'ının düşük şiddetli, ~%8'inin orta-düşük şiddetli ve ~%2'sinin ise orta yüksek şiddetli yanmış alan olduğu belirlenmiştir. dNDVI'a göre yanan alanların ise ~%47'sinin çok düşük şiddetli, ~%44'ünün düşük şiddetli, ~%7'sinin orta şiddetli, ~%1'inin yüksek şiddetli, ~%1'inin ise çok yüksek şiddetli yanmış alan olarak dağılım gösterdiği hesaplanmıştır.

İncelenen yangınlardan yanan alan bakımından en büyük olanı Yaylacık yangınıdır. Yaylacık yangınından sonra sırasıyla Gülderen, Sarımazı ve Soğukoluk yangınları gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında, her bir yangın bölgesi için dNBR ve dNDVI değerleri arasındaki ilişki Pearson korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Analizlerde, yanmış ve yanmamış alanlardan dengeli biçimde seçilen toplam 500 rastgele nokta kullanılmıştır. Elde edilen verilere dayanarak Pearson korelasyon katsayısı (R) ile determinasyon katsayısı (R^2) hesaplanmış ve sonuçlar dağılım grafikleriyle görselleştirilmiştir (Şekil 4.9).

Dağılım grafiklerine göre, en yüksek korelasyon Gülderen yangınında ($R = 0,98$), en düşük korelasyon ise Yaylacık yangınında ($R = 0,87$) gözlemlenmiştir. Tüm yangın bölgelerinde R değerlerinin 0,80'in üzerinde olması, dNBR ve dNDVI indeksleri arasında güçlü ve anlamlı bir pozitif ilişki olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, her iki indeksin de özellikle yangın sonrası vejetasyon kaybı ile yanma şiddetinin izlenmesinde güvenilir göstergeler olarak birlikte kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, farklı topoğrafik özelliklere sahip alanlarda da benzer korelasyon düzeylerinin elde edilmesi, bu indekslerin mekânsal tutarlılığını desteklemektedir. Literatürdeki benzer çalışmalar da dNBR ve dNDVI indekslerinin yanmış alanların belirlenmesinde entegre şekilde kullanılabileceğini önermektedir (Bıçakçı ve Yıldız, 2024; Gündüz vd., 2025; Gürbüz, 2023; Yılmaz vd., 2023).

Öte yandan, çalışmada yapılan karşılaştırmalar sonucunda, dNDVI indeksine göre belirlenen toplam yanmış alanların, dNBR ile hesaplanan alanlara kıyasla daha geniş olduğu tespit edilmiştir. dNDVI'nın, çıplak toprak, az hasar görmüş bitki örtüsü ve

mevsimsel değişiklikler gibi etkenler nedeniyle yanmış alan sınırlarını net şekilde ayırt etmede zaman zaman belirsizliklere yol açabildiği literatürde de ifade edilmektedir (Thenkabail vd., 2004). Bu nedenle, her iki indeksin birlikte değerlendirilmesi, yangın sonrası hasar tespit çalışmalarında daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Çizelge 4.1’de sunulan dNBR indeksine göre yapılan doğruluk analizi sonuçları incelendiğinde, çalışma alanlarına ait sınıflandırma doğruluk değerlerinin genel olarak yüksek olduğu görölmektedir. Tüm yangın bölgelerinde yüksek performanslı sonuçlar elde edilmiş olup, en yüksek genel doğruluk (OA) değeri %98,50 ile Sarımaızı yangınında elde edilirken, en düşük değer %89,60 ile Gülderen yangınında gözlemlenmiştir. Kappa katsayısı (κ) ise tüm alanlarda 0,92 ile 0,98 arasında olup bu durum sınıflandırmanın rastlantısal olmaktan uzak, güvenilir sonuçlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Yapılan hesaplamalara göre Recall (duyarlılık) oranları %85,10 ile %96,80 arasında değişmiş olup, yangın etkisi altındaki alanların doğru şekilde tespit edilebildiğini göstermektedir. Diğer yandan Specificity (özgüllük) oranlarının %95’in üzerinde olması, sınıflandırmanın yanmamış alanları ayırt etme konusunda oldukça başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

dNDVI indeksine göre yapılan sınıflandırma doğruluk analizinde, yangın alanlarında genel olarak yüksek doğruluk değerleri elde edilmiştir; ancak bazı bölgelerde performans düşüklüğü gözlemlenmiştir. En yüksek genel doğruluk (OA) %96,25 ile Yaylacık yangınında, en düşük değer ise %86,25 ile Sarımaızı yangınında kaydedilmiştir. Kappa katsayısı, Soğukoluk ve Yaylacık yangınlarında sırasıyla 0,98 ve 0,94 gibi yüksek seviyelerde seyrederken, Sarımaızı’da 0,59’a kadar düşmüştür. Bu durum, Sarımaızı’daki sınıflandırmanın rastlantısal etkiden tam olarak arındırılmadığını ve güvenilirliğinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Recall (duyarlılık) oranı en yüksek Yaylacık (%95,71), en düşük ise Sarımaızı (%78,72) yangınında gözlenmiştir. Specificity (özgüllük) oranları %90’ın üzerinde kalmakla birlikte, Sarımaızı’da göreceli olarak daha düşük (%90,34) bulunmuştur. FA ve MD oranları açısından da Sarımaızı yangınında hata oranları belirgin şekilde yüksektir (FA: %9,65, MD: %21,27). Sarımaızı yangınında yanmış alanların sınıflandırılmasını gösteren Şekil 4.8 incelendiğinde, yangının dağınık ve parçalı bir dağılım gösterdiği görölmektedir. Ayrıca dNDVI ile belirlenmiş yanmış alan miktarı dNBR ile

