T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

# ORMAN YANGINLARININ HAVA KALİTESİ VE YER YÜZEY SICAKLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ

**Mine Nur MESUT**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZİRAN 2022**

**ANTALYA**

**T.C.**

**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**

# ORMAN YANGINLARININ HAVA KALİTESİ VE YER YÜZEY SICAKLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ

**Mine Nur MESUT**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZİRAN 2022**

**ANTALYA**

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

# ORMAN YANGINLARININ HAVA KALİTESİ VE YER YÜZEY SICAKLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ

**Mine Nur MESUT**

**UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 22/06/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Nusret DEMİR (Danışman)
Prof. Dr. Bekir Taner SAN
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÜSTÜNER

# ÖZET

## ORMAN YANGINLARININ HAVA KALİTESİ VE YER YÜZEY SICAKLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ

**Mine Nur MESUT**

**Yüksek Lisans Tezi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Nusret DEMİR**

**II. Danışman: Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK**

**Haziran 2022; 86 sayfa**

Ormanlar, ağaçlar gibi büyük canlılardan en küçük canlılar olan mikroorganizmalara kadar tüm canlıları içinde barındıran, yaşam için gerekli olan atmosfer dengesini sağlayan kara ekosistemleridir. Dünyanın %31'ini, ülkemizin ise %30'unu kaplayan ormanlar; her türlü canlıya besin, barınma gibi olanaklar sağlar ve doğanın işleyişini dengeli bir şekilde devam ettirmesine yardımcı olur.

İklimlerin değişime uğraması sonucu ortaya çıkan kuraklık ve yüksek sıcaklık, ormanlık alanlarda insanlık faaliyetlerinin artması gibi nedenlerden dolayı orman yangınları çıkmaktadır. Bu yangınlar sonucu, atmosfere çeşitli kirletici gazlar ve partiküller salınarak hava kalitesini düşürmektedir. Yangınlar sırasında toprak yüzeyinin sıcaklığının artması, toprak ekosistemine de zarar vermektedir.

Uzaktan algılama yöntemlerinin hızlı, pratik olması orman yangınlarının bu zararlarını yangın bölgesine gitmeden de tespit etmeyi, incelemeyi mümkün kılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, 2021 yılı yaz aylarında ülkemizde meydana orman yangınlarının hava kalitesi ve yer yüzey sıcaklığına olan etkilerinin uzaktan algılama teknikleri ile incelenmesi amaçlanmıştır. Meydana gelen orman yangınlarından en fazla zarar gören Antalya ve Muğla illerinin orman yangınları sırasında hava kalitelerinde düşüşler olduğu ve yangın bölgelerinde yer yüzey sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir. Alınan uydu görüntülerinde gerçekleştirilen analizlere göre Antalya ve Muğla illerinde yangınlar döneminde; CO, $NO_2$ ve $PM_{10}$ değerlerinde artışlar olmuştur. Ayrıca yangın bölgelerindeki artan yüzey sıcaklıkları, yangınlar söndürüldükten sonra bir süre daha yüksek bir şekilde devam etmiştir.

Sonuç olarak, literatürdeki benzer çalışmalar ve yapılan bu tez çalışması ışığında; orman yangınlarının bölgenin yüzey sıcaklığını arttırdığı ve hava kalitesini düşürerek hava kirliliğine neden olduğu anlaşılmıştır.



**ANAHTAR KELİMELER:** Antalya, Hava kirliliği, Muğla, Orman yangını, Uzaktan algılama, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, Yer yüzey sıcaklığı, SLSTR, TROPOMI

**JÜRİ:** Doç. Dr. Nusret DEMİR

Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÜSTÜNER

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF FOREST FIRES ON AIR QUALITY AND LAND SURFACE TEMPERATURE BY REMOTE SENSING METHODS

**Mine Nur MESUT**

**MSc Thesis in Remote Sensing and Geographic Information Systems**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nusret DEMIR**

**II. Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cagdas KUSCU SIMSEK**

**June 2022; 86 pages**

Forests are terrestrial ecosystems that contain all living beings, from large creatures such as trees to the smallest microorganisms, and they provide the atmosphere necessary balance for life. Forests covering 31% of the world and 30% of our country provides all kinds of living things with opportunities such as food and shelter and helps nature to maintain its functioning in a balanced way.

Forest fires occur due to reasons such as drought and high temperature, which occur as a result of climate change, and increase in human activities in forest areas. As a result of these fires, various polluting gases and particles are released into the atmosphere, reducing the air quality. The increase in the temperature of the soil surface during fires also damages the soil ecosystem.

The fact that remote sensing methods are fast and practical makes it possible to detect and examine these damages of forest fires without going to the fire area.

In this thesis, it is aimed to examine the effects of forest fires in our country in the summer of 2021 on air quality and land surface temperature with remote sensing techniques. It was observed that the air quality of Antalya and Muğla provinces, which suffered the most from the forest fires, decreased during the forest fires and the land surface temperature increased in the fire regions. According to the analyzes performed on the satellite images taken, there were increases in CO, $NO_2$ and $PM_{10}$ values , during the fires in the provinces of Antalya and Muğla. In addition, the increased land surface temperatures in the fire areas continued to be higher for a while after the fires were extinguished.

As a result, it has been understood that forest fires increase the land surface temperature of the region and cause air pollution by reducing the air quality in the light of similar studies in the literature and this thesis.



**KEYWORDS:** Air pollution, Antalya, Forest fire, Land surface temperature, Mugla, Remote sensing, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, SLSTR, TROPOMI

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Nusret DEMIR

Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Asst. Prof. Dr. Mustafa USTUNER

# ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, ülkemizin 2021 yılı yaz ayında büyük bir mücadele ve ciddi kayıplar vererek başarıyla söndürülen orman yangınlarının sonuçlarına dikkat çekilmek istenmiştir. Bu bağlamda, Antalya ve Muğla illerinde çıkan orman yangınlarının illerin hava kalitesi ve yer yüzey sıcaklığına etkileri uzaktan algılama yöntemleri ile incelenerek orman yangınlarının yangın bölgesine ve çevresine etkileri araştırılmıştır. Özellikle literatürdeki çalışmaların ve bu tez çalışmasının ışığında, uzaktan algılama yöntemlerinin orman yangınlarının kötü sonuçlarını tespit etmede ve yangınları önleme konusunda ciddi yardımı olacağına inanıyorum.

Öncelikle Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalında yüksek lisans yapmama şans tanıyan değerli öğretim üyelerine,

Yüksek lisans eğitimim boyunca beni destekleyen ve tezimde de yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Nusret DEMİR'e,

Yer yüzey sıcaklığı konusunda yardımlarını esirgemeyen II. danışmanım Sayın Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK'e,

Tez savunması sürecinde jüri olmayı kabul eden ve beni sabırla dinleyen, değerli bilgi ve yorumlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Bekir Taner SAN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÜSTÜNER'e,

Bu zorlu yüksek lisans eğitimi ve tez sürecinde bana her zaman destek olan Serdar Yasin TURAN'a ve değerli dostlarıma,

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... i
ABSTRACT ..... ii
ÖNSÖZ ..... iii
AKADEMİK BEYAN ..... vi
SİMGELER VE KISALTMALAR ..... vii
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... xi
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... xiv
1. GİRİŞ ..... 1
1.1. Ormanlar ..... 1
1.1.1. Orman yangınları ..... 2
1.2. Uzaktan Algılama ..... 4
1.3. Yer Yüzey Sıcaklığı ..... 6
1.4. Hava Kalitesi ve Hava Kirliliği ..... 8
1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı ..... 11
2. KAYNAK TARAMASI ..... 13
2.1. Orman Yangınlarının Hava Kalitesine Etkileri ..... 13
2.2. Orman Yangınlarının Toprak Ekosistemine Etkileri ..... 19
2.3. Orman Yangınları Toprak Ekosistemi ve Hava Kalitesine Etkileri Arasındaki İlişkiler ..... 22
3. MATERYAL VE METOT ..... 26
3.1. Çalışma Alanları ..... 26
3.1.1. Antalya ..... 26
3.1.1.1. Antalya yangını ..... 26
3.1.2. Muğla ..... 27
3.1.2.1. Muğla yangını ..... 27
3.2. Kullanılan Veriler ..... 28
3.2.1. Uydu görüntüleri ..... 30
3.2.1.1. Sentinel-2 ..... 31
3.2.1.2. Sentinel-3 ..... 32
3.2.1.3. Sentinel-5P ..... 35
3.2.1.4. MODIS Terra ..... 36

3.2.2. Uydu görüntülerinin işlenmesi ..... 38
3.2.2.1. Sentinel-2 görüntülerinin işlenmesi ..... 39
3.2.2.2. Sentinel-3 görüntülerinin işlenmesi ..... 39
3.2.2.3. Sentinel-5P görüntülerinin işlenmesi ..... 39
3.2.2.4. MODIS Terra görüntülerinin işlenmesi ..... 40
3.2.3. Hava kalitesi izleme istasyonları ..... 40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA ..... 43
4.1. Yangın - Hava Kalitesi İncelemesi ..... 45
4.1.1. Yangın - $PM_{10}$ analizi ..... 45
4.1.2. Yangın - CO analizi ..... 49
4.1.3. Yangın - $NO_2$ analizi ..... 52
4.2. Yangın - Yer Yüzey Sıcaklığı İncelemesi ..... 62
5. SONUÇLAR ..... 77
6. KAYNAKLAR ..... 79
ÖZGEÇMİŞ

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Orman Yangınlarının Hava Kalitesi ve Yer Yüzey Sıcaklığı Üzerindeki Etkilerinin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile İncelenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

22/06/2022

Mine Nur MESUT

## SİMGELER VE KISALTMALAR

**Simgeler**

| | |
|---|---|
| Bin | : 1.000 |
| ha | : hektar |
| K | : Kelvin |
| km | : kilometre |
| m | : metre |
| MW | : megawatt |
| nm | : nanometre |
| Ondalık sayı | : 0,04 |
| µm | : mikrometre |
| °C | : Celsius |

**Kısaltmalar**

| | |
|---|---|
| ABD | : Amerika Birleşik Devletleri |
| AIRS | : Atmosferik Kızılötesi Siren |
| ALOS | : Gelişmiş Kara Gözleme Uydusu |
| AOD | : Aerosol Optik Derinliği |
| ARL | : Hava Kaynakları Laboratuvarı |
| AUA | : Avrupa Uzay Ajansı |
| BAI | : Yanan Alan İndeksi |
| Cd | : Kadmiyum |
| $CH_4$ | : Metan |
| CHIRPS | : İstasyonlu İklim Tehlikeleri Kızılötesi Yağış Grubu |

CO : Karbon Monoksit

$CO_2$ : Karbon Dioksit

dBAI : Fark Yanan Alan İndeksi

dLST : Fark Yer Yüzey Sıcaklığı

dMIRBI : Fark Orta Kızılötesi Yanma İndeksi

dNBR : Fark Normalize Edilmiş Yanma Oranı

dNBRT : Fark Normalize Edilmiş Isıl Yanma Şiddeti

DORIS : Doppler Yörünge Radyo Konumlama Sistemi

ENVISAT : Çevresel Uydu

GEE : Google Earth Engine

GNSS : Küresel Navigasyon Uydu Sistemi

HCHO : Formaldehit

HYPSLIT : Hibrit Tek Parçacık Lagrange Entegre Yörüngesi

LRR : Lazer Retro-Reflektörü

Meteosat : Meteorolojik Uydu

MetOp : Meteorolojik Operasyonel Uydu

MIRBI : Orta Kızılötesi Yanma İndeksi

MODIS : Orta çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi

MSI : Multispektral Cihaz

MWR : Mikrodalga radyometresi

NBR : Normalize Edilmiş Yanma Oranı İndeksi

NBRT : Normalize Edilmiş Isıl Yanma Şiddeti

NDVI : Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi

$NH_3$ : Amonyak

NIR : Yakın Kızılötesi

NOx : Azot Oksitler, $NO+NO_2$

NO : Azot Monoksit

$NO_2$ : Azot Dioksit

NOAA : Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi

NRTI : Gerçek Zamana Yakın

$O_3$ : Ozon

OFFL : Çevrimdışı

OGM : Orman Genel Müdürlüğü

OLCI : Okyanus ve Yüzey Renk Cihazı

OLI : Operasyonel Arazi Görüntüleyici

OMI : Ozon Görüntüleme Cihazı

PALSAR : Phased Array tipi L-bant Sentetik Açıklıklı Radar

Pb : Kurşun

PM : Partikül Madde

$PM_{10}$ : Boyutu 10 µm'den küçük partikül maddeler

$PM_{2.5}$ : Boyutu 2,5 µm'den küçük partikül maddeler

QGIS : Quantum Coğrafi Bilgi Sistemleri

SK : Siyah Karbon

SLSTR : Deniz ve Kara Yüzey Sıcaklığı Radyometresi

SNAP : Sentinel Uygulama Platformu

SOx : Kükürt Oksitler, $SO+SO_2$

SO : Kükürt Monoksit

$SO_2$ : Kükürt Dioksit

$SO_3$ : Kükürt Trioksit

SPSS : Statistical Package for the Social Sciences

SRAL : SAR Radar Altimetresi

SWIR : Kısadalga Kızılötesi

TAP : Toplam Askıda Partikül

TM : Tematik Haritalama

TROPOMI : Troposferik Görüntüleme Cihazı

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

UOB : Uçucu Organik Bileşikler

USGS : Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu

UV : Ultraviyole

UVIS : UV Spektroskopisi

YYS : Yer Yüzey Sıcaklığı

Zn : Çinko

# ŞEKİLLER DİZİNİ

**Şekil 1.1.** Antalya ili ormanları (Antalya'daki Bitki Örtüsü 2022) ..... 1

**Şekil 1.2.** 2021 Bodrum-Milas yangını (Yeni Asır Gazetesi 2022) ..... 3

**Şekil 1.3.** Elektromanyetik spektrum (Canlı Dershane 2022) ..... 5

**Şekil 1.4.** Aktif ve pasif uzaktan algılama sensörleri (Sourav 2017'den değiştirilerek alınmıştır.) ..... 5

**Şekil 1.5.** Termal uzaktan algılama sensörü (Torgersen et al. 2001'den değiştirilerek alınmıştır.) ..... 6

**Şekil 1.6.** Birincil ve ikincil hava kirliliği kaynakları (Zheleva vd. 2014'den değiştirilerek alınmıştır.) ..... 10

**Şekil 2.1.** Milas ilçesi yangın risk haritası (Atmaca vd. 2022) ..... 24

**Şekil 2.2.** Milas ilçesi dNBR sonucu ..... 25

**Şekil 3.1.** Antalya ili Sentinel-2 uydusu RGB görüntüleri **a)** Yangın öncesi; **b)** Yangın sonrası; **c)** Manavgat yangını alanı; **d)** Gündoğmuş yangını alanı ..... 27

**Şekil 3.2.** Muğla ili Sentinel-2 uydusu RGB görüntüleri **a)** Yangın öncesi; **b)** Yangın sonrası; **c)** Bodrum yangını alanı; **d)** Marmaris yangını alanı; **e)** Kavaklıdere yangını alanı; **f)** Köyceğiz yangını alanı ..... 28