belirlenmiş yanmış alan miktarından göreceli olarak daha azdır. Bu bulgular, dNDVI indeksine dayalı sınıflandırmanın genel olarak başarılı olduğunu, ancak Sarımsazı gibi dağınık ve engebeli yangın alanlarında yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır.

Literatürdeki benzer çalışmalara bakıldığında; Çiçekli (2024), çalışmasında Adana ili Kozan ilçesi orman yangını doğruluk analizi NDVI sınıfı bilinen 100 adet kontrol noktası ile yapılmış ve doğruluk oranı %88-93 aralığında, kappa değeri ise 0,83-0,90 olarak hesaplanmıştır. dNBR indeksi içinde 100 adet kontrol noktası ile hata matrisi oluşturmuş ve doğruluk oranı %96 kappa değeri ise 0,81 olarak bulunmuştur. Diğer bir çalışma olan Saylan vd. (2019), Yunanistan Kineta bölgesinde meydana gelen orman yangını Sentinel 2 uydu verileriyle incelemiştir. Doğruluk analizi için 550 adet rastgele kontrol noktası kullanılmış ve % 94 genel doğruluk, 0,81 kappa değeri elde edilmiştir. Sentinel 2A için hataların daha çok su yüzeylerinde olduğu belirtilmiştir. Yılmaz vd. (2023) ise, Akdeniz bölgesinde meydana gelen orman yangınları Sentinel 2 uydu verileri ile incelenmiş ve bölgenin büyüklüğüne göre 249-1738 arasında rastgele atılan kontrol noktalarıyla hesaplanmıştır. Doğruluk değerlendirmeleri %80 üzerinde olduğu belirtilmiş ve sonuç olarak her iki indekste istatistik hesaplarına göre yanmış alanların tespitinde yüksek doğruluk verdiği belirtilmiştir. Çalışma kapsamında Hatay ili için dört farklı tarihe ait yangınların dNBR ile dNDVI indeks değerleri hesaplanmış olup genel doğruluk oranı sırasıyla %89-98 ve %86-96 değer aralığında hesaplanmıştır. Aynı indekslerin Kappa değerleri ise sırasıyla 0,92-0,97 ve 0,59-0,98 (Sarımsazı yangınından sonraki en düşük Kappa değeri 0,89'dur) aralığında elde edilmiştir. Bu bağlamda, çalışmada kullanılan Landsat uydu verilerinin karışıklık matrisleri sonuçlarının, literatürdeki Sentinel verileri ile benzer doğrulukta elde ettiği görülmüştür. Böylece Landsat veri setlerinin de arazi örtüsü değişiminin belirlenmesinde güvenilir sonuçlar verdiği görülmektedir.

Hatay ili özelinde yapılan çalışmalara bakıldığında, farklı yıllarda meydana gelen orman yangınlarının çeşitli uzaktan algılama yöntemleriyle değerlendirildiği görülmektedir. Bu kapsamda Geçen ve Topuz (2021), 2013–2021 yılları arasında Hatay'da meydana gelen orman yangınlarını incelemiş ve bu süreçte yanan alanların büyüklüğünü NBR indeksi kullanarak belirlemiştir. Çalışmada, süreç boyunca toplam 7811 hektar orman alanının yandığı hesaplanmış; en yüksek yanma alanının sırasıyla 2020 yılında 4642,7 ha, 2013 yılında 1852,5 ha ve 2018 yılında 581,4 ha olduğu tespit

edilmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçların Orman Genel Müdürlüğü (OGM) verileriyle büyük ölçüde örtüştüğü belirtilmiştir.

Söz konusu çalışma, geniş bir zaman aralığını kapsamaması açısından önemli bir katkı sunmakla birlikte, analiz edilen yangınlar detaylı biçimde ele alınmamış ve yanma şiddeti gibi daha özgün değişkenlere yönelik değerlendirmelere yer verilmemiştir. Ayrıca, NBR indeksinden elde edilen sonuçların doğruluğunu ortaya koymaya yönelik, OGM verileriyle yapılan karşılaştırmalar dışında, herhangi bir ek doğruluk analizi sunulmamıştır. Bu yönüyle çalışma, genel eğilimlerin belirlenmesinde faydalı olmakla birlikte, yangınların mekânsal detaylarının incelenmesi ve yangın sonrası yeşillenme süreçlerinin takibi açısından sınırlı kalmaktadır.