**Şekil 3.3.** Tez çalışması iş-akış şeması ..... 29

**Şekil 3.4** Sentinel-2 uydusu (Sentinel-2 2022) ..... 31

**Şekil 3.5.** Sentinel-3 uydusu (Sentinel-3 2022) ..... 33

**Şekil 3.6.** Sentinel-5P TROPOMI uydusu (Sentinel-5P 2022) ..... 35

**Şekil 3.7.** MODIS Terra uydusu (Terra Satellite 2022) ..... 37

**Şekil 3.8.** Google Earth Engine arayüzü ..... 39

**Şekil 3.9.** Antalya-Trafik hava kalitesi izleme istasyonu (Antalya, Yüzüncüyıl Bulv.) (Google Maps 2022) ..... 40

**Şekil 3.10.** Antalya iline ait hava kalitesi izleme istasyonları lokasyonları ..... 42

**Şekil 4.1.** Sentinel-2 uydusu görüntüleri kullanılarak oluşturulmuş dNBR haritaları **a)** Antalya ili; **b)** Muğla ili ..... 44

**Şekil 4.2.** Antalya ili $PM_{10}$ konsantrasyonu görüntüleri ..... 46

**Şekil 4.3.** Antalya ili $PM_{10}$ konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği ..... 47

**Şekil 4.4.** Muğla ili $PM_{10}$ konsantrasyonu görüntüleri ..... 48

**Şekil 4.5.** Antalya ili CO konsantrasyonu görüntüleri ..... 50

**Şekil 4.6.** Antalya ili CO konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği ..... 51

**Şekil 4.7.** Muğla ili CO konsantrasyonu görüntüleri ..... 52

**Şekil 4.8.** Antalya ili $NO_2$ konsantrasyonu görüntüleri ..... 53

**Şekil 4.9.** Antalya ili $NO_2$ konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği ..... 54

**Şekil 4.10.** Muğla ili $NO_2$ konsantrasyonu görüntüleri ..... 55

**Şekil 4.11.** Antalya havasının 11 Ağustos 2021 tarihindeki fotoğrafı (Fotoğraf, tez sahibine aittir. ..... 56

**Şekil 4.12.** Antalya Havasının 11 Ağustos 2021 tarihindeki fotoğrafı (Gazete Duvar 2022) ..... 56

**Şekil 4.13.** Antalya ili 11 Ağustos hava kirliliği için $PM_{10}$ konsantrasyonu görüntüleri 57

**Şekil 4.14.** Antalya ili 11 Ağustos hava kirliliği $PM_{10}$ konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği ..... 58

**Şekil 4.15.** Çobanpınarı Köyü yangının dumanının oluşturulan HYPSLIT hareket modellemesi ..... 59

**Şekil 4.16.** Muğla Kemerköy Termik Santrali lokasyonu ..... 60

**Şekil 4.17.** Muğla ili CO konsantrasyonu görüntüleri **a)** 29 Ağustos-12 Eylül; **b)** 13-28 Ağustos; **c)** 13-28 Temmuz; **d)** 28 Haziran-12 Temmuz dönemleri ..... 61

**Şekil 4.18.** Muğla ili $NO_2$ konsantrasyonu görüntüleri **a)** 29 Ağustos-12 Eylül; **b)** 13-28 Ağustos; **c)** 13-28 Temmuz; **d)** 28 Haziran-12 Temmuz dönemleri ..... 62

**Şekil 4.19.** Manavgat yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği ..... 63

**Şekil 4.20.** Gündoğmuş yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği ..... 64

**Şekil 4.21.** Antalya ili yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR uydu görüntüleri **a)** 13.07.2021, **b)** 29.07.2021, **c)** 05.08.2021, **d)** 09.08.2021, **e)** 26.08.2021 tarihli görüntüler ve sağdaki görüntüler de **a)** görüntüsü ile diğer görüntülerin YYS fark haritaları ..... 65

**Şekil 4.22.** Manavgat ve Gündoğmuş yangın bölgeleri ile Antalya ili yer yüzey sıcaklığı değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği ..... 66

**Şekil 4.23.** Manavgat yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği ..... 67

**Şekil 4.24.** Gündoğmuş yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği ..... 67

**Şekil 4.25.** Manavgat yangın bölgesinin yangın öncesi **a)** Sentinel-3 SLSTR (°C), **b)** MODIS (°C); yangın dönemi **c)** Sentinel-3 SLSTR (°C), **d)** MODIS (°C); yangın sonrası **e)** Sentinel-3 SLSTR (°C) ve **f)** MODIS (°C) uyduları görüntüleri ..... 69

**Şekil 4.26.** Marmaris yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği ..... 70

**Şekil 4.27.** Bodrum-Milas yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği ..... 70

**Şekil 4.28.** Yatağan-Kavaklıdere yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği ..... 71

**Şekil 4.29.** Köyceğiz yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği ..... 71

**Şekil 4.30.** Marmaris, Yatağan-Kavaklıdere, Bodrum-Milas ve Köyceğiz yangın bölgeleri ile Muğla ili yer yüzey sıcaklığı değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği ... 72

**Şekil 4.31.** Muğla ili yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR uydu görüntüleri **a)** 13.07.2021, **b)** 30.07.2021, **c)** 04.08.2021, **d)** 14.08.2021, **e)** 25.08.2021 tarihli görüntüler ve sağdaki görüntüler de **a)** görüntüsü ile diğer görüntülerin YYS fark haritaları ..... 73

**Şekil 4.32.** Marmaris yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği ..... 74

**Şekil 4.33.** Bodrum-Milas yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği ..... 74

**Şekil 4.34.** Yatağan-Kavaklıdere yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği ..... 75

**Şekil 4.35.** Köyceğiz yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği ..... 75

**Şekil 4.36. a)** Antalya ve **b)** Muğla illeri dLST görüntüleri ..... 76

# ÇİZELGELER DİZİNİ

**Çizelge 1.1.** Ulusal hava kirleticileri sınır değerleri ..... 9

**Çizelge 3.1.** Sentinel-2 uydusu kullanılan bantlar ve özellikleri (ESA 2022a) ..... 32

**Çizelge 3.2.** Sentinel-3 uydusu kullanılan bantlar ve özellikleri (Polehampton et al. 2021) ..... 34

**Çizelge 3.3.** Sentinel-5P TROPOMI uydusu kullanılan bantlar ve özellikleri (Tropomi 2022) ..... 36

**Çizelge 3.4.** MODIS Terra uydusu bant özellikleri ..... 37

**Çizelge 3.5.** Tez çalışmasında kullanılan uydu görüntülerinin özellikleri..... 38

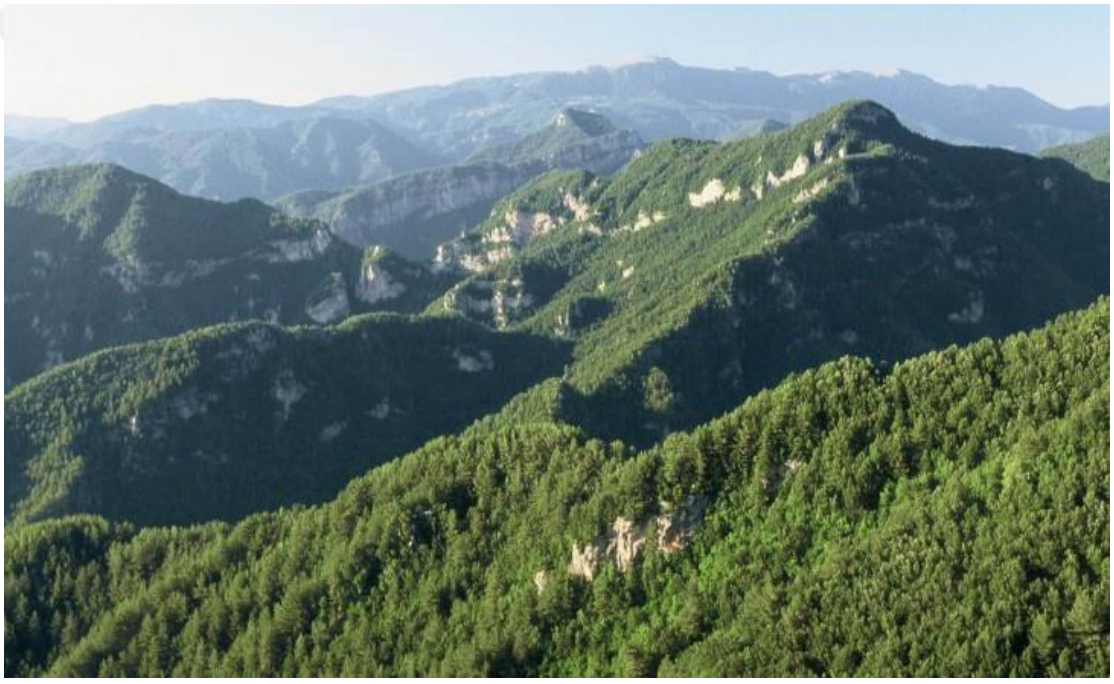
**Çizelge 4.1.** Normalize Edilmiş Yanma Fark İndeksi skalası (Key, 2006) ..... 43

**Çizelge 4.2.** Antalya ve Muğla illerinin yangın başlama ve söndürülme tarihleri ..... 45

**Çizelge 4.3.** Manavgat yangın bölgesi uydu görüntüleri YYS değerleri..... 68

# 1. GİRİŞ

İnsanlara ve diğer canlılara sağladığı yararlar ile ormanlar yaşamın vazgeçilmez bir parçasıdır. Ağaçlarında kuşların, sincapların, karıncaların yaşadığı, toprağında barındırdığı birçok küçük canlı, atmosferdeki gaz ve su dengesini sağlamaya yardımcı olan ormanlar, doğal veya insan kaynaklı yangınların tehdidi altındadır. Değişen iklim koşulları, insan dikkatsizliği gibi nedenlerle her yıl binlerce hektar orman yok olmaktadır. Bunun sonucunda, hava kirliliği, toprak verimsizliği, can kaybı vb. birçok sorun ortaya çıkmaktadır. Literatüre bakıldığında, tüm bu yangınların sebebini iyi anlamak, zararlarını iyi analiz etmek, yangın öncesi tedbirlerin alınması, riskli bölgelerin belirlenmesi gibi hususlarda uzaktan algılama hızlı ve pratik çözümler sunmaktadır. Özellikle orman yangınlarının hava kirliliği ve yer yüzey sıcaklığına etkileri uzaktan algılama yöntemleri ile analiz edilmektedir.



**Şekil 1.1.** Antalya ili ormanları (Antalya'daki Bitki Örtüsü 2022)

## 1.1. Ormanlar

Dünyanın akciğerleri ormanlar, dünyadaki yaşamın devam etmesi için gerekli olan atmosfer gazlarının dengesini sağlayan, bulunduğu yerin havasını temizleyen ağaçlardan oluşan, hayvanlardan mikroorganizmalara kadar birçok yaşam formunu içinde barındıran kara ekosistemleridir (2020 Türkiye Orman Varlığı 2021). Bulunduğu bölgeye yağış çekerek yağış rejimini düzenler, toprak altındaki kökleri ile de fazla yağışlardan dolayı oluşabilecek selleri ve erozyonu engelleyerek doğada su dengesine de yardımcı olmaktadır. Ayrıca dünya yüzeyinin radyasyon miktarını düzenleyerek iklim dengesine katkıda bulunur (Liu et al. 2019; Stoyanova et al. 2022).

Dünya üzerindeki kara parçalarının yaklaşık % 31'i ormanlarla kaplıdır. Çeşitli kara parçalarında o bölgenin iklimine ve toprak özelliklerine uyum sağlayarak oluşmuş ormanlar ve ormanlık alanlar bulunmaktadır. Ekvatoral bölgelerde yüksek sıcaklık ve neme dayanıklı yeşil yapraklı ağaçlardan oluşan yağmur ormanları yetişirken, ekvatordan uzaklaştıkça soğuğa dayanıklı, az yağışın olduğu yerlerde yaşayabilen iğne yapraklı ağaçlardan oluşan ormanlar bulunabilmektedir (Orman 2022).

Ilıman orta kuşakta yer alan, dört mevsimi bir arada yaşayan ülkemizin yüzölçümünün yaklaşık % 30'unda birçok orman türü görülmektedir. Çoğunlukla Ege, Akdeniz, Karadeniz, Marmara bölgelerinde yoğunlaşan ormanlarımız bulundukları bölgelerin coğrafi özelliklerine göre çeşitlenmişlerdir. 2020 yılı Birleşmiş Milletleri'ne bağlı Gıda ve Tarım Örgütü'nün, her beş yılda bir yayınlanan ve dünyadaki bütün ülkelerden elde edilen ormancılık alanındaki verilerden derlenerek hazırladığı Küresel Orman Kaynakları Değerlendirmesi raporuna göre ülkemiz, 236 ülkenin 153'ünün toplam karasal alanından daha büyük bir ormanlık alana sahiptir. Ormanlık alanlarımızın yaklaşık % 32'si yapraklı ormanlar (meşe, kayın, kızılağaç, kestane vb.), % 48'ini iğne yapraklı ormanlar (kızılçam, sarıçam, karaçam, göknar, ladin, sedir vb.) , geriye kalanı ise karışık yapraklı (iğneli ve yapraklı) ormanlardan oluşmaktadır (2020 Türkiye Orman Varlığı 2021).

### 1.1.1. Orman yangınları

Ormanlar kasıtlı olarak, ihmal sonucu, doğal nedenler (yıldırım, küresel ısınma, vb.) gibi çeşitli sebeplerle yanmaktadır. Son yıllarda değişen iklim ve küresel ısınma, ormanları ve içinde yaşayan canlıları tehdit etmektedir. Küresel ısınmayla artan sıcaklık, azalan yağışlar ve nemin sonucu olarak gelecekte kuzey ve orta enlemlerde orman yangınlarının daha yaygın hale gelmesi olası bir sonuç olarak görülmektedir (Mazzoni et al. 2007; Kim and Sarkar 2017; Barrera et al. 2018). Özellikle Akdeniz iklimi etkisinde olan Türkiye'de yaz aylarında ormanlık alanlardaki artan insan faaliyetleri, sıcak ve kuru hava koşulları ile yangınların sayısında artış gözlemlenmiştir. Artan sıcaklık ile yüzeydeki kuruyan bitki yanmaya hazır hale gelir ve genellikle nem % 20'nin altına inmesi ile beraber sıcaklığın 40 °C üzerine çıkması orman yangını için uygun koşullardır (Oğuz vd. 2021). Orman yangınları, ormanların dünya üzerindeki dağılımını etkileyen ve kara ile atmosfer arasındaki karbon, su ve enerji alışverişinde de görev alan doğal bir sorundur (Liu et al. 2019).

**Şekil 1.2.** 2021 Bodrum-Milas yangını (Yeni Asır Gazetesi 2022)

Orman yangınları sonucunda ormanların yenilenmesi ve büyümesini sağlayan ekolojik döngüye yardımcı olabileceği düşünülse de şiddetli yangınlar sonucu birçok ormanlık alan yok olmakta, ormanda yaşayan canlılar hayatını kaybetmekte ve ekosistemde çeşitlilik azalmaktadır (Atmaca vd. 2022).Yangın alanı ve çevresinde bulunan yakın yerleşim yerleri harap olmakta ve insanlar zarar görmektedir. Aynı zamanda ormanlık alanların yok olduğu yerlerde erozyon riskini de arttırmaktadır (Barrera et al. 2018; Mohajane et al. 2021). Yer yüzeyinin sıcaklığını normal olmayan şekilde arttırarak topraktaki canlıları yok etmektedir. Ayrıca yangın sırasında çıkan duman ile atmosfere kirletici kimyasal bileşikler karışmaktadır. Bu kimyasal bileşikler küresel karbon dengesini ve hava kalitesini etkilemektedir (Zhang and Kondragunta 2008).