Yılmaz vd. (2021), Sentinel-2 uydu görüntülerini kullanarak 2021 yılında Hatay'ın Belen ilçesinde meydana gelen orman yangınını incelemiştir. Bu tez çalışmasında “Sarımazı yangını” olarak adlandırılan bu olayda, dNBR indeksi kullanılarak yangın şiddeti sınıfları oluşturulmuş ve yangının topoğrafik faktörlerle ilişkisi değerlendirilmiştir. Çalışmada, toplam yanmış alanın yaklaşık 1265 hektar olduğu, bunun 90,94 hektarlık kısmının yüksek yanma şiddetine sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yüksek yanma şiddetinin; 200–300 metre yükseklik aralığında bulunan yaklaşık 50 hektarlık alanda, eğimin %30'un üzerinde olduğu yaklaşık 36 hektarlık alanda ve doğu bakılı yamaçlarda yer alan yaklaşık 35 hektarlık alanda yoğunlaştığı ifade edilmiştir. Ancak elde edilen sonuçların doğruluğunu ortaya koymaya yönelik, çalışmada herhangi bir ek analiz sunulmamıştır.

Bu tez çalışmasında ise aynı yangın Landsat uydu görüntüleri kullanılarak analiz edilmiş ve dNBR indeksine göre toplam yanmış alan 1290 hektar olarak hesaplanmıştır. Her iki çalışmada da dNBR kullanılarak benzer sonuçlar elde edilmiş olsa da, tez kapsamında yüksek yanma şiddetine sahip alanlara ilişkin sınıflama yapılamamıştır. Bununla birlikte, bu tezde hem dNBR hem de dNDVI indekslerinden elde edilen yanmış alan haritalarının doğruluğu, Sentinel-2 görüntülerinden elde edilen referans verilerle oluşturulan karmaşıklık matrisleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Doğruluk analizleri sonucunda, özellikle dNDVI için en düşük kappa değeri Sarımazı yangınına ait olmuştur. Bu durum, bölgenin engebeli topoğrafik yapısı nedeniyle yanmış ve yanmamış alanların ayrımının zorlaşmasıyla ilişkilendirilmektedir. Ayrıca

NDVI indeksinin bazı durumlarda yanmış alanları tespit etmede yetersiz kalabileceği de literatürde belirtilen bir durumdur (Thenkabail vd., 2004). Yılmaz vd. (2021) çalışması da dikkate alındığında, bu doğruluk sonuçlarının bu çerçevede değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Öte yandan, Sentinel-2 görüntülerinin daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olması, yangın alanlarında sadece yanmış alanların değil, aynı zamanda yanma şiddeti sınıflarının da daha net biçimde ayrılmasına olanak sağladığından, özellikle yanma şiddeti sınıflarının belirlenmesine yönelik analizlerde avantajlı bir kaynak olarak değerlendirilebilir.

Bölgede yanmış alanların uzaktan algılama yöntemleriyle belirlenmesine yönelik bir diğer çalışma, Bıçakçı ve Yıldız (2024) tarafından Hatay'ın Belen ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 2023 yılında meydana gelen bir orman yangını incelenmiş ve yangın şiddeti sınıfları dNDVI ve dNBR indeksleri kullanılarak belirlenmiştir. Ancak çalışmada, bu iki indeks arasındaki ilişkiye ya da elde edilen sonuçların doğruluğuna ilişkin sayısal bir değerlendirmeye yer verilmemiştir.

Çalışma alanlarındaki yeniden yeşillenme durumunun incelenmesi için yangınların hemen sonrası ve 2024 yaz ayına ait görüntüler kullanılarak her bir yangın için ikinci bir dNBR ($dNBR_b$) görüntüsü oluşturulmuş ve yeniden yeşillenmenin görüldüğü alanlar sınıflandırılmıştır. Toplam 2162 ha alanın yandığı Gülderen yangını sonrasında, 2024 yılı itibarıyla bölgede yaklaşık 1978 ha alanın yeniden yeşillendiği hesaplanmıştır. Bu yeniden yeşillenmenin %82'si düşük, %18'i ise yüksek dereceli yeşillenme olarak sınıflandırılmıştır. Yanmış ve yeniden yeşillenmiş toplam alanlar dikkate alındığında, başlangıçta yanmamış olarak değerlendirilen bazı alanların da zamanla vejetasyon gelişimi gösterdiği anlaşılmaktadır.

Soğukoluk yangınında toplam 118 ha alanın yandığı tespit edilmiş olup, 2024 yılı itibarıyla 158 ha alanın yeniden yeşillendiği gözlemlenmiştir. Bu yangın alanında, diğer üç yangından farklı olarak, yanmış alan sınırına bitişik konumda bulunan ve zamanla yeşillenme göstermiş bir bölge tespit edilmiş; bu nedenle söz konusu alan da çalışma kapsamındaki hesaplamalara dâhil edilmiştir. Bu alan ve yanma sınırı içinde kalan alanın büyük çoğunluğunda (%78) düşük dereceli yeşillenme gerçekleşmiştir.