Orman yangınlarında; bitki türüne ve yoğunluğuna, yanan maddenin nem içeriğine, yakıcıların kimyasal birleşimine ve yapısına, yanma derecelerine bağlı olarak atmosfere karışan önemli kimyasal bileşikler; boyutu 10 mikrometreden (μm) küçük partikül maddeler ($PM_{10}$), boyutu 2.5 μm'den küçük partikül maddeler ($PM_{2.5}$), karbon monoksit (CO), karbon dioksit ($CO_2$), azot oksitler (NOx), metan ($CH_4$), hidrokarbonlar, uçucu organik bileşikler (UOB), amonyak ($NH_3$), peroksitler, klorin ve bromin bileşikleri ile bazı kükürt bileşikleri (SOx) olarak sıralanabilir (Dempsey 2013; Kim and Sarkar 2017; Barrera et al. 2018; Zafer vd. 2019; Velde et al. 2021). Yangın sonucunda oluşan bu duman emisyonu, bölgesel çapta hava kirliliği, küresel çapta iklim değişikliği etkilere sahiptir (Noyes et al. 2020). Buna ek olarak, atmosfere karışan NOx ve UOB'ler daha sonra ozona ($O_3$) dönüşerek troposferik $O_3$'un artmasına sebep olmaktadır (Kim and Sarkar 2017). Atmosferdeki kirliliğin artmasıyla atmosferde

biriken parçacıklar ve bileşikler daha fazla güneş ışınını tutarak atmosferde ısı artışına da sebep olmaktadır (Mohajane et al. 2021).

Orman yangınları, yangının olduğu alanda yer yüzey sıcaklığını (YYS) etkilemektedir (Zhang et al. 2020). Yüzeyin dinamik, termal, hidrolojik gibi özelliklerinde değişimler yaratarak arazi örtüsünü farklılaştırır (Hernandez et al. 2015). Örneğin; yangın sonrasında yüzeyin rengi koyulaştığı için güneş ışınlarını daha çok emer ve yer yüzeyinin daha çok ısınmasına neden olur. Bunun yanında topraktaki nem buharlaştığı için de toprakta kuruluk meydana gelir (Hernandez et al. 2015).

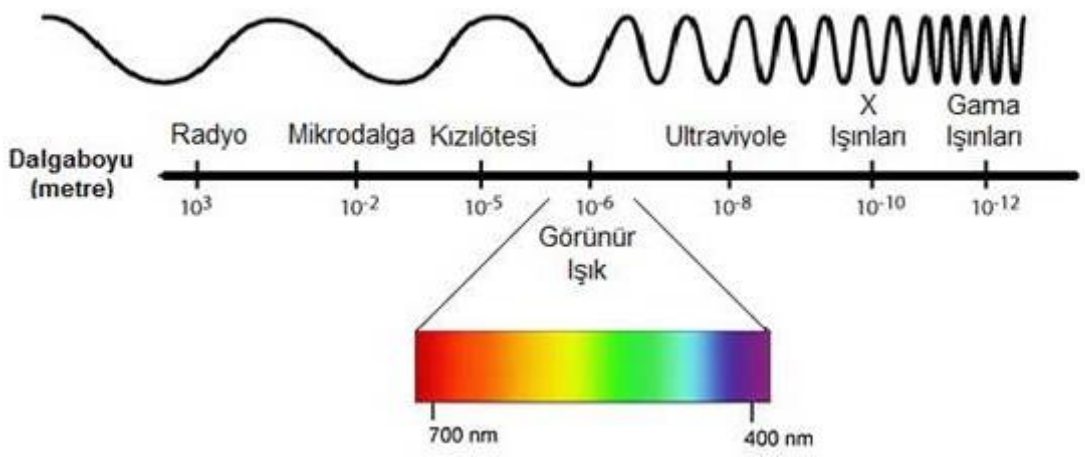
Orman yangınları sonucu ortaya çıkan hava kirliliği, insanlar üzerinde çeşitli sağlık sorunlarına da neden olmaktadır. Uzun vadede solunum ve dolaşım yolu hastalıkları görülme riskini arttırmaktadır. Orman yangınları olan bölgelerde özellikle solunum sıkıntıları ile hastaneye yatışlar, acil servis ziyaretlerinde de artışlar görülmektedir (Yao and Henderson 2014; Drooge et al. 2016; Kim and Sarkar 2017).

## 1.2. Uzaktan Algılama

Gelişen teknoloji ile doğadaki ve uzaydaki çeşitli bilinmezlikler, olayları anlık olarak takip edip, onlar hakkında bilgi sahibi olabilmek adına uzaktan algılama teknikleri kullanılmaktadır. Uzaktan algılama; herhangi bir cisim, alan veya olayı fiziksel temas olmaksızın bir sensör/algılayıcı aracığıyla incelemek ve onlar hakkında bilgi toplayıp bilgi edinilmesi tekniğidir. Uzaktan algılama sistemlerinde bir hedef, bir enerji kaynağı, bir iletim yolu ve bir algılayıcı bulunmaktadır (Lillesand et al. 2018).

Uzaktan algılanan veri, kuvvet dağılım farklılıkları (yer çekimi ölçer aygıtının sağladığı veri), ses dalga dağılımı (sonar sistemlerin sağladığı veri) ya da elektromanyetik enerji dağılımı (optik uydu görüntü alıcısının sağladığı veri) gibi şekillerde ortaya çıkabilir. Uzaktan algılama ilgilenilen konu hakkında değerli bilgiler sağlar ve sorunlar hakkında çözümleri oluşturmak için kritik bir araçtır (Lechner et al. 2020).

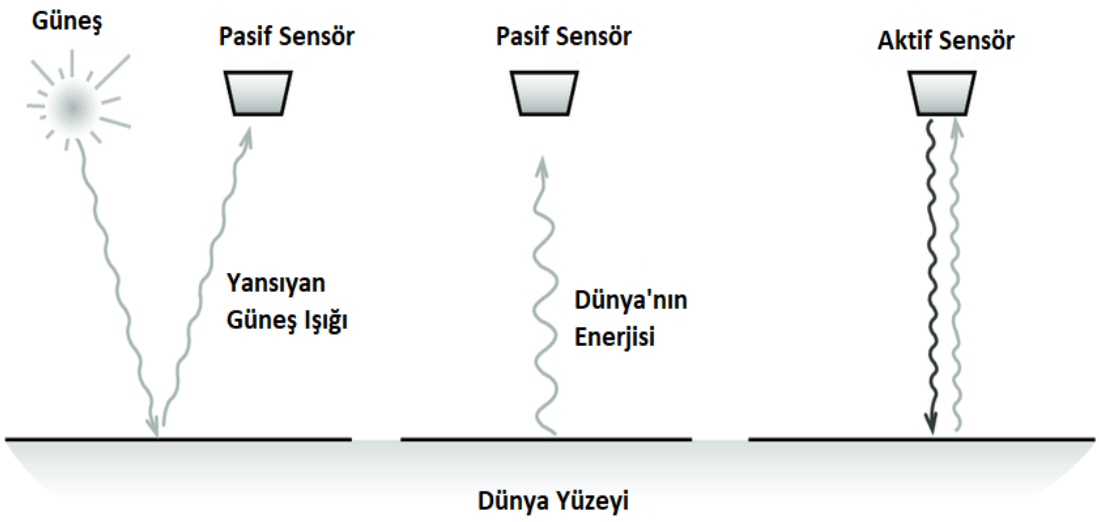
Elektromanyetik enerjinin kullanıldığı uzaktan algılamada; Güneş gibi ışık kaynağından hedefe gönderilen elektromanyetik ışının algılayıcıya yansıyan kısmından gözlem konusuyla alakalı bilgi elde edilir. Güneş'ten gelen elektromanyetik enerji, içinde çeşitli dalga boyu sınıfları içerir. Bu dalga boyu sınıfları içerdiği özellikler sebebiyle uzaktan algılamada farklı konular için kullanılmaktadır. Örneğin; orta kızıl ötesi ve termal kızıl ötesi dalga boyları çoğunlukla gözlem konularının termal özelliklerini araştırmak için kullanılırken görünür bölgede arazi değişimi konuları ele alınabilmektedir (Lillesand et al. 2018).




**Şekil 1.3.** Elektromanyetik spektrum (Canlı Dershane 2022)

Bu uzaktan algılama türünde kullanılan enerji kaynağına göre iki çeşit sistem bulunmaktadır. Bunlar;

a) Pasif uzaktan algılama sistemleri; güneş gibi enerji kaynaklarından gelen ışınlarını algılayan sistemler,
b) Aktif uzaktan algılama sistemleri; kendi enerji kaynaklarını kullanarak gözlem konusuna ışın yollayan sistemlerdir (Lillesand et al. 2018).




**Şekil 1.4.** Aktif ve pasif uzaktan algılama sensörleri (Sourav 2017'den değiştirilerek alınmıştır.)

Pasif uzaktan algılama sistemlerine en basit örnekler insan gözü, fotoğraf makinesi ve görünür bölgede görev yapan uydular örnek verilebilir. Aktif uzaktan

algılama sistemlerinde ise kendi enerji kaynakları devreye girdiği için özellikle güneş ışığına ihtiyaç duyulmadan algılama yapılabilmektedir (Lillesand et al. 2018).

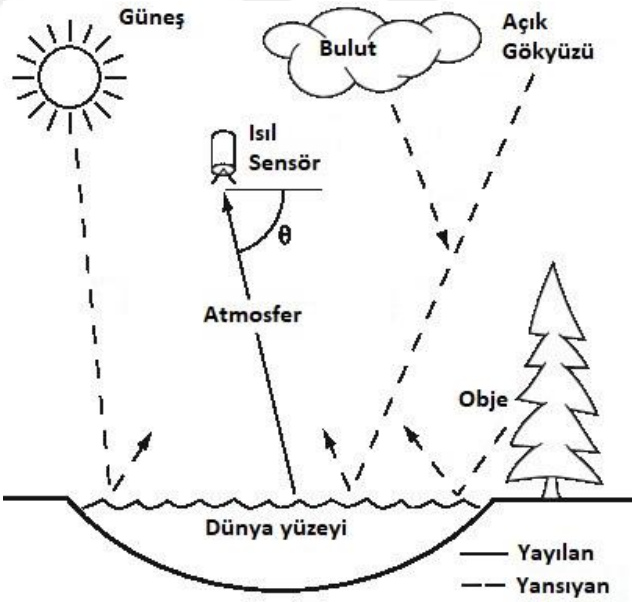
Elektromanyetik enerjinin kullanıldığı uzaktan algılama teknikleri ile tarımsal uygulamalar, şehir ve bölge planlama uygulamaları, yaban hayatı ve ekolojik uygulamalar, jeolojik ve arkeolojik uygulamalar yapılabilmektedir (Lechner et al. 2020). Ayrıca çevre kirliliği takibi ve değerlendirilmesinde de yardımcı olmaktadır. Örneğin; bir gemi kazası sonucu gemilerden denize sızan yakıt ve atık sıvıların takibini yapmak için birçok çalışmada uydu görüntüleri kullanılmıştır (Lillesand et al. 2018).

Yangınların atmosferde ve yeryüzündeki etkilerini araştırmak için kullanılan uydudan uzaktan algılamanın başarısı yapılan birçok çalışmada görülmektedir. Sağladığı süreklilik, sorunu zamanında tespit etme, yüksek çözünürlüklü görüntüleme gibi avantajlar ile çözüm bulmada ve takipte yerden gözlemlere göre etkilidir (Carlo et al. 2015; Sofowote and Dempsey 2015; Kim and Sarkar 2017; Smiroglia et al. 2020; Mohajane et al. 2021). Bu tez çalışmasında hava kalitesini araştırmak için kullanılan uydu görüntüleri havada bulunan gaz ve partikül maddelere çarpıp yansıyan ışınları algılayan pasif uzaktan algılama sistemidir. Yer yüzey sıcaklığını algılamak için kullanılan uydu ise yine Güneş'ten gelen ışınlarının belli bir kısmını soğurup geri salınarak ortaya çıkan ısıl enerjiyi algılayan pasif bir sistemdir.

## 1.3. Yer Yüzey Sıcaklığı

Yeryüzü cisimlerinin farklı yansıtma özelliklerine benzer olarak cisimlerden yayılan ısıl ışınım özellikleri ile de cisimleri birbirinden ayırmak mümkündür. Algılanan ısıl enerji üç birleşene ayrılabilir:

- Cisimden doğrudan yayılan enerji,
- Atmosferden gelip cisimden yansıyan enerji,
- Cisimle hiçbir bağlantısı olmadan atmosferden yayılan enerji (Sunar 2018).




**Şekil 1.5.** Termal uzaktan algılama sensörü (Torgersen et al. 2001'den değiştirilerek alınmıştır.)

Bitki örtüsü sıcaklığı yaprakların alan genişliği ve bitkinin terleme oranına bağlı olarak değişim gösterir. Toprağa göre daha karmaşık ısıl özelliklere sahiptir. Fotosentez yaparken sıcaklığı artan bitki ısıl bölgede ışıma yaparken, yaprakları ile terleme yaparak da sürekli yutulma yapar (Sunar 2018).

Toprağın ısıl kızıl ötesi bölgedeki davranışı, toprağın su içeriğine göre şekillenir. Su iyi bir yutucu ve ışınlayıcı olduğu için su içeriği fazla olan toprak buharlaşması sebebiyle soğuyarak ışınımı az yapacak, kuru toprak ise nemli toprağa göre daha fazla ışıma yapacaktır (Sunar 2018).

Su kütleleri iç konveksiyona sahip olduğu için gece-gündüz değişiminde daha homojen görünecektir. Isıl görüntülerde kara parçalarına göre gündüzleri daha soğuk görünürken geceleri daha ılık görünecektir (Sunar 2018).

Atmosfer ise içerdiği maddeler ve parçacıklar, meteorolojik koşullar, anormal yeryüzü ısıl aktiviteleri (orman yangını gibi ) gibi durumlar ile yutulum ve ışınım yapar. Örneğin; bir orman yangının olduğu bölgenin yakınındaki atmosfer katmanında ısınma artacaktır. Atmosferin alt katmanlarından yayılan enerji, üst katmanlarca yutulup yeniden yayınlandığı için ısıl ışınım da oldukça karmaşıktır (Sunar 2018).

Yer yüzey sıcaklığı (YYS), üzerinde yaşadığımız dünya yüzeyi ile atmosfer arasındaki etkileşimin önemli bir göstergesidir (Ma vd. 2021). YYS, kentsel ısı adaları anomalisi, jeotermal alanlar, çevresel izleme, hidroloji, tarım, iklim değişikliği gibi çalışmalarda kullanılan bir parametredir (Li et al. 2013; Phan and Kappas, 2018). YYS; su, enerji ve $CO_2$'in kara yüzeyindeki dengede kalmasından sorumlu fiziksel olayları kontrol eden önemli bir parametredir (Stoyanova et al. 2022). Bitki örtüsü, topoğrafya ve toprak gibi arazi yüzeyi özelliklerinin güçlü heterojenliği nedeniyle YYS hızla değişebilmektedir. Bu nedenle ayrıntılı şekilde mekânsal ve zamansal örneklemeler ve ölçümler gerektiren bir konudur (Li et al. 2013). Sıklıkla olmasa da yangının verdiği zararı değerlendirmek için kullanılmıştır. Yangının hemen ardından yangın alanının yüzeyinde sıcaklık artışı olduğu çalışmalarda gösterilmiştir (Quantino et al. 2015). Ayrıca yangın oluşumunu izlemek için de kullanılabilir olduğu bilinmektedir (Maffie et al. 2021).