Yaylacık yangınında toplam 3197 ha alanın yandığı belirlenmiş olup, 2024 yılı itibarıyla 3016 ha alanın yeniden yeşillendiği tespit edilmiştir. Bu yeşillenmenin %56'sı yüksek, %44'ü ise düşük dereceli olarak sınıflandırılmıştır.

Sarımazı yangınında toplam 1290 hektarlık bir alanın yandığı belirlenmiş olup, 2024 yılı itibarıyla bu alanın önemli bir kısmı (923 ha) yeniden yeşillenmiştir.. Yeniden yeşillenme gösteren alanların %96'sı düşük dereceli, %4'ü ise yüksek dereceli iyileşme sınıfında yer almıştır.

Türkiye’de, yasal düzenlemeler gereği yangın sonrası yanan alanların yeniden yeşillendirilmesi zorunludur. Bu kapsamda sorumlu ve yetkili ilk kurum Orman Genel Müdürlüğü’dür. Orman Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen yeniden yeşillendirme çalışmaları, çeşitli uygulama kalemlerinden oluşmakta ve bölgesel koşullara göre farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmada, ilgili uygulamalara dair bilgiler, Orman Genel Müdürlüğü yetkilileriyle yapılan sözlü görüşmeler ve OGM İstatistik verileri doğrultusunda derlenmiş olup, elde edilen veriler Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. OGM istatistik verileri yeşillendirme çalışmaları.

Yangın Adı	Gülderen	Soğukoluk	Yaylacık	Sarımazı
Yanan Alan (ha)	1183	134,82	3100	669
Tabii Gençleştirme Alanı (ha)	700	100	750	-
Suni Gençleştirme Alanı (ha)	414	34,82	800	Teras ve toprak işleme
Endüstriyel Plantasyon (ha)	-	-	-	1500
Rehabilite edilen toplam alan (ha)	1114	134,82	1550	1500
Ekilen Tohum Miktarı (ton)	10 ton	2 ton	8 ton	-
Dikilen Fidan Miktarı (adet)	130.000	37.000	450.000	329.326 1.700.000

İl Müdürlüğü’nden alınan veriler incelendiğinde, bu çalışma kapsamında uzaktan algılama yöntemleriyle belirlenen yanmış alanlar ile müdürlük tarafından tespit edilen yanmış alan miktarları arasında farklılık olduğu görülmektedir. Bu durum, arazi kullanım türlerinin ve yangın izlerinin saha üzerinde net bir şekilde ayırt edilememesi ya da müdürlüğün yalnızca kendi sorumluluk alanındaki bölgeleri kayıt altına almış olmasından kaynaklanabilir. Ancak, ilgili müdürlükten sorumlu olunan alanlara dair

sınır verileri temin edilemediğinden, bu farklılıklar harita üzerinde görsel olarak sunulamamıştır.

Bu nedenle uzaktan algılama ile elde edilen veriler, yangının gerçek etkisini daha geniş bir çerçevede ortaya koymak açısından önemli bir tamamlayıcı kaynak niteliği taşımaktadır. Yeniden yeşillendirme çalışmaları bu kapsamda değerlendirildiğinde; müdürlük tarafından yanmış alan olarak belirlenen sınırlar içinde, özellikle Gülderen ve Soğukoluk yangınlarında neredeyse tüm alanın rehabilite edildiği görülmektedir. Yaylacık yangınında ise müdürlük verilerine göre belirlenen yanık alanın yaklaşık yarısında rehabilitasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Sarımazı yangını sonrasında ise yalnızca yanmış alanlar değil, bu alanların dışında kalan bölgeler de yeşillendirme çalışmalarına dâhil edilmiş; böylece yanmış alanın yaklaşık iki katı büyüklüğünde bir alan rehabilite edilmiştir.

Uzaktan algılama verileri, İl Müdürlüğü tarafından bildirilen yanmış alanlara kıyasla daha geniş bir yangın alanını ortaya koymaktadır. Bu fark, yukarıda da belirtildiği gibi müdürlüğün sorumluluk alanı dışındaki bir arazinin de yanmış olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca, yeniden yeşillenme alanının müdürlük tarafından gerçekleştirilen rehabilitasyon çalışmalarından daha geniş olması, yangın sonrası doğal rejenerasyon süreçlerinin de yangın alanlarının iyileşmesinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, müdürlük verileri ve uzaktan algılama sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi, yangın etkilerinin kapsamlı bir biçimde analiz edilmesi ve ekosistem iyileşme süreçlerinin daha doğru yorumlanması açısından önem arz etmektedir. "Elde edilen bulgular, çalışmada ulaşılan sonuçların Orman Genel Müdürlüğü (OGM) istatistikleriyle önemli ölçüde örtüştüğünü ve yeniden yeşillenme sürecinin olumlu yönde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

Çalışma kapsamında bitki örtüsündeki bu değişimin NDVI değerleri üzerinden zamansal olarak takip edilebilmesi için GEE platformunda zaman serileri oluşturulmuştur ve her yangın bölgesindeki yanmış alanların yıllık ortalama NDVI değerleri grafiklenmiştir. Zaman serileri oluştururken yangından önceki 5 yıllık durumdan 2024 Ağustos ayına kadar geçen süre dikkate alınmıştır.