Yer yüzey sıcaklığı ölçümlerinde yerden ölçümler gibi uydudan uzaktan algılama yöntemleri de kullanılmaktadır. Fakat YYS'nın mekânsal ve zamansal ölçekteki hızlı değişimleri nedeniyle, yerden ölçümler yetersiz kalmaktadır (Li et al. 2013; Phan and Kappas 2018). Yüksek mekânsal kapsama ve çözünürlük, düşük maliyet ve süreklilik gibi avantajlara sahip olan uydudan uzaktan algılama yöntemleri bölgesel ve küresel ölçekte YYS elde etmek için daha verimli bir yöntemdir (Phan and Kappas 2018; Ma et al. 2021). YYS gözlemlemek için çoğunlukla MODIS (günlük olarak 1 km çözünürlükte görüntü sunmaktadır) kullanılsa da bazı çalışmalarda Landsat (100 m çözünürlükte görüntü sunmaktadır) ve Sentinel 3 SLSTR (2 güne bir, 1 km çözünürlükte görüntü sunmaktadır) gibi uydular kullanılmaktadır (Phan and Kappas 2018).

## 1.4. Hava Kalitesi ve Hava Kirliliği

Dünyamızı çevreleyen ve uzayla yeryüzü arasında sınır gibi duran gaz küre atmosfer, katı sıvı ve gaz maddelerden oluşmaktadır. Atmosferi oluşturan gazların karışımına hava denir. Temiz bir atmosferdeki kuru havanın ana bileşenleri arasında;

- %78 Azot,
- %21 Oksijen,
- %1'lik kısımda ise Argon, Karbondioksit, Neon, Helyum gibi asal gazlar, iz miktarda da su buharı, Metan, Amonyak gibi bileşikler bulunmaktadır (Müezzinoğlu 2005).

Kentleşme ve sanayileşmenin beraberinde getirdiği çevre kirliliği ile insanların bilinçsiz hareketleri nedeniyle meydana gelen doğa tahribatları dünya ekosistemlerini değiştirmektedir. Kullanılan kötü kalitedeki yakıtların yanması sonucu atmosfere karışan gazlar, doğada çözünmeyen maddelerin kullanılması ve doğaya atılması, ağaçların bilinçsiz kesilmesi çevre kirliliğini arttırmıştır. Bu çevre kirliliğinin sonucu ise, okyanuslarda artan atık maddelerin okyanus ekosistemine zarar vermesi, topraktaki zararlı maddelerin artışı ile tarıma ve topraktaki canlılara zarar vermesi veya atmosferde canlıların sağlığına zararlı gazların ve partiküllerin artması gibi şekillerle kendini göstermektedir(Müezzinoğlu 2005).

Kirleticilerin havaya karışarak ortaya çıkardığı hava kirlenmesi olayında en az bir kaynak (baca gibi), bir taşıyıcı ortam (atmosfer gibi), bir alıcı (insan, ağaç, inşaat demiri vb. canlı ve cansız varlıklar) bulunur. Alıcı tarafından algılanan dış hava kompozisyonuna hava kalitesi denir. Bu hava kalitesinin alıcının isteklerine göre olmasının gerekliliği hava kalitesi kriterlerini oluştururken bu kriterlerin yasal hali hava kalitesi standartları olarak bilinir. Bu standartların bir saat, bir gün, bir yıl gibi belli süreler boyunca aşılmaması gereken sınır değerlerine de hava kalitesi sınır değerleri denir (Müezzinoğlu 2005).

Ülkemizde, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın geliştirdiği hava kalitesi indeksi ve ülkemiz standartlarına göre düzenlenen 06.06.2008 tarihli ve 26898 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği ile hava kalitesi indeksi Çizelge 1.1'deki gibidir.

**Çizelge 1.1.** Ulusal hava kirleticileri sınır değerleri

| Kirletici | Ortalama Süre | Ulusal sınır Değerleri (µg/m$^3$) |
|---|---|---|
| **$PM_{10}$** | Günlük | 50 |
| | Yıllık | 40 |
| **$SO_2$** | Saatlik | 350 |
| | Günlük | 125 |
| | Yıllık | 20 |
| **$NO_2$** | Saatlik | 200 |
| | Yıllık | 40 |
| **NOx** | Yıllık | 30 |
| **CO** | 8 Saatlik Ortalama | 10000 |
| **$O_3$** | 8 Saatlik Ortalama | 120 |

Hava kirliliği de, doğal veya antropojenik şekilde bir veya birden fazla maddenin canlı sağlığını, cansız varlıkların yapısını etkileyecek düzeyde atmosferdeki doğal konsantrasyonundaki miktarından fazla bulunması sonucu ortaya çıkar. Temiz bir atmosfer ortamında havada katı ve sıvı olarak yaklaşık 100 mikrondan daha küçük boyutlarda atmosferik partikül bulunurken, $10^{-4}$ ile 10 mikron arası büyüklüğe sahip organik ve inorganik partiküller kirletici olarak adlandırılır (Müezzinoğlu 2005). Bu partiküller arasında; azot oksitler, tamamlanmamış yanma reaksiyonları sonucu ortaya çıkan organik partiküller, karbon monoksit, sülfür oksitler, radyoaktif bileşikler gibi maddeler yer almaktadır (Müezzinoğlu 2005). Ayrıca atmosfere erişimine bağlı olarak da iki sınıfa ayrılırlar. Bunlar;

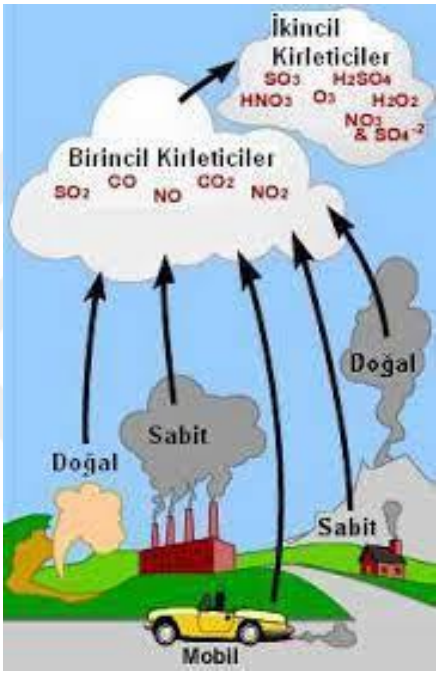
**a)** Birincil kirleticiler: Bu tür kirleticiler kaynaktan direkt olarak atmosfere salınırlar ve bir değişime uğramazlar (Müezzinoğlu 2005).

Birincil kirleticiler şu şekilde sınıflandırılabilir;

- Partikül maddeler (PM): Atmosferde asılı kalan sıvı veya katı taneciklerdir. Havadaki miktarı artarak sis, duman gibi olaylara neden olmaktadır. Havadaki partikül madde kirliliğinin artmasıyla görüş mesafesini kısalır, canlı sağlığına olumsuz etkileri ortaya çıkar.
- Kükürt oksitler (SOx): Havada oksijen ile hızla tepkimeye girerek kükürt trioksit ($SO_3$) ve sülfatlara dönüşür. Yağmur ve yoğuşmuş sis ile birleşerek havanın asitliğini arttırarak asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Kükürtçe zengin olan yakıtların çok fazla kullanılması sonucu ortaya çıkar. Solunum yollarında ağır hastalıklara sebep olmaktadır. Ağaçlarda yaprak içinde birikip aside dönüşerek yaprak dokularına zarar verir (Müezzinoğlu 2005).

- Azot oksitler: Kükürt dioksit ($SO_2$) ile birlikte asit yağmurlarına neden olur. Yakıtların yanma sürecinde ortaya çıkan azot monoksit (NO) ile bunun oksitlenme ürünü olan azot dioksit ($NO_2$) ile birlikte maruz kalındığında insanlarda, hayvanlarda veya bitkilerde direkt zehir etkisi yapmaktadır. Bitkilerde klorofil yapısını bozarak yapraklarda zarara neden olur.
- Karbon monoksit (CO): Renksiz ve kokusuz olması sebebiyle kolaylıkla fark edilemeyen bir kirleticidir. Uzun süre maruz kalındığında kandaki hemoglobin ile tepkimeye girerek hücreleri oksijensiz bırakır ve zehirlenmeye neden olur. Yanma proseslerinin tam olarak gerçekleşememesi sonucu ortaya çıkar.
- Diğer kirleticiler: Gaz haldeki hidrokarbonlar, UOB, $CH_4$, $O_3$, florürlü maddeler, kurşun gibi ağır metaller gibi maddeler de canlı sağlığına zararlı kirleticilerdir. Ağır metallerin klorofil sentezinde olumsuz etkisi vardır. $O_3$, bitkide klorofil yapısını bozmakta, yaprak alanını daraltıp yaprakların yaşlanmasını hızlandırarak yaprak kayıplarına neden olur (Müezzinoğlu 2005).

**b)** İkincil kirleticiler: Bu kirleticiler, kaynaktan çıktıktan sonra atmosferde başka maddeler ile tepkimeye girerek ortaya çıkan bileşiklerdir. Örneğin; sanayi bacalarından atmosfere yükselen $SO_2$ gazı birincil kirletici iken, $SO_2$'nin atmosferdeki su molekülü ile tepkimeye girerek oluşan sülfit veya sülfat partikülleri ikincil kirletici kategorisindedir (Sofuoğlu, A. ve Sofuoğlu, S. 2013; Tekin ve Helvacı 2014).




**Şekil 1.6.** Birincil ve ikincil hava kirliliği kaynakları (Zheleva vd. 2014'den değiştirilerek alınmıştır.)

Hava kirliliğinin sonucu olarak bölgesel ve küresel çapta çeşitli problemler ortaya çıkar. Fotokimyasal sis, asit yağmurları, ozon tabakasının incelmesi gibi problemler bölgesel çapta olabiliyor iken; sera gazları ve ozon tabakasının incelmesi sonuçları küresel olmaktadır (Müezzinoğlu 2005). Güneşten gelen zararlı ışınları bir filtre görevi görerek geri uzaya yansıtan ya da absorbe eden ozon tabakasının incelmesi sonucu canlılarda ölümcül veya kronik cilt hastalıkları görülmektedir. Sadece canlılar üzerinde etkisi değil cansız varlıklar üzerinde de etkisi bulunmaktadır. Örneğin; SOx gazları yağlı boyaların dış ortamda kuruma süresini arttırıp boyanın ömrünü azalttığı, metal yüzeylerdeki korozyonu arttırıp metal yüzeyin daha çabuk aşınmasına sebep olduğu bilinmektedir. Bunun yanında havadaki asitliği arttırarak asit yağmurlarına neden olup bitki örtüsü ve ormanları tahrip etmektedir. Atmosferin konsantrasyonunda doğal olarak bulunan ancak endüstriyel faaliyetler, fosil

yakıt kullanımının artması gibi sebeplerle miktarı artan $CO_2$, $O_3$, CO, $NO_2$, metan gibi gazlar, sera gazı etkisi yapar ve küresel olarak ortalama hava sıcaklıklarında artış meydana gelir. Bu sıcaklık artışı da uzun vadede küresel ısınmaya sebebiyet vererek iklimleri etkilemektedir (Sofuoğlu, A. ve Sofuoğlu, S. 2013).

Küresel ısınma ile birlikte değişen iklimlerin ve artan sıcaklıklar ile yağışlar azalmış ve bu da yazların daha sıcak ve kurak geçmesine neden olmuştur. Yaz aylarında azalan nem ile birlikte ormanlar tehdit altına girmiştir. Yıldırım düşmesi, yanardağ patlaması, yüksek sıcaklık gibi doğal nedenlerin yanında ormanlara atılan çeşitli plastik, cam malzemeler, sigara izmaritleri gibi insan kaynaklı nedenler de orman yangınlarına sebebiyet vermektedir. Çıkan bu orman yangınları sonucu sadece dünyanın akciğerleri yok olmamakta aynı zamanda atmosfere çeşitli gazlar ve partiküller karışmaktadır (Cuchiara et al. 2017; Chuvieco et al. 2019). Bu orman yangınları sonucu ortaya çıkan dumanlar, geniş zamansal ve mekânsal ölçeklerde etkiler meydana getirmesi ve iklim değişikliğine neden olmasının yanı sıra kısa vadeli bölgesel hava kalitesi sorunlarına da neden olan gaz ve aerosol bileşenlerince zengin karmaşık bir emisyondur (Noyes et al. 2020).

Hava kirliliğini ölçmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Ev, iş yeri gibi kapalı olan ortamlarda oluşan hava kirliliğini ölçmek için küçük el cihazlarını kullanabilirken, şehir, kırsal alan gibi büyük çaptaki dış ortamları da yine hava kalitesi izleme istasyonlarında kullanılan cihazlar, el cihazları ve uzaktan algılama teknikleri ile ölçülebilmektedir (Carlo et al. 2015). Özellikle orman yangınları sonucunda ortaya çıkan hava kirliliği için birçok uzaktan algılama ve hava kalitesi izleme istasyonları verileri kullanılmıştır.

Küresel ve bölgesel çapta bu kirliliklerin önüne geçmek adına devletlerin ve bireylerin aldıkları belirli önlemler bulunmaktadır. Devletlerin aldıkları önlemler arasında endüstriyel atıkların doğaya daha zararsız hale getirilmesi, geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılması, enerji tasarrufları, yenilenebilir enerji kaynaklarına teşvik gibi faaliyetler bulunurken; insanların birey olarak aldıkları önlemler de doğaya çöp bırakmamak, doğaya zararlı ürünleri kullanmaktan kaçınmak, kalitesi düşük yakıtları kullanmamak, yenilebilir enerji kaynaklarından yararlanmak gibi faaliyetler bulunmaktadır (Müezzinoğlu 2005).

## 1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Ormanların ve canlıların varlığını çeşitli şekillerde tehdit eden orman yangınlarının etkileri uzun zamandır araştırılan bir konudur. Bu tez çalışmasında, orman yangınların hava kalitesi ve yer yüzey sıcaklığı üzerindeki etkilerini araştırmak amaçlanmıştır. Bu kapsamda; 2021 yılı yaz ayında Türkiye'nin birçok ilinde orman yangınlarının hava kalitesine ve yer yüzey sıcaklığına nasıl bir etkisi olduğunu araştırmak için, 28 Temmuz-11 Ağustos tarihleri arasında Antalya ve Muğla illerinde

çıkan orman yangınları incelenmiştir. Bu bağlamda yangın öncesi, yangın zamanı ve yangın sonrasındaki hava kalitesini incelemek için Sentinel 5P Troposferik İzleme Cihazı (TROPOMI) uydusu görüntüleri ve yer yüzey sıcaklığını incelemek için de Sentinel 3 Deniz ve Kara Yüzey Sıcaklığı Radyometresi (SLSTR) uydusu görüntüleri kullanılmıştır.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı programı kapsamında Antalya ilinde bulunan hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen hava kalitesi verileri ile Sentinel 5P TROPOMI uydusu verileri arasındaki ilişkiyi incelemek için Pearson korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Sentinel 3 SLSTR uydusu görüntüleri ile de literatürde orman yangınlarının yer yüzey sıcaklığına etkisinin analizi için çoğunlukla kullanılan Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi (MODIS) Terra uydusunun Günlük Arazi Yüzey Sıcaklığı/Emissivite v6.1 görüntüleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak Pearson korelasyon analizi ile incelenmiştir.