Yangın sonrası bitki örtüsü ve biyokütle kayıplarının uydu görüntüleri ile tespiti, birçok çalışmada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Cuevas-González vd., 2009;

Díaz-Delgado vd., 2003; Lanorte vd., 2014; Van Leeuwen vd., 2010; Yılmaz vd., 2023). Literatürde, farklı bölgelerde farklı uydu platformları (örneğin MODIS, Landsat, Sentinel-2 ve SPOT) kullanılarak gerçekleştirilen çeşitli çalışmalarda, yangın sonrası NDVI değerlerinde belirgin düşüşlerin meydana geldiği rapor edilmiştir. Bu durum, farklı çözünürlük ve sensör özelliklerine sahip uydu verileri ile yapılan analizlerde dahi yangının bitki örtüsü üzerindeki etkisinin benzer şekilde izlenebildiğini ortaya koymaktadır.

Örneğin, Díaz-Delgado vd. (2003), Landsat uydu görüntüleri kullanarak yaptıkları çalışmada, 1994 yılı Temmuz ayında Barselona’da meydana gelen orman yangını sonrasında yüksek şiddette yanmış alanlarda NDVI değerlerinin 0,36’ya kadar düştüğünü bildirmiştir. Lanorte vd. (2014) ise, Kuzey İspanya ve Güney Yunanistan’daki yangınları SPOT-VGT verileriyle analiz etmiş; yangın öncesi NDVI değerlerinin 0,6–0,8 aralığında, yangın sonrası ise 0,2–0,3 seviyelerinde olduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde Yılmaz vd. (2023), Antalya ve Muğla’daki 2021 orman yangınlarında yangın öncesi NDVI değerlerinin 0,5–0,8 arasında olduğunu, yangın sonrası bu değerlerin 0,2–0,4 düzeyine gerilediğini ortaya koymuştur.

Tez çalışması kapsamında incelenen dört farklı yangın bölgesinde (Gülderen, Soğukoluk, Yaylacık ve Sarımazı), yanmış alanların yangın öncesi NDVI değerleri genel olarak 0,17–0,27 aralığında seyretmiştir. Bu değerler, literatürdeki örneklere kıyasla daha düşük olmakla birlikte, araştırma sahasındaki bitki örtüsünün farklı olması bunun temel sebebidir. Bölgenin yangın öncesi NDVI değer ortalamalarına bakıldığında, yukarıda irdelenen diğer örneklere göre daha seyrek ve büyük ölçüde maki türü bitki örtüsüne sahip olduğu anlaşılmaktadır (Yılmaz vd., 2023). Yangın sonrası sürece bakıldığında, söz konusu yanmış alanlarda NDVI değerlerinin 0,10 seviyelerine kadar gerilemiş olduğu görülmektedir. Bu durum, yoğun tahribata uğrayan alanlarda çıplak toprak yüzeyinin hâkim olduğunu göstermektedir.

Yıllık NDVI zaman serisi verilerine dayalı analizler, NDVI değerlerinin yangın sonrası dönemde kademeli olarak artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu artışın hem doğal rejenerasyon süreçlerini hem de müdahale temelli rehabilitasyon çalışmalarını yansıttığı değerlendirilmektedir. Bu bağlamda NDVI zaman serisi analizleri, yangın sonrası ekosistem dinamiklerini uzun dönemli olarak izlemek ve iyileşme sürecini değerlendirmek adına önemli bir araç sunmaktadır. Kullanılan uydu platformları ve

mekânsal çözünürlükler farklılık gösterse de tüm bu çalışmalar yangınların bitki örtüsü üzerinde benzer şekilde tahrip edici bir etkisi olduğunu ve bu etkinin NDVI düşüşüyle açıkça ortaya konulabildiğini göstermektedir.

Özetle, bu tez çalışması kapsamında, yangın sonrası bitki örtüsü kaybının ve yeniden yeşillenme sürecinin izlenmesinde uzaktan algılama teknikleri ve GEE platformu etkin bir şekilde kullanılmıştır. Farklı yangın alanlarına yönelik yürütülen NDVI zaman serisi analizleri, yangının etkilediği alanların tespiti ve sonrasındaki iyileşme sürecinin değerlendirilmesinde önemli bulgular sunmuştur. Ayrıca, dNBR ve dNDVI indeksleri arasındaki güçlü korelasyon, yanma şiddetinin belirlenmesinde bu iki göstergenin birlikte kullanımının güvenilirliğini ortaya koymuştur.

Çalışma kapsamında görüntü seçimi, veri tarihine bağlı olarak yapılmıştır. Bazı yangınların Sentinel-2'nin görev başlangıcından önce meydana gelmesi nedeniyle Landsat verileri tercih edilmiştir. Literatürde, Sentinel-2 görüntüleri yanmış alanların tespitine yönelik uzaktan algılama ile yapılan çalışmalarda yüksek mekânsal çözünürlüğü ile öne çıkmasına rağmen, Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak yapılan doğruluk analizlerinde yüksek doğruluk oranları elde edilmiştir. Bu durum, tarihsel kısıtlamalar olduğunda Landsat verilerinin de analiz açısından Sentinel'e oldukça yakın sonuçlar sunabildiğini göstermektedir.

GEE'nin sunduğu bulut tabanlı veri işleme altyapısı sayesinde, geniş alanlara ait çok yıllık veriler kısa sürede işlenmiş ve analiz edilmiştir. Bu da hem zamandan tasarruf sağlamış hem de analiz sürecinin daha sistematik ve tekrarlanabilir bir biçimde yürütülmesine olanak tanımıştır. Elde edilen bulgular, uzaktan algılamanın yangın sonrası ekosistem dinamiklerinin izlenmesinde ne denli etkili bir araç olduğunu ortaya koymuş; aynı zamanda GEE platformunun bu tür çalışmalar için sağladığı pratiklik ve erişilebilirliğin altı çizilmiştir.

KAYNAKLAR

- Bıçakcı, C. ve Yıldız, S.S., 2024. Google earth engine ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak orman yangını şiddetinin belirlenmesinde farklı indekslerin karşılaştırılması: 2023 Hatay-Belen yangını örneği, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7, 2, 708-719.
- Cuevas-González, M. A. R. Í. A., Gerard, F., Balzter, H. ve Riano, D., 2009. Analysing forest recovery after wildfire disturbance in boreal Siberia using remotely sensed vegetation indices, *Global Change Biology*, 15, 3, 561-577.
- Çabuk, A. ve Aksoy T., 2018. Orman yangını sonrası uzaktan algılama yöntemleri ile yangın şiddetinin tespiti İzmir Menderes orman yangını örnekleme, Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, Bildiriler Kitabı, 1221-1226.
- Çelik, M. Ö. ve Yakar, M., 2023. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin uzaktan algılama ve CBS yöntemi ile izlenmesi: Mersin, Türkiye örneği, *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 5, 1, 43-51.
- Çiçekli, S. Y., 2024. Yanmış orman alanlarının uzaktan algılama teknikleri ile araştırılması: kozan orman yangını örneği, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39, 2, 503-514.
- Demir, A., 2023. CBS tabanlı AHP yöntemiyle orman yangını risk haritasının geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, BTÜ., Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.
- Denizoğlu, D. G., 2022. The role of Sentinel-1 and Sentinel-2 data for observing wildfires, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dereli, M. A., 2018. Web tabanlı google earth engine ile NDVI zaman serisi analizi: Şanlıurfa il merkezi örneği, In 6th international GAP engineering conference-GAP2018, Proceedings, 374-377.
- Dervişoğlu, A., 2021. Analysis of the temporal changes of inland Ramsar sites in Turkey using google earth engine, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10, 8, 521.
- Dervişoğlu, A., 2022. Türkiye'deki kıyı ramsar sahalarındaki uzun ve kısa vadeli su yüzey alanı değişimlerinin google earth engine ile incelenmesi, *ISPRS Uluslararası Coğrafi Bilgi Dergisi*, 11, 1, 46.
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F. ve Pons, X., 2003. Influence of fire severity on plant regeneration through remote sensing imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 24, 8, 1751-1763.
- Du, Z., Yang, J., Ou, C. ve Zhang, T., 2019. Smallholder crop area mapped with a semantic segmentation deep learning method, *Remote Sensing*, 11, 7, 888.

- Eker, R., Çınar, T., Baysal, İ. ve Aydın, A., 2024. Uzaktan algılama ve GIS tabanlı envanter ve analiz Türkiye tarihinde eşi benzeri görülmemiş 2021 orman yangınları, *Natural Hazards*, 120, 10687-10707.
- Esemen, K., 2011. Forest fire analysis using satellite imagery, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Bilişim Enstitüsü, İstanbul.
- Farhadi, H., Mokhtarzade, M., Ebadi, H. ve Beirami, B. A., 2022. Rapid and automatic burned area detection using sentinel-2 time-series images in google earth engine cloud platform: A case study over the Andika and Behbahan Regions, Iran, *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 5, 369.
- Fassnacht F. E., White J. C., Wulder M. A. ve Næsset E., 2024. Remote sensing in forestry: current challenges, assessments and directions, *Forestry: International Journal of Forest Research*, 97, 1, 11–37.
- Fawcett, T., 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, 27, 8, 861-874.
- Foody, G. M., 2020. Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification, *Remote sensing of environment*, 239, 111630.
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D. ve Moore R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Gupta, P. ve Shukla, D. P., 2022. Google earth engine based temporal analysis of indices used for forest fire study in Mizoram, India, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 493-499.
- Gündüz, H. İ., Torun, A. T., ve Gezgin, C., 2025. Post-fire burned area detection using machine learning and burn severity classification with spectral indices in İzmir: A SHAP-Driven XAI Approach, *Fire*, 8, 4, 121.
- Güner, Ö., 2024. Hatay'daki yangınlar hakkında değerlendirme, *Coğrafya Eğitimi Derneği (GeoCAD) Süreli Yayını*, 1-11.
- Gürbüz, E., 2018. Google earth engine ile zamansal değişikliklerin izlenmesi: Uluabat Gölü, Güney Marmara Bölgesi, Türkiye, *EurasianGIS 2018 Kongresi Bildirileri*, Bakü, 177–179.
- Gürbüz, E., 2022. Google Earth Engine ile yangın tahribatı ve sonrası iyileştirme süreçlerinin izlenmesi, VIII. Uzaktan algılama-CBS Sempozyumu, Ankara, *Bildiriler Kitabı*, 205-213.
- Gürbüz, E., 2023. Google Earth Engine 'de uyumlu görüntü serileriyle sulak alanlardaki uzaysal-zamansal değişimlerin izlenmesi, *Çevresel İzleme ve Değerlendirme*, 195, 6, 770.