# 2. KAYNAK TARAMASI

Orman yangınlarını incelemek, etkilerini gözlemlemek ve zararlarını engellemek için uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaları şu şekilde sınıflandırabiliriz:

- Yangın risk haritalarının oluşturulması,
- Yangın için yakıt haritalarının oluşturulması,
- Aktif yangın tespiti,
- Yanmış alan tespiti
- Yangının verdiği zararların tespiti,
- Yanma şiddeti değerlendirmesi,
- Yangın sonrası vejetasyon iyileşmesi takibi vb. (Szpakowski and Jensen 2019).

Literatüre bakıldığında orman yangınları sonucu ortaya çıkan yangın dumanı ve emisyonları atmosfere karışarak hava kalitesini düşürdüğü birçok çalışmada ortaya konmuştur. Orman ekosistemlerinde bitkilerin yanması sonucu ortaya çıkan partikül maddeler, siyah karbon, sera gazları gibi hava kirleticilerinin konsantrasyonları hava kalitesi izleme istasyonları ve uzaktan algılama platformları ile gözlemlenerek oluşturdukları hava kirliliği sonuçları incelenmiştir. Uzaktan algılama yöntemleri arasında uçaklar, insansız hava araçları ve uydularla yapılan gözlemler bulunmaktadır. Yangın dumanı gözlemlerinde multispektral sensörlerin yanında radarlar ve lidarlar da kullanılmıştır (Drooge et al. 2016; Szpakowski and Jensen 2019). Uydulardaki sensörler, teknolojinin gelişmesi ile birlikte hava kirliliğinin sebeplerini ve sonuçlarını araştırmak için özelleştirilmiştir ve kullanılmaya başlanmıştır (Chiang and Ulloa 2019; Szpakowski and Jensen 2019). Atmosfer kimyasını incelemek, hava kirleticilerin miktarlarındaki değişimlerin gözlemlenmesi için önceden yerden hava kalitesi izleme istasyonları veya el cihazları kullanılırken son yıllarda uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Özellikle radarlarda HV ve VH polarizasyonlarının, HH ve VV polarizasyonlarına göre bitki yapısı görüntülemede daha başarılı olduğu bilindiği için orman yangınları sonrası yanan alan tespitinde kullanılmaktadır. Optik sensörlerin, dalga boyları nedeniyle buluttan geçememesi ve radar sensörlerinin dalga boylarının buluta ve dumana nüfuz etmesi yangın sırasında değerlendirme yapmak için radar sensörünün kullanılabilirliğini desteklemektedir (Addison and Oommen 2018; Chuvieco et al. 2019). Ayrıca uzaktan algılama platformları ile istasyon verileri arasındaki ilişkiler için istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir.

## 2.1. Orman Yangınlarının Hava Kalitesine Etkileri

Orman yangınlarının ekosistemlere verdiği zararların yanında bölgesel ve küresel çapta atmosfere salınan yangın dumanları ile hava kirliliğe sebep verdiği de bilinmektedir (Knorr et al. 2017). Literatüre bakıldığında bu konuda yangın zamanı oluşan hava kirliliği, yangın sonrası oluşan hava kirliliği, yangında salınan hava kirleticilerin meteorolojik olaylar ile yangın çevresine ve uzak bölgelere taşınarak

oradaki hava kalitesine etkilerinin araştırılması gibi birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Hava kalitesi izleme istasyonları verileri ile yapılan çalışmalar çoğunlukta bulunurken, son yıllarda ilerleyen uzaktan algılama teknolojisi ile beraber çalışmalarda da kullanılmaya başlanmıştır.

Orman yangınlarında açığa en çok çıkan hava kirleticilerinin PM olduğu belirtilmektedir (Wu et al. 2006). Bunun yanında karbon içerikli siyah karbon, CO, ve $CO_2$ gibi parçacıklar atmosfere karışmıştır. Azot kaynaklı bileşikler NO, $NO_2$ gazlarının konsantrasyonlarında artış olduğu görülmüştür. Bu kirleticilerin yanında $SO_2$, $O_3$, UOB gibi kirleticiler de atmosfere karışmaktadır. $NO_x$ gazları genellikle fosil yakıt kullanımı, yıldırım düşmesi ve biyokütle yanmaları sonucu ortaya çıkan hava kirleticileridir. $NO_2$ gazı doğadaki azot döngüsüne katılır ve atmosferik oksidasyonu etkilemektedir (Krotkov et al. 2016). Carlo et al. (2015), Kim and Sarkar (2017), Wu et al. (2018) çalışmalarında bahsedildiği gibi; $NO_x$ ve UOB'ler tepkimeye girerek $O_3$ oluşturur ve böylece troposferik $O_3$ konsantrasyonunu arttırmaktadır. Bitkilerin kimyasal içeriklerindeki farklılıklar, yangınların etkilediği alan büyüklüğüne, yanan ormanların miktarına göre bu kirleticilerin konsantrasyonlarında farklılıklar meydana gelmektedir (Bravo et al. 2002). Orman yangınları sonucu ortaya çıkan partikül madde emisyonları incelemesinde özellikle insan sağlığına zararlı olduğu bilinen $PM_{10}$ ve $PM_{2,5}$ konsantrasyonlarında artış olduğu görülmüştür (Dempsey 2013; Drooge et al. 2016). Bu yangınlar sonucu ortaya çıkan emisyonların sadece insan sağlığı üzerinde değil yine ormanlar üzerinde de etkisi vardır. Sparks and Wagner (2021) çalışmasında belirtildiği üzere orman yangınları sırasında yanan dönemde incelenen hava ortamından, yangının olmadığı döneme farkla Cu, Zn, Sn, Pb gibi elementlerin olduğu da görülmektedir. Tekin ve Özdemir Helvacı (2014) çalışmasına göre Cd, Zn, Pb gibi bu ağır metallerin ağaçlarda birikmesi sonucu yapraklarda klorofil sentezini olumsuz etkilediği ve $SO_2$'nin iğne yapraklı ağaçların iğne ucundaki hücrelerde bozulmalara neden olduğu belirtilmiştir. Yangınlar sonucu oluşan $NO_x$, PM, $O_3$ emisyonlarının da orman ekosistemleri üzerindeki etkisine bakıldığında ağaçlarda aşındırıcı etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Dempsey (2013) çalışması, 2010 Haziran ayı ortalarında yıldırım düşmesi sonucu Saskatchewan'da çıkan orman yangınının 2.500 km uzaklıktaki Ontario'da ani $PM_{2,5}$ artışının sebebi araştırılmıştır. Ontario'daki bu kirlilik için hava kalitesi izleme istasyonu tarafından ölçülen $PM_{2,5}$ verilerini kullanmıştır. Bu verilerde 17-18 Haziran arası ani artışa sebep olan olayın Saskatcahewan'daki orman yangını olduğu tespit edilmiştir. Bu yangın sonucu oluşan dumanını Ontario'ya meteorolojik ve atmosferik taşınma ile geldiği görülmüştür. Bravo et al. (2002) çalışmasında ise 1992-1999 yılları arasında en fazla orman yangınının çıktığı 1998 yılında Meksika'daki orman yangınlarının hava kalitesine etkisine bakılmıştır. Hava kalitesi için $PM_{10}$, toplam askıda partikül (TAP) konsantrasyonlarının US EPA emisyon faktörlerine göre hesaplanmış halleri ile Meksika Üniversitesi hava kalitesi izleme istasyonundan TAP ve

beş farklı hava kalitesi izleme istasyonundan $PM_{10}$ verileri kullanılmıştır. 1991-1992 yıllarında $PM_{10}$ konsantrasyonu ortalama 260 $\mu g/m^3$ altında, 1993-1996 yıllarında bu değerin 260 $\mu g/m^3$'e biraz daha yakın olduğu görülmüştür. 1992-1999 arasın Ocak-Haziran döneminde $PM_{10}$ ve TAP konsantrasyonlarının yüksek, Temmuz-Kasım döneminde düşük olduğu görülmüştür. Yangınların en fazla olduğu 1998 yılında, bir önceki yıla göre $PM_{10}$'da %200-%300'lük bir artış olduğu belirlenmiştir. TAP için hesaplanan veriler ile istasyon verileri arasındaki korelasyon 5 istasyon verisi için çok iyi çıkarken bu sayı $PM_{10}$ için 3 istasyon ile sınırlı kalmıştır. Bo et al. (2020) çalışmasında ise 2017 yılında kuraklık ve yüksek sıcaklık nedeniyle İtalya'nın Po ve Piemonte ovalarında meydana gelen orman yangınlarının hava kalitesine etkisi incelenmiştir. 22 Ekim'de başlayan orman yangınları rüzgarların etkisi ile büyüyerek genişlemiş ve ortaya çıkan yoğun duman, yangın çevresindeki yerleşim yerlerinde nefes almayı güç hale getirerek görüş mesafesini düşürmüştür. 27 Ekim'de Torino'da yangın dumanı olduğu görülmüş ve aynı gün $PM_{10}$ konsantrasyonu en yüksek günlük değerine ulaşmıştır. Torino Politeknik kampüsündeki iki hava kalitesi izleme istasyonundan elde edilen $PM_{10}$, $PM_{2,5}$ ve $PM_1$ konsantrasyonları ile $PM_x$ değerleri oluşturulmuş ve 27 Ekim'de 334 $\mu g/m^3$, 28 Ekim'de 46 $\mu g/m^3$ ve yangın bittikten sonra 31 Ekim-2 Kasım arası 69 $\mu g/m^3$ olduğu görülmüştür. 28 Ekim'deki ani düşüşün sebebi rüzgarların hafiflemesi ve yangın bölgesinden Torino'ya duman taşınmasının durmasıdır.

Orman yangınları sonucu ortaya çıkan emisyon türünün arazi kullanımı, bitki örtüsü çeşidi ve yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceği de belirtilmiştir. Örneğin Akdeniz ikliminin hakim olduğu bölgelerde yoğun bulunan makilik alanların yanması sonucu $CO_2$, $CH_4$, $NO_x$ ve $SO_2$ gazlarının çoğunlukla salınacağı belirtilmiştir. Zafer vd. (2019) çalışmasında tarih ve hava kirleticisi bakımından genel bir çalışma yapılmıştır ve 1988-2017 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen orman yangınları sonucu ortaya çıkan hava kirleticileri incelenmiştir. Her yıl ortalama 2.000 orman yangınının meydana geldiği belirtilen çalışmada, bu yangınlar sonucu yılda havaya ortalama olarak 2.026 ton $NO_x$, 57.573 ton CO, 5.331 ton $CH_4$ dışı uçucu organik bileşik, 405 ton $SO_x$, 459 ton $NH_3$, 27.187 ton toplam askıda partikül, 17.592 ton $PM_{10}$, 14.393 ton $PM_{2,5}$ ve 1.295 ton siyah karbon karışmaktadır.

Kim and Sarkar (2017) çalışmasında Atmosferik İnfrared Sireni (AIRS) verileri kullanılarak 2003-2015 dönemi Amerika kıtasında çıkan orman yangınları sonucu oluşan hava kirliliği incelenmiştir. Çalışmada $O_3$, $CH_4$, CO, $H_2O$ sera gazlarının çeşitli basınç seviyelerindeki konsantrasyonları incelenmiştir. Bunun sonucunda, kış ve ilkbaharda çıkan orman yangınları sonucu oluşan hava kirliliğinin gezegen sınır tabakasına kadar ulaştığı ve yaz aylarında çıkan orman yangınlarının daha çok yüzeyin 4 km üstüne kadar gözlemlendiği görülmüştür. $CH_4$ ve $O_3$ gazlarının CO ve $H_2O$'ya göre daha uzun süre havada kaldığı görülmüştür. Mendez-Espinosa et al. (2019) çalışmasında 2006-2016 yılları arasında tarımsal ve çiftliksel faaliyetlerin olduğu Orinoco bölgesine 200-400 km uzaklıkta bulunan Bogota, Medellin ve Bucaramanga

şehirlerinin hava kalitelerine bakılmıştır. Orinoco bölgesinde çıkan yangınların şehirlerin hava kaliteleri üzerine etkileri için Bogota şehrindeki 8, Medellin şehrindeki 3 ve Bucaramanga şehrindeki 1 hava kalitesi izleme istasyonundan günlük olarak CO, $PM_{10}$ ve $PM_{2,5}$ konsantrasyon verileri alınmıştır. 2006-2016 yılları arasındaki yangın sayıları da MODIS uydusunun aktif yangın veri setinden elde edilmiştir. Yıl bazında ortalama 55.000 yangının çıktığı ve çoğunlukla Ocak, Şubat ve Mart aylarında olduğu görülmüştür. $PM_{10}$, $PM_{2,5}$ ve CO konsantrasyonları için Aralık, Ocak ve Şubat aylarında en yüksek; Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında en düşük olduğu görülmüştür. Bunun yanında $PM_{10}$ konsantrasyonu ve yangın sayıları arasında en yüksek korelasyon yine Ocak, Şubat ve Mart aylarında çıkmıştır. Aynı aylarda CO ve yangın sayıları arasındaki korelasyon da en düşük olduğu görülmüştür.