- Karaca, A. C. ve Güllü, M. K., 2019. Hiperspektral görüntülerin kayıpsız sıkıştırılması için süperpiksel tabanlı yinelemeli en küçük kareler yöntemi, *Multidim Syst Sign Process*, 30, 903–919.
- Kavzoğlu, T., Tonbul, H., Çölkesen, İ. ve Sefercik, U.G., 2021. 2021'de Marmara Denizi'ndeki deniz Mucilage Bloom'unun izlenmesi için nesne tabanlı görüntü analizinin kullanımı, *Uluslararası Çevre ve Jeoinformatik Dergisi*, 8, 4, 529-536.
- Key, C. H. ve Benson, N. C., 2005. Landscape assessment: Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio D. C. Lutes, vd. (Eds.), FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system, General Technical Report, RMRS-GTR-164-CD:LA1-LA51, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT.
- Key, C. H., 2006. Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity, *Fire Ecology*, 2, 2, 34-59.
- Konkathi, P. ve Shetty, A., 2021. Inter comparison of post-fire burn severity indices of Landsat-8 and Sentinel-2 imagery using Google Earth Engine. *Earth Science Informatics*, 14, 2, 645-653.
- Kovács, K.D., 2019. Evaluation of burned areas with Sentinel-2 using SNAP: The case of Kineta and Mati, Greece, July 2018. *Geographia Technica*, Cluj University Press, 14, 2, 20-38.
- Lanorte, A., Lasaponara, R., Lovallo, M., ve Telesca, L., 2014. Fisher–Shannon information plane analysis of SPOT/VEGETATION normalized difference vegetation index (NDVI) time series to characterize vegetation recovery after fire disturbance, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 441-446.
- Midekisa, A., Holl, F., Savory, D. J., Andrade-Pacheco, R., Gething, P. W., Bennett, A. ve Sturrock, H. J., 2017. Mapping land cover change over continental Africa using Landsat and Google Earth Engine cloud computing, *PloS one*, 12, 9, 184926.
- Morante-Carballo, F., Bravo-Montero, L., Carrión-Mero, P., Velastegui-Montoya, A. ve Berrezueta, E., 2022. Forest fire assessment using remote sensing to support the development of an action plan proposal in ecuador, *Remote Sensing*, 14, 1783.
- Nolè, A., Rita, A., Spatola, M. F. ve Borghetti, M., 2022. Biogeographic variability in wildfire severity and post-fire vegetation recovery across the European forests via remote sensing-derived spectral metrics, *Science of the Total Environment*, 823, 153807.
- Özdemir, F. B. ve Demir, N., 2021. 2019 İzmir Karabağlar ilçesi orman yangın alanının uydu görüntüleri ile analizi, *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 3, 1, 20-33.

- Pereira, J. M., Pereira, B. S., Barbosa, P., Stroppiana, D., Vasconcelos, M. J. ve Grégoire, J. M., 1999. Satellite monitoring of fire in the EXPRESSO study area during the 1996 dry season experiment: Active fires, burnt area, and atmospheric emissions, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104, D23, 30701-30712.
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y. ve Ranagalage, M., 2020. Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review, *Remote sensing*, 12, 14, 2291.
- Polat, N. ve Kaya, Y., 2021. Çok bantlı uydu görüntüleriyle orman patlamalarında hasar tespiti, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23, 1, 172-181.
- Powers, D. M. W., 2011. Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation, *Journal of Machine Learning Technologies*, 2, 1, 37-63.
- Robinson, J.M., 1991. Uzaydan gelen yangın: Kızılötesi uzaktan algılama kullanılarak küresel yangın değerlendirilmesi, *Uluslararası Uzaktan Algılama Dergisi*, 12, 1, 3-24.
- Sarp, G., Baydoğan, E., Güzel, F. ve Otlukaya, T., 2021. Optik uydu verilerinden belirlenen kentsel alan ile kara yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi: İstanbul örneği, *Gelişmiş Uzaktan Algılama*, 1, 1, 31-37.
- Saylan, İ. H. ve Çömert, R., 2019. Sentinel-2A ürünlerinin yanmış orman alanlarının haritalanmasındaki başarının araştırılması, *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 1, 1, 8-15.
- Sivrikaya, F., Günlü A., Küçük Ö. ve Ürker O., 2024. Forest fire risk mapping with Landsat 8 OLI images: Evaluation of the potential use of vegetation indices, *Ecological Informatics*.
- Soydan, O., 2022. Detection of burnt areas by remote sensing techniques: Antalya Manavgat forest fire, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10, 3029-3035.
- Sunar, F. ve Özkan, C., 2001. Forest fire analysis with remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, 22, 12, 2265-2277.
- Thenkabail, P., S., Lyon, J., G. ve Huete, A., 2004. Hyperspectral remote sensing of vegetation and agricultural crops, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70, 7, 697-715.
- Tonbul, H., 2015. Uydu görüntü verileri kullanılarak orman yangın şiddeti ve yangın sonrası durumun zamansal olarak incelenmesi: Akdeniz bölgesi örneği, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.

- Tonbul, H., Kavzoglu, T. ve Kaya, S., 2016. Assessment of fire severity and post-fire regeneration based on topographical features using multitemporal landsat imagery: a case study in Mersin, Turkey, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*, XLI-B8, 763–769.
- Topuz, M. ve Geçen R., 2021. Hatay’da 2013-2021 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının uydu görüntülerinden tespiti ve değerlendirilmesi, *Turkish Studies- Social*, 16, 6, 1987-2009.
- Tucker C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation, *Journal of Remote Sensing Environment*, 8, 2, 127-150.
- Van Leeuwen, M. ve Nieuwenhuis, M., 2010. Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing, *European Journal of Forest Research*, 129, 4, 749-770.
- Veraverbeke S., Gitas I., Katagis T., Polychronaki A., Somers B. ve Goossens R., 2012. Assessing post-fire vegetation recovery using red–near infrared vegetation indices: Accounting for background and vegetation variability, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68, 28-39.
- Vlassova, L., Pérez-Cabello, F., Mimbrero, M. R., Llovería, R. M. ve García-Martín, A., 2014. Analysis of the relationship between land surface temperature and wildfire severity in a series of landsat images, *Remote Sensing*, 6, 7, 6136-6162.
- Yaman, Ş. ve Görmüş, E. T., 2025. Sentinel-2 ve Landsat-8 ile bulut tabanlı orman yangın analiz, *Geomatik*, 10, 3, 316-330.
- Yılman, H., 2022. Orman yangınlarında yanan alanların uydu görüntüleri kullanılarak belirlenmesi: 2019 Ağustos Gelibolu (Çanakkale) orman yangını örneği, *Yüksek Lisans Tezi, ÇOMÜ., Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale*.
- Yılmaz, O. S., Oruç, M. S., Ateş, A. M. ve Gülgen, F., 2021. Orman yangın şiddetinin Google Earth Engine ve coğrafi bilgi sistemleri kullanarak analizi: Hatay-Belen örneği, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11, 2, 1519-1532.
- Yılmaz, O. S., Acar, U., Sanli, F. B., Gulgen, F. ve Ates, A. M., 2023. Mapping burn severity and monitoring CO content in Türkiye’s 2021 Wildfires, using Sentinel-2 and Sentinel-5P satellite data on the GEE platform, *Earth Science Informatics*, 16, 1, 221-240.
- Yüksel, K., 2022. Yanan orman alanı tespitinde farklı uzaktan algılama indislerinin değerlendirilmesi: 2022 yılı Mersin (Gülner) orman yangını örneği, *ArtGRID-Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 4, 2, 160-171.
- Waltari, E., Schroeder, R., McDonald, K., Anderson, R. P. ve Carnaval, A., 2014. Bioclimatic variables derived from remote sensing: Assessment and application for species distribution modelling, *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 10, 1033-1042.

Wang, L. A., Zhou, X., Zhu, X., Dong, Z. ve Guo, W., 2016. Estimation of biomass in wheat using random forest regression algorithm and remote sensing data, The Crop Journal, 4, 3, 212-219.

URL-1 < <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.3.6831.pdf> >, Erişim Tarihi: 09.08.2025.

URL-2 < <https://www.hatay.gov.tr/sosyal-ve-cografi-durum> >, Erişim Tarihi: 19.05.2025.

URL-3 < <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> >, Erişim Tarihi: 19.05.2025.

URL-4 < <https://www.usgs.gov/landsat-missions> >, Erişim Tarihi: 19.05.2025.

URL-5 < https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con >, Erişim Tarihi: 19.05.2025.

URL-6 < <https://www.google.com/search?q=Sentinel2+User+handbook&o=Sentinel2+User+Handbook&aqs=chrome.69i57j69i60> >, Erişim Tarihi: 19.05.2025.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Dilruba Zuhal AKKOYUNLU

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 2014-2018

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018-2025

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü, Hatay Kadastro Müdürlüğü, Kontrol Mühendisi
2. TÜRKSAT Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş., Yaz Stajı

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Akkoyunlu, D. ve Gürbüz, E. 2025. Orman yangınlarında yanan alanların belirlenmesi ve bu alanlarda arazi örtüsü değişiminin uzaktan algılama ile izlenmesi: Gülderen yangını (Hatay) örneği, Bitlis/Türkiye, VI. Bilsel Uluslararası Ahlat Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 443-444.