Magro et al. (2021) çalışmasında ise Sentinel 5P TROPOMI uydusunun CO ve $CH_4$ konsantrasyon görüntüleri kullanılmıştır. Bu çalışmada uydu görüntüleri ile hava kalitesi izleme istasyonları arasındaki korelasyona bakılmış ve Portekiz için bu iki veri seti yüzde elli oranında benzer olduğu görülmüştür. Savenets et al. (2020) çalışmasında Sentinel 5P TROPOMI uydusunun CO ve $NO_2$ ürünleri kullanılmıştır. Uydu görüntülerinin hava kalitesi izleme istasyonlarından daha iyi tanımlama yaptığı görülmüştür. Buna benzer olarak Soleimany et al. (2021) çalışmasında da Litvanya'nın Alytus şehrinde çıkan orman yangınında, Kaunas şehrinin hava kalitesini araştırmak ve değerlendirmek için Sentinel 5P TROPOMI uydu verilerine ve hava kalitesi izleme istasyonu verilerine başvurulmuştur. Bunun için 14-25 Ekim 2019 dönemi için $SO_2$, $NO_2$ ve aerosol kirleticileri konsantrasyon verileri elde edilmiştir. Çalışma Google Earth Engine platformu kullanılarak yapılmıştır. Platform, hızlı ve pratik olarak istenilen verileri analiz edip işlemeye olanak tanıması ile kolaylık sağlamaktadır. Uydu görüntüleri platform üzerinde açılıp konsantrasyon değerleri elde edilmiştir. Çalışma sonunda; istasyon verileri ve uydu verileri arasında güçlü ve kabul edilebilir korelasyonlar elde edilmiştir. Bu da Kaunas şehri hava kalitesini, Sentinel-5P TROPOMI uydusu kullanılarak izlenebileceğini göstermiştir. Ialongo et al. (2020)'de Sentinel 5P TROPOMI ve yer bazlı hava kalitesi izleme istasyon verileri arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Bunun için, Nisan-Eylül 2018 döneminde Helsinki'de meydana gelen orman yangını için elde edilen $NO_2$ uydu ve istasyon verileri incelenmiştir. İki veri seti arasındaki korelasyon bu yangın için 0,68 olarak bulunmuştur. Ayrıca iki veri setinde de hafta içleri $NO_2$ konsantrasyonda artış, hafta sonları düşüş gibi haftalık benzer trendler görülmüştür. Sirimongkonlertkul and Phonekeo (2012) çalışmasında ise MODIS görüntüleri ve hava kalitesi izleme istasyonları verileri kullanılmıştır. MODIS'ten alınan aerosol optik derinliği verileri ve istasyonlardan alınan $PM_{10}$ verilerinin 2007-2010 arası dönemde benzer trendler gösterdiği görülmüştür. Özellikle uydunun çalışma alanı üzerinden geçiş saatleri dikkate alınarak istasyonlardan veri temin edilmiştir. 2007 yılı için iki veri seti arasındaki korelasyon değeri 0,79 olarak çıkarken 2009-2010 yılları Şubat-Nisan dönemleri ve 2011 Şubat dönemi verileri arasındaki korelasyona bakıldığında bunun 0,32 olduğu görülmüştür. Yin et al. (2019)

çalışmasında Kuzeydoğu Çin'de Ekim-Kasım 2015 döneminde ortaya çıkan üç ayrı hava kirliliğinin sebepleri araştırılmıştır. 36 şehirdeki 167 hava kalitesi izleme istasyonundan $PM_{10}$, $PM_{2,5}$, CO, $NO_2$, $O_3$ ve $SO_2$ konsantrasyonları verileri ve MODIS uydusu aerosol optik derinliği görüntüleri elde edilmiştir. MODIS uydusunun aktif yangın görüntüleri incelendiğinde mahsul kalıntısı yanmaları noktaları elde edilmiştir. Birinci ve ikinci hava kirliliğinin direkt sebebi olarak mahsul kalıntısı yanmaları olduğu görülmüştür. Üçüncü hava kirliliği olayında mahsul kalıntısı yanmalarının çok etkisi olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca yangınlar ile $PM_{2,5}$ konsantrasyonu arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu, biri artarken diğerinin de arttığı görülmüştür. Uydu görüntülerinden elde edilen değerler ile istasyonlardan elde edilen değerler arasında da mekânsal olarak ciddi tutarlılık olduğu görülmüştür ve yangın dönemi istasyon verisinde olan eksikliğinin tamamlanmasına uydu görüntülerinden elde edilen değerler yardımcı olmuştur.

Vicente et al. (2014) çalışmasında 1999-2010 yılları arasında Meksika bölgesinde meydana gelen orman yangınlarından kaynaklı $CO_2$ emisyonları incelenmiştir. Buna ek olarak çalışmada yanan vejetasyonların türleri sınıflandırılmıştır. Yangınlarda en fazla zarar gören vejetasyon türlerinin ormanlar ve yağmur ormanları olduğu belirlenmiştir. Bu dönemde toplamda 86800 $km^2$ alanın zarar gördüğü belirtilirken yaklaşık 112 Tg (1 Tg=106 ton) $CO_2$'in atmosfere salındığı ölçülmüştür. Emisyonların hesaplanması, yangın noktalarının belirlenmesi, vejetasyon türlerinin sınıflandırılması için arazi kullanımı verileri için MODIS ve NOAA-AVHRR uyduları verilerinden yararlanılmıştır. Orman yangınlarının ekosistemlere zararlarının yanında turizmi etkilemesinden dolayı ekonomik zararlarına da dikkat çekilmiştir.

Wu et al. (2006) çalışmasında 2003 yılında Güney California'da meydana gelen orman yangınları öncesi, yangın sırası ve sonrasında $PM_{10}$ ve $PM_{2,5}$ konsantrasyonlarının değişimi incelenmiştir. Hava kalitesi izleme istasyonları verilerinin üç güne bir veya altı güne bir alınması, eksik verilerin olması ve istasyonların California bölgesine düzgün bir şekilde dağılmaması sebebiyle orman yangını analizi için yeterli bulunamamıştır. Bu nedenle eksik olan veriler, havaalanı görüş verileri, meteorolojik veriler, duman bilgileri, MODIS Terra ve Aqua uydularına ait 250 m çözünürlüklü RGB görüntüler ve gerçek zamanlı yerinden gözlem verileri kullanılmıştır. Yangın zamanı dumansız, hafif dumanlı ve ağır dumanlı olarak üç kısma ayrılmıştır. Hafif dumanlı zamanda $PM_{10}$ 125 $\mu g/m^3$, $PM_{2,5}$ 75 $\mu g/m^3$, ağır dumanlı zamanda $PM_{10}$ 190 $\mu g/m^3$, $PM_{2,5}$ 90 $\mu g/m^3$ ölçülmüştür. Yangın olmayan zamanlarda ise $PM_{10}$ 40 $\mu g/m^3$, $PM_{2,5}$ ise 20 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Schneising et al. (2020) çalışmasında Kaliforniya'nın kuzeyinde ve Los Angeles-Ventura arasında 8 Kasım 2018 tarihinde başlayan orman yangınlarının hava kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bunun için, yüksek uzamsal ve zamansal çözünürlüklü, küresel kapsama özelliği olan Sentinel 5P TROPOMI uydusunun CO ürünü kullanılmıştır. Yangından dolayı oluşan dumanı görüntülemek için ise VIIRS uydusunun RGB görüntüleri

kullanılmıştır. CO uydu görüntülerinin doğruluğu için yer bazlı hava kalitesi ölçüm istasyonlarından alınan veriler kullanılmıştır. Çalışma sonucuna göre; CO için uydu görüntülerinin yüksek doğrulukta temsil ettiği ve çıkan orman yangınlarının CO konsantrasyonunu yükselterek hava kalitesini düşürdüğü belirlenmiştir.

Orman yangınları emisyonlarının sadece yangın alanında değil çevresindeki bölge hava kalitelerine de etkilerinin incelendiği çalışmalar da mevcuttur. Örneğin; Bravo et al. (2002) çalışmasında büyük yangınlardan dolayı yangın çevresine PM taşınması olabileceği söylenmektedir. Çevre bölgelerde de yangın dönemi sonrası hava kalitesinde düşüşler olduğu görülmüştür. Bunun sebebini açıklamak için çeşitli yöntemler kullanılarak yangın zamanı meteorolojik parametreleri özellikle rüzgar yönü ve rüzgar hızı parametreleri ve yangın bilgileri ile yangın dumanı hava hareketi modellemeleri oluşturularak incelemeler yapılmıştır. Drooge et al. (2016) çalışmasında Barcelona için lidar kullanılarak 19-24 Temmuz 2012 dönemi için $PM_1$ konsantrasyonu verileri elde edilmiştir. 23 Temmuz günü konsantrasyonda ciddi artış olduğu görülmüştür. Uydu görüntüleri ile oluşturulan hava-kütle transfer modeline göre, partiküllerin Barcelona'dan 120 km kuzeydoğuda Fransa-İspanya sınırına yakın bir bölgede 22 Temmuz günü meydana gelen orman yangınından geldiği görülmüştür. Portin et al. (2012) çalışmasında 2010 yılı 29 Temmuz-8 Ağustos döneminde, Finlandiya'nın doğusunda yaşanan hava kirliliğinin sebebi araştırılmıştır. Bunun için Puijo atmosferik ölçüm kulesi ve Kuiopo'daki Kasarmipuisto, Maaherrankatu and Tasavallankatu hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan verilere göre $PM_{10}$ konsantrasyonu 4-17 aralığından 40-76 aralığına, $PM_{2,5}$ konsantrasyonu 3-6 aralığında iken 34-48 aralığına çıktığı görülmüştür. Yangın dumanı şehre ulaştığı dönemde, $PM_{10}$ ve $PM_{2,5}$ konsantrasyonları istasyon verilerine göre 29 Temmuz ve 8 Ağustos tarihlerinde en yüksek seviyeleri görmüştür. Çok Açılı Absorpsiyon Fotometresi ile siyah karbonun yansıma değerleri elde edilmiştir. Siyah karbonun yansıması yangın dumanı şehre ulaştığında arttığı görülmüştür. Ayrıca $NO_x$, $SO_2$, CO ve $O_3$ konsantrasyonlarına yerden ölçümlerle bakılmıştır. $O_3$, CO, $NO_2$ ve $SO_2$ gazlarının konsantrasyonlarında artışlar olurken NO'de düşüş olduğu görülmüştür. FLEXTRA modellemesi ile hava kirliliğinin sebebinin yaklaşık 1.000 km uzaklıktaki Moskova yakınlarında o dönemde meydana gelen orman yangını olduğu belirlenmiştir. Yangın dumanının havada 1-2 gün seyahat etmiş olabileceği belirtilmiştir. Guan et al. (2020) çalışmasında 2016 yılı Kasım ayında Amerika kıtasının güneyinde meydana gelen orman yangınının $PM_{2,5}$ üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Bunun için 6-9 ve 13-16 Kasım tarihleri arasındaki Tennessee, Kentucky, North Carolina ve Georgia'daki $PM_{2,5}$ değerlerine bakılmıştır. İlk dönemde 9,6 $\mu g/m^3$'ten 42,5 $\mu g/m^3$'e, ikinci dönemde ise 10,9 $\mu g/m^3$'ten 26,1 $\mu g/m^3$'e yükseldiği görülmüştür. Ayrıca Meteoroloji Araştırma Tahmini ve CMAQ modelleri oluşturulmuştur. Bu modellere göre; 2013-2017 döneminde, Kasım 2016'da $PM_{2,5}$ konsantrasyonunda yangından kaynaklı %80 oranında ciddi bir artış olduğu görülmüştür. Mendez-Espinosa et al. (2019) çalışmasında Orinoco tarımsal ve çiftliksel faaliyet alanı çevresindeki Bogota, Medellin

ve Bucaramanga şehirlerinin hava kalitesine etkisini araştırmak için 2006-2016 yılları arasında geriye doğru hava-kütle hareket modellemesi HYSPLIT kullanılarak yapılmıştır. O döneme ait meteorolojik verilerin sadece Bogota için var olması sebebiyle sadece bu şehre bakılmıştır. Buna göre, Orinoco'daki yangınlardan Bogota'ya en fazla $PM_{10}$, $PM_{2,5}$ ve CO geldiği belirlenmiştir. Ayrıca yangın bölgesi ile çalışma alanı arasındaki mesafenin arttıkça çalışma bölgesine ulaşan konsantrasyonun azaldığı görülmüştür.

Witham and Manning (2007) çalışmasında Eylül 2002 ve Mayıs 2006 tarihlerinde İngiltere'deki $PM_{10}$ konsantrasyonundaki ani yükselmelerin sebepleri araştırılmıştır. Bunun için 5-14 Mayıs 2006 ve 7-16 Eylül 2002 tarihleri arasında sayısal atmosferik dağılım modelleme ortamı (NAME) Lagrangian modeli kullanılarak geri yönlü kirli havanın kaynağına bakılmıştır. İngiltere, Norveç, Danimarka ve Almanya'da bulunan 19 istasyondan alınan verilerde $PM_{10}$ konsantrasyonu çok yüksek çıkmıştır. MODIS uydusundan özellikle o dönemdeki yangın verilerine bakıldığında 1-10 Mayıs tarihleri arasında Rusya'da orman ve tarım yangınları olduğu görülmüştür. 11-13 Eylül 2002'deki yükselmelerin arkasında da Rusya'daki büyük orman yangını bulunmuştur. Oluşturulan modellerde rüzgarlar ile yangın dumanlarının İngiltere'ye taşınmış olduğu görülmüştür. Model sonuçları uydu verileri ve istasyon verileri ile karşılaştırılmıştır. Birinci ani yükselme sebebinin Rusya'da çıkan yangınlar olarak belirtilmiştir. İkinci yükselme nedeni olarak da antroponojenik kaynaklı kirlilik olduğu belirtilmiştir. Cottle et al. (2014) çalışmasında da Temmuz-Ağustos 2012 dönemindeki kuraklık ve yüksek sıcaklıklar nedeniyle Kuzey Asya'da meydana gelen orman yangınlarının Kuzey Amerika hava kalitesini nasıl etkilediği incelenmiştir. Öncelikle 7-10 Temmuz ve 9-15 Ağustos tarihleri arasında Vancouver'da bulunan yer bazlı lidardan aerosol yansıma değerleri elde edilmiş ve aşağı Fraser vadisi bölgesinde 9 farklı hava kalitesi izleme istasyonundan $PM_{2,5}$ konsantrasyon değerleri altışar saatlik periyotlar halinde alınmıştır. HYSPLIT kullanılarak geri yönlü hava-kütle taşınması modeli oluşturularak yangın dumanının Kuzey Asya'dan Pasifik Okyanusu üzerinden Kuzey Amerika'ya ulaştığı görülmüştür. Ayrıca Donanma Aerosol Analiz ve Tahmin Sistemi modeli ile de dumanın Pasifik Okyanusu tarafından Kuzey Amerika'ya ulaştığı görülmüştür. $PM_{2,5}$ değerlerinde bu dönemde ortalama normalde 4,11 $\mu g/m^3$ iken yangın zamanı 10,82 $\mu g/m^3$'e çıktığı görülmüştür.

## 2.2. Orman Yangınlarının Toprak Ekosistemine Etkileri

Orman yangınları hava kalitesinin yanında toprak ekosistemine de zarar vermektedir. Yangın nedeniyle toprağın yüzey sıcaklığını yangının çevresine göre arttırdığı yapılan çalışmalarda görülmüştür (Quantino et al. 2015; Maffie et al. 2021). Yer yüzey sıcaklığındaki artış miktarı, yanan alanının büyüklüğü ve şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Çalışmalarda, hava kalitesi çalışmalarında olduğu gibi uzaktan algılama platformları ve yer istasyonları verileri kullanılmıştır. Yangınların yer yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisini araştırmak için MODIS Yangın ve YYS verileri

kullanılmıştır. Ağırlıklı olarak uyduların termal bantları ile çalışmalar yapılmıştır. Yangın öncesi ve yangın sonrası görüntüler karşılaştırılarak YYS'ndaki değişimler incelenmiştir. Örneğin; Zhang et al. (2020) çalışmasında Çin'in Heilongjiang, Hebei ve Guangci şehirlerinde 2015-2017 döneminde meydana gelen biyokütle yangınlarının etkileri araştırılmıştır. Biyokütle yanmaları, arazi kullanımı, arazi değişimi, arazi temizlemek için ya da doğal yolla canlı ya da ölü vejetasyon, çimenlik, ormanlık alan veya tarım alanlarının yanmasıdır (Yadav et al. 2017). Biyokütle yangınlarının YYS'nı arttırdığı görülmüştür ve artan YYS'nın 1-3 gün boyunca düşmediği görülmüştür. Ayrıca günlük biyokütle yangını noktaları ile günlük YYS arasındaki korelasyona bakıldığında aralarında güçlü bir pozitif yönlü ilişki olduğu görülmüştür. Yanmış yüzey ile yanmamış yüzey arasında bulunan sıcaklık farkı termal bantlar ile orman yangını görüntülemeyi kolaylaştırmaktadır (Chuvieco et al. 2019). Hava kalitesi incelemelerindeki gibi YYS incelemelerinde de yerinden ölçümler ile uzaktan algılama tabanlı ölçümler karşılaştırılmıştır. Uzaktan algılama tabanlı ölçümlerin mekânsal kapsama alanının yüksek olması, maliyet açısından düşük maliyetli olması ve bölgesel/küresel olarak YYS değerleri elde etmenin daha kolay olması sebebiyle yerinden ölçümlere göre daha verimli olduğu görülmüştür (Ma et al. 2021). Bu nedenle birçok orman yangını-YYS çalışmalarında Landsat, MODIS, Sentinel-3 gibi uydulardan günlük veya daha sık bir şekilde elde edilen termal görüntüler kullanılmaktadır (Phan and Kappas 2018). Uydulardan elde edilen YYS değerleri çeşitli veri setleri ile doğruluğu incelenmiştir. Cihan vd. (2022) çalışmasında ise 1 Temmuz 2017'de İzmir Menderes'te meydana gelen orman yangını incelenmiştir. YYS için yangın öncesi 30 Haziran 2017 tarihli ve yangın sonrası 9 Temmuz 2017 tarihli Landsat 8 uydusundan görüntüler elde edilmiştir. YYS haritalarına göre yangın bölgesinin yangın sonrası sıcaklığı 45 ila 50 °C arasında olduğu ve yangın öncesi ve sonrası arasındaki farka bakıldığında farkın yaklaşık 18 °C olduğu görülmüştür. Aynı bölge için Çolak ve Sunar (2018) çalışmasında 1 Temmuz 2017'de İzmir'de meydana gelen orman yangınının YYS'na etkisi için Landsat 8 uydusu kullanılarak yangın öncesi 30 Haziran 2017 ve yangın sonrası 16 Temmuz 2017 tarihli YYS görüntüleri oluşturulmuştur. Bunun sonucunda ise yangınla beraber YYS'nin 1 ila 11 °C arasında arttığı görülmüştür. Bu iki çalışmanın sonuçlarının farklı olması, yangın sonrası seçilen görüntülerin farklılığından dolayı olduğu düşünülmektedir. Ge (2011) çalışmasında 2004 yılında Alaska'da meydana gelen ve yaklaşık 5300 $km^2$ alanın zarar gördüğü Taylor Karmaşık Yangın olayı incelenmiştir. Çalışmada YYS için 2002-2009 yılları arasındaki MODIS Aqua uydusunun gündüz zamanı ve bulutsuz görüntüleri aylık olarak kullanılmıştır. Özellikle Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları görüntülerine bakılmıştır. Yangın dönemi, yanan alan ile yanmayan alan arasında ortalama YYS'ında farklılıklar olduğu görülmüştür. Yangından önce yanan alan ile yanmayan alan arasındaki ortalama YYS farkı sıfıra yakın iken yangından hemen sonra bu fark 2 °C olduğu görülmüştür. 2005 yılı Mayıs ayında bu fark 3,2 °C, 2008 Ağustos ayında ise 1 °C'ye düştüğü görülmüştür. 2005 yılındaki artışın sebebi olarak da vejetasyon yapısındaki farklılaşmalar ve

biyofiziksel değişkenler (albedo vb.) olduğu düşünülmektedir. Genel olarak Haziran-Temmuz aylarında, Mayıs-Ağustos aylarına göre ortalama YYS daha yüksek çıkmıştır.

Quantino et al. (2015) çalışmasında, 2012 yılında 19-21 Eylül tarihlerinde meydana gelen İspanya yangınında; yanık şiddetini anlamak ve incelemek için uydu görüntüleri ve yerinden gözlem değerleri kullanılmıştır. Landsat 7 Gelişmiş Tematik Eşleştirici uydusunun termal bantları kullanılarak 6 adet yer yüzey sıcaklığı görüntüleri oluşturulmuştur. YYS görüntülerinin doğruluğu kontrol etmek için MODIS uydusunun YYS verileri kullanılmıştır. Bu YYS görüntülerinin MODIS görüntüleri ile karşılaştırıldığında uydu görüntüleri ile yüksek benzerlik içerdiği görülmüştür. Ayrıca 111 farklı noktadan da yanık şiddetini incelemek için, yerinden gözlemle kompozit yanık indeksi tanımlanmıştır. Oluşturulan YYS görüntülerinde yangından hemen sonra yanan alanlar ile yanmayan alanlar arasındaki sıcaklık farkının 15,51 °C civarı iken bir yıl sonraki görüntülerde bu değerin düştüğü görülmüştür. İki veri seti arasında lineer regresyon analizi yapıldığında $R^2$ değerinin %85'ten büyük olduğu görülmüştür. Bununla beraber, YYS'nın mevsimlere ciddi şekilde bağlı olduğu görülmüştür. YYS'nın yanan alan ile yanmayan alan arasındaki farkı tanımlamada yardımcı olduğu ve yanık şiddetinin önemli bir göstergesi olarak kullanılabileceğine karar verilmiştir. Zhang et al. (2020) çalışmasında Çin'in Heilongjiang, Hebei ve Guangxi şehirlerindeki 2015-2017 arasındaki biyokütle yangınlarının YYS'na etkilerini araştırmak için tüm Çin'i kapsayan 18 adet uydu görüntüsü alınmıştır. MODIS Yangın ve YYS ürünleri kullanılarak günlük ortalama YYS değerleri elde edilmiştir. Yine MODIS Günlük Termal anomaliler/Yangın ürünlerini kullanarak 2015-2017 arası günlük biyokütle yangınları noktaları işaretlemesi yapılmıştır. Biyokütle yanmaları belli sezonda gerçekleştiği için özellikle bu sezonlara bakılmıştır. Heilongjiang şehrindeki tarım arazilerinde biyokütle yanmaları sonucu YYS diğer bölgelerine göre 1 ila 3 °C yüksek olduğu, Hebei ve Guangxi şehirlerinde ise yaklaşık 2 °C artış olduğu görülmüştür. Buna göre; en fazla biyokütle yangının çıktığı Heilongjiang şehri için günlük biyokütle yangın noktaları ve günlük ortalama YYS arasında güçlü bir korelasyon olduğu görülmüştür (R=0.30-0.61). Bu durum Hebei için R değeri 0.36-0.53 ve en düşük biyokütle yangının çıktığı Guangxi için R değeri 0.11-0.53 aralığında çıkmıştır. Ayrıca biyokütle yangınları nedeniyle yükselen YYS'ndaki artışın 1-3 gün daha devam ettiği görülmüştür.

Stoof et al. (2015) çalışmasında 20 Şubat 2009 tarihinde Portekiz'de çıkan orman yangını sonucu toprak yüzeyinde yangından dolayı sıcaklık çok yüksek iken toprağın derinlerine gidildikçe bu sıcaklıkta ani düşüş olduğu görülmüştür. Yüzeyde 800 °C olarak ölçülen sıcaklık, 0,5 cm derinlikte 60 °C'ye düştüğü kaydedilmiştir.

## 2.3. Orman Yangınları Toprak Ekosistemi ve Hava Kalitesine Etkileri Arasındaki İlişkiler

Bu çalışmaların yanında çeşitli indeksler ile yangının meydana getirdiği zararlar belirlenebilmektedir. NBR indeksi için yanmış alan tespiti ve orman bozulmaları görüntülemesinde etkili olan NIR ve SWIR bantları kullanılmaktadır (Chuvieco et al. 2019). Barrera et al. (2018) çalışmasında Landsat 8 uydusundan yangın öncesi ve yangın sonrası görüntüler alınarak NBR indeksi hesaplanmış ve NBR farkı oluşturularak yanmanın şiddeti ortaya konmuştur. Mercan (2020) çalışmasında Muş iline ait 1990- 2019 dönemine ait Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI uyduları verileri ile yıllık YYS görüntüleri oluşturulmuştur. Bu görüntülere göre bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde YYS'nın düşük olduğu görülmüştür. Ortalama YYS'nın her yıl ortalama 0,3 °C arttığı bulunmuştur. Cihan vd. (2022) çalışmasında yangın öncesi için 30 Haziran, yangın sonrası için 9 Temmuz 2017 tarihli uydu görüntüleri ile NDVI, NBR ve CORINE arazi kullanım sınıflandırması kullanılarak oluşturulan fark görüntülerinde ayrı ayrı yanan alan büyüklüğü hesaplanmıştır. Yanan alan sırasıyla 1.235 ha, 1.221 ha ve 1.296 ha olduğu tespit edilmiştir. OGM'nin verilerinde 1.200 ha olarak bildirilmiştir. Yanan alan büyüklüğü elde edilen sonuçların OGM verisi ile tutarlı olduğu belirtilmiştir. Fakat Çolak ve Sunar (2018) çalışmasında aynı bölgede sınıflandırma sonrası elde edilen yanmış orman alanı, Maksimum Benzerlik ve Destek Vektör Makineleri sınıflandırma yöntemleri için sırasıyla 911,34 ha ve 997,11 ha bulunmuştur. Destek Vektör Makineleri sınıflandırma algoritmasının doğruluğunun daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan bazı çalışmalarda, yanan alanların tespiti için kullanılan indekslerden biri olan normalize edilmiş yanma şiddeti (NBR) indeksinin yangın öncesi ve yangın sonrası farkı ile yangın öncesi ve yangın sonrası yer yüzey sıcaklığı farkı (dLST) değerleri arasında ilişki olduğu görülmüştür. Çolak ve Sunar (2018) çalışmasında yangın alanı analizi için yanan alan indeksi (BAI), orta kızılötesi yanma indeksi (MIRBI), normalize edilmiş yanma şiddeti ve normalize edilmiş ısıl yanma şiddeti (NBRT) indeksleri kullanılmıştır. Bu indekslerde yanan alan ile yanmayan alan görüntülenmiştir. dLST ve dMIRBI, dNBRT ve dBAI indeks farkları ile korelasyon değerleri sırasıyla -0,7520, 0,8567 ve 0'dır. dNBR ile dLST arasındaki korelasyon 0.8138 olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak yanmış alanlardaki değişimin yüzey sıcaklığının mekânsal dağılımı ile ilişki olduğu görülmüştür. Vlassova et al. (2014) çalışmasında da İspanya'nın Extremadura bölgesinde 2009 yılı Haziran ayında çıkan ve 3.000 ha'dan fazla alanın yandığı orman yangınının etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada yangın sonrası 27 aylık dönem için Landsat 5 TM uydusundan alınan 15 adet görüntü kullanılarak dNBR indeksi hesaplanmıştır ve yanma şiddeti gösterilmiştir. Ayrıca termal bant kullanılarak YYS görüntüleri oluşturulmuştur. Yangın sonrası bölgedeki YYS'de ortalama 13 ila 20 °C'lik ciddi bir artış olduğu görülmüştür. Ayrıca yangın

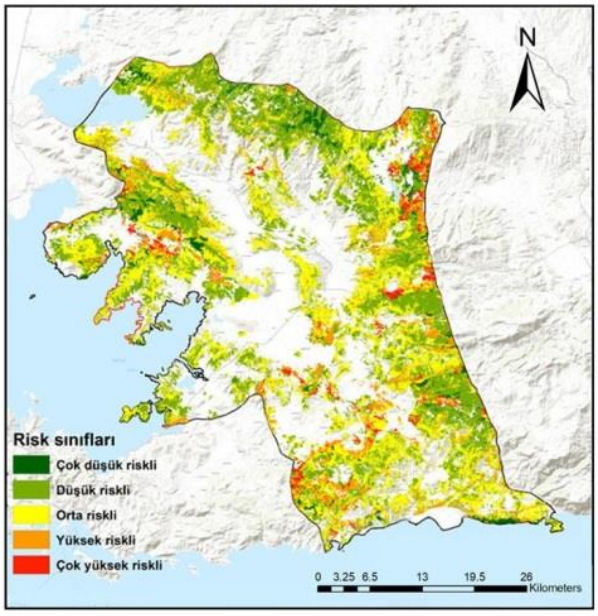
sonrası bitki örtüsündeki iyileşme artarken, YYS'ndaki bu artışın azaldığı ve NDVI indeksi ile YYS fark değerleri arasında güçlü bir korelasyon olduğu bulunmuştur.

Literatürde ayrıca roman yangınları sonucu hava kalitesi ve YYS'na etkilerini araştıran çalışmaların yanında, YYS ve hava kirliliği parametreleri arasındaki ilişkileri de inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Fuladlu and Altan (2021) çalışmasında, İran'ın Tahran eyaleti için Sentinel-3 SLSTR uydusundan elde edilen YYS görüntüleri ve Sentinel-5P TROPOMI uydusundan elde edilen temel hava kirleticileri görüntüler ve hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan veriler kullanılmıştır. Fakat istasyon verileri analiz için yeterli bulunamamıştır. Hava kirliliği parametreleri ile YYS arasındaki ilişkiye bakıldığında; CO ve $O_3$'nun YYS ile pozitif korelasyona sahip olduğu görülmüştür.

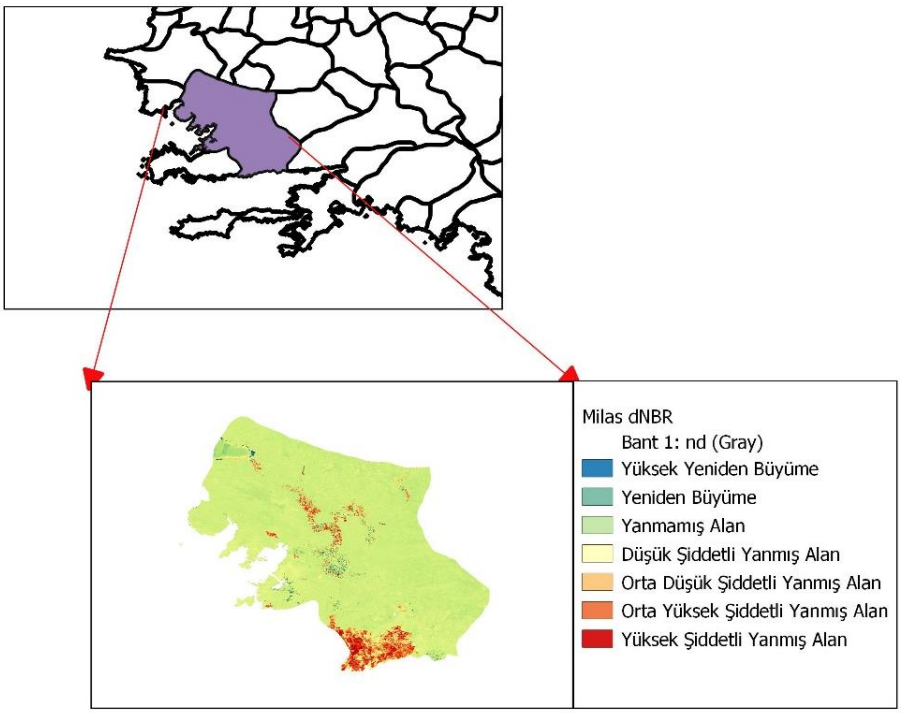
Orman yangınlarının, hava kalitesi ve YYS'na olan etkilerinin arasındaki ilişkinin incelenmesi yanında sosyal parametreler, meteorolojik parametrelere olan etkileri ile de aralarındaki ilişkilere bakılan çalışmalar da bulunmaktadır. Başaran vd. (2022) çalışmasında GEE platformu kullanılarak 2004-2019 yılları arasındaki NDVI, yağış, sıcaklık, YYS, aerosol optik derinliği, nüfus, orman yangınları sayısı ve orman kayıpları veri setleri arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Bunun için çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Bağımlı değişken olarak orman kayıpları seçilmiştir. Sonuç olarak orman kayıpları üzerinde nüfusun ve orman yangını sayısının etkisinin büyük olduğu görülmüştür. Singh et al. (2022) çalışmasına bakıldığında ise orman yangınının hava kalitesine, YYS'na etkileri araştırılmış, yanma şiddeti haritası oluşturulmuş ve yağışların yangın sonrası trendine bakılmıştır. Hava kalitesi için Sentinel 5P TROPOMI uydusunun Mart ve Ekim-Aralık 2019 $NO_x$ ve CO konsantrasyon görüntüleri kullanılmıştır. CO konsantrasyonunda yangın sonrası %272'lik bir artış, $NO_x$ konsantrasyonunda ise %45'lik bir artış kaydedilmiştir. Yanma şiddeti haritası oluşturmak için yangın öncesi için Mart 2019 ve yangın sonrası için Ekim-Aralık 2019 Landsat 8 uydusundan haftalık olarak görüntüler alınmıştır. Oluşturulan yanma şiddeti haritası dNBR indeksi ile sınıflandırılmış ve yanan alan 6730 $km^2$ olarak bulunmuştur. YYS incelemek için 2001-2019 arası MODIS uydusu görüntüleri kullanılmıştır. YYS'nın 2019 yılında önceki yıllara göre %8 arttığı görülmüştür. Yağış trendini analiz etmek için ise 1981-2019 arası CHIRPS verilerine başvurulmuştur. Elde edilen yağış-zaman serisinde yangın bölgesi için 2019 yılında yağışların %30 düştüğü görülmüştür. Fuladlu and Altan (2021) çalışmasında endüstriyel faaliyetler ve egzoz gazları kaynaklı hava kirliliği sorunu olan İran'ın Tahran şehrinin yükseklik, yer yüzey sıcaklığı ve hava kirliliği arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Bunun için Ocak-Aralık 2020 dönemi yer yüzey sıcaklığı için Sentinel 3 SLSTR, hava kirliliği için de Sentinel 5P TROPOMI uydu görüntüleri ve hava kalitesi izleme istasyonlarından $PM_{2,5}$, $SO_2$, CO, $O_3$ ve $NO_2$ konsantrasyon verileri kullanılmıştır. Python, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri programları kullanılarak bir hareketli ortalama modeli oluşturulmuştur. $PM_{2.5}$, yükseklik modeli ve YYS modelinin bağımsız değişken olduğu bir lineer regresyon

analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda; $PM_{2.5}$, $SO_2$, $NO_2$ konsantrasyonları ile yükseklik modeli negatif yönlü bir ilişkidedir. CO, $O_3$ konsantrasyonları, YYS modeli ile yükseklik modeli negatif yönlü ilişkidedir. CO ve $O_3$ konsantrasyonları ise YYS modeli ile pozitif yönlü ilişkide olduğu görülmüştür. Ayrıca arazi kullanımı değişimlerinin kentsel hava kirliliği ve YYS artışları üzerinde etkisi olduğu doğrulanmıştır.

Orman yangınları, ormanların büyümesi ve yenilenmesi için gerekli olan ekolojik döngüye yardımcı olsa bile yangının şiddeti ve büyüklüğü çeşitli olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır (Atmaca vd. 2022). Orman yangınlarının verdiği/vereceği zararları en aza indirmek, yangın öncesi yangın önleyici önlemler almak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Orman yangınları risk haritalaması, yanmış alan tespiti, yanma şiddeti değerlendirmesi, yüzey yakıt haritalaması, aktif yangın tespiti gibi yöntemler ile oluşabilecek zararların önüne geçilmeye çalışılmaktadır (Szpakowski and Jensen 2019). Orman yangını risk haritaları yangın tehlikesi olan-olmayan bölgeleri sınıflandırma işlemidir. Çoğunlukla risk haritalandırması için multispektral uydu görüntüleri, insansız hava aracı görüntüleri kullanılsa da lidar sistemlerinin üç boyutlu modelleme yapmaya izin vermesi sayesinde bu sistemlerden elde edilen görüntüler de kullanılmaya başlanmıştır (Szpakowski and Jensen 2019). Bu işlem ile orman yangınlarının önlenmesi ve sıklığının en aza indirilmesinin önemine vurgu yapan Atmaca vd. (2022) çalışmasında Milas ilçesi için lojistik regresyon yöntemi ile orman yangını risk haritası çıkarılmıştır. 2017-2019 yılları arasında Muğla'da çıkan orman yangınlarının Orman Genel Müdürlüğü (OGM)'nden alınan nokta verileri ve uydu görüntüleri ile orman yangını risk modellemesi yapılmıştır. Regresyon yöntemi için bağımlı değişken olarak yangın nokta verileri, bağımsız değişkenler olarak meşcere özellikler, topoğrafik özellikler, kültürel özellikler seçilmiştir. Bunun sonucunda Şekil 2.1.'deki gibi oluşturulan risk haritasının %4'ü çok yüksek riskli, %12'si yüksek riskli ve %34 orta riskli bölge olarak işaretlenmiştir. Ayrıca 2021 yılında Muğla'nın Bodrum-Milas bölgesinde çıkan orman yangınının dNBR sonucuna bakıldığında Atmaca vd. (2022) çalışmasındaki işaretli alanlarda çıktığı görülmüştür.




**Şekil 2.1.** Milas ilçesi yangın risk haritası (Atmaca vd. 2022)




**Şekil 2.2.** Milas ilçesi dNBR sonucu

# 3. MATERYAL VE METOT

## 3.1. Çalışma Alanları

Bu bölümde tez çalışmasında incelenmek üzere seçilen çalışma alanlarının genel özelliklerine yer verilmiştir.

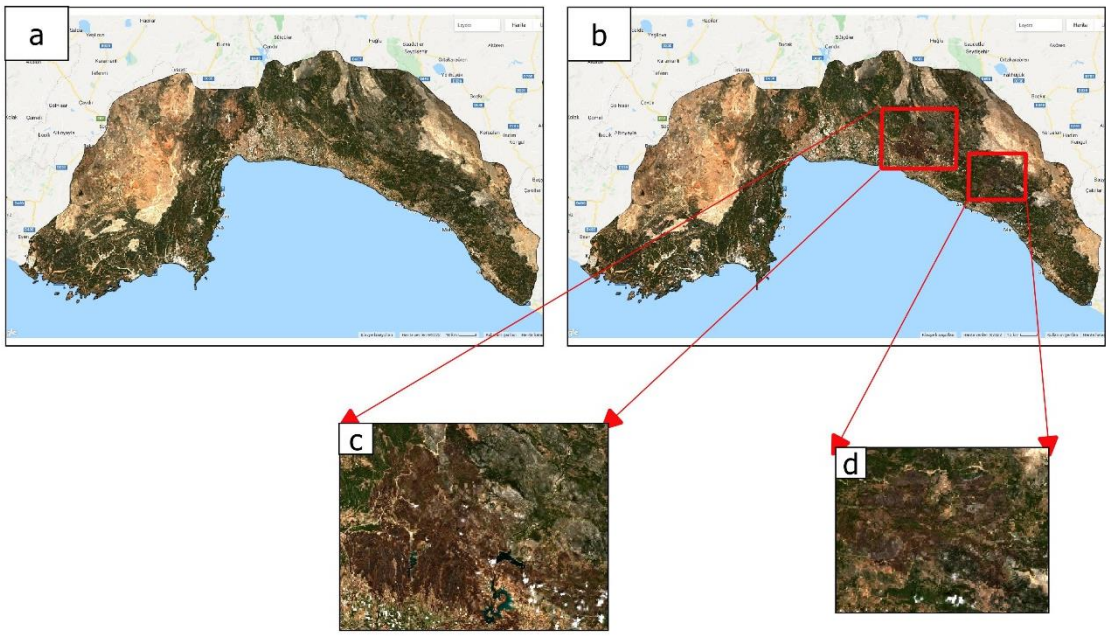
### 3.1.1. Antalya

Antalya ili, ülkemizin güneyinde Akdeniz Bölgesi'nin batısında bulunmaktadır. Bölge yüzölçümünün yaklaşık %18'ini oluşturmaktadır ve yüzölçümü 20.177 $km^2$'dir. İlin sahip olduğu arazinin ortalama % 78'i dağlık, % 10'u ova ve % 12'si ise engebeli arazidir. 2021 yılı sonu Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre nüfusu 2.619.832'dir. Böylelikle ülkemizin en kalabalık beşinci ilidir. Tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapan il, hem doğal hem de tarihi açıdan insanları kendisine çekmektedir. Turizmin başkenti olarak bilinir. Özellikle yaz aylarında nüfusu gelen turistler nedeniyle daha da artmaktadır (Antalya 2022).

Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen Akdeniz ikliminin etkisindedir ve bu iklime dayanıklı maki bitki örtüsüne sahiptir. Yüz ölçümünün % 55'i ormanlık alanla kaplıdır. Toplam 1.146.062 hektar (ha) ormanlık alana sahiptir (2020 Türkiye Orman Varlığı 2021).

#### 3.1.1.1. Antalya yangını

2021 yaz döneminde kuraklık ve aşırı sıcaklar sebebiyle eş zamanlı birçok ilde orman yangınları çıktı. Toplamda 54 ilde 299'a yakın orman yangınının çıktığı belirtildi. Bu yangınların büyüklerinden biri de Antalya'da çıkmıştır. 28 Temmuz'da Manavgat ilçesinin ormanlık alanında başlayan yangın rüzgarın da etkisiyle büyümüştür. Ertesi gün Manavgat yakınlarındaki Gündoğmuş ilçesinden de yangın haberi gelmiştir. Yangınlar yaklaşık 10 gün sonra kontrol altına alınabildi ve yaklaşık 60 bin ha ormanlık alanın zarar gördüğü belirtilmiştir (DW 2022). Yanan alanlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.




**Şekil 3.1.** Antalya ili Sentinel-2 uydusu RGB görüntüleri **a)** Yangın öncesi; **b)** Yangın sonrası; **c)** Manavgat yangını alanı; **d)** Gündoğmuş yangını alanı

### 3.1.2. Muğla

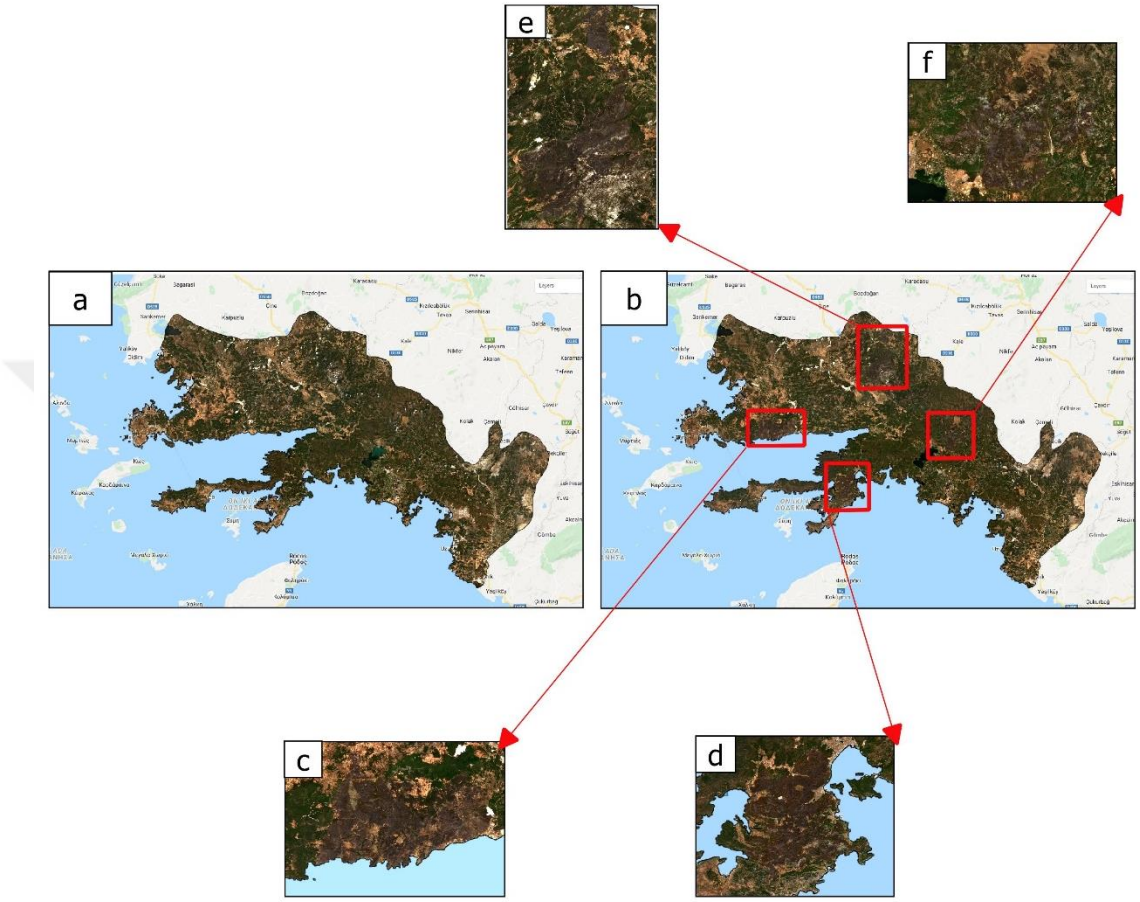
Muğla ili, Ege Bölgesi'nin güneyinde bulunan, toprağının bir kısmının Akdeniz Bölgesi'nde bulunduğu Antalya ile komşu olan bir ilimizdir. Ülkemizin en uzun kıyı şeridine sahiptir. Antalya ili gibi tarihi ve doğal güzellikleri ile turistleri kendine çekmektedir. 2021 yılı sonunda TÜİK verilerine göre nüfusu 1.021.141'tür. Toplam olarak 12.655 km$^2$ yüz ölçümüne sahiptir. Tarımsal anlamda ürün yelpazesi geniş bir ildir (Muğla 2022).

Akdeniz ikliminin hakim olduğu ilde bitki örtüsü olarak ormanlık ve fundalıklar bulunmaktadır. Topraklarının yaklaşık % 67'si ormanlarla kaplıdır. Ormanları gür ve verimlidir. Ormanlarda genelde kızılçam, karaçam, fıstıkçamı, sedir, ardıç gibi ağaçlar bulunur. Toplamda 1.155.914 ha ormanlık alana sahiptir (2020 Türkiye Orman Varlığı 2021).

#### 3.1.2.1. Muğla yangını

2021 yılında yaz aylarında küresel ısınma ve iklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık ve aşırı sıcaklar ile birlikte Muğla'nın çeşitli bölgelerinde orman yangınları çıkmıştır. İlk olarak 29 Temmuz'da Marmaris'te başlayan orman yangınları 31 Temmuz'da Köyceğiz, Milas ve Bodrum bölgesinde, ardından da Kavaklıdere, Yatağan, Seydikemer, Menteşe, Datça ve Fethiye'ye sıçramıştır. 11 Ağustos tarihine kadar Köyceğiz yangını dışındaki diğer yangınlar kontrol altına alınırken Köyceğiz yangını bir gün sonrasında kontrol altına alınmıştır.

Toplamda yaklaşık 67 bin ha alan zarar gördüğü belirtilirken bunun 52 bin ha kadarı ormanlık alandır. Birçok yerleşim yeri de zarar görmüş ve birçok insan evsiz kalmıştır (Atmaca vd. 2022; Hürriyet Gazetesi 2022; Muğla Valiliği 2022). Yanan alanlar Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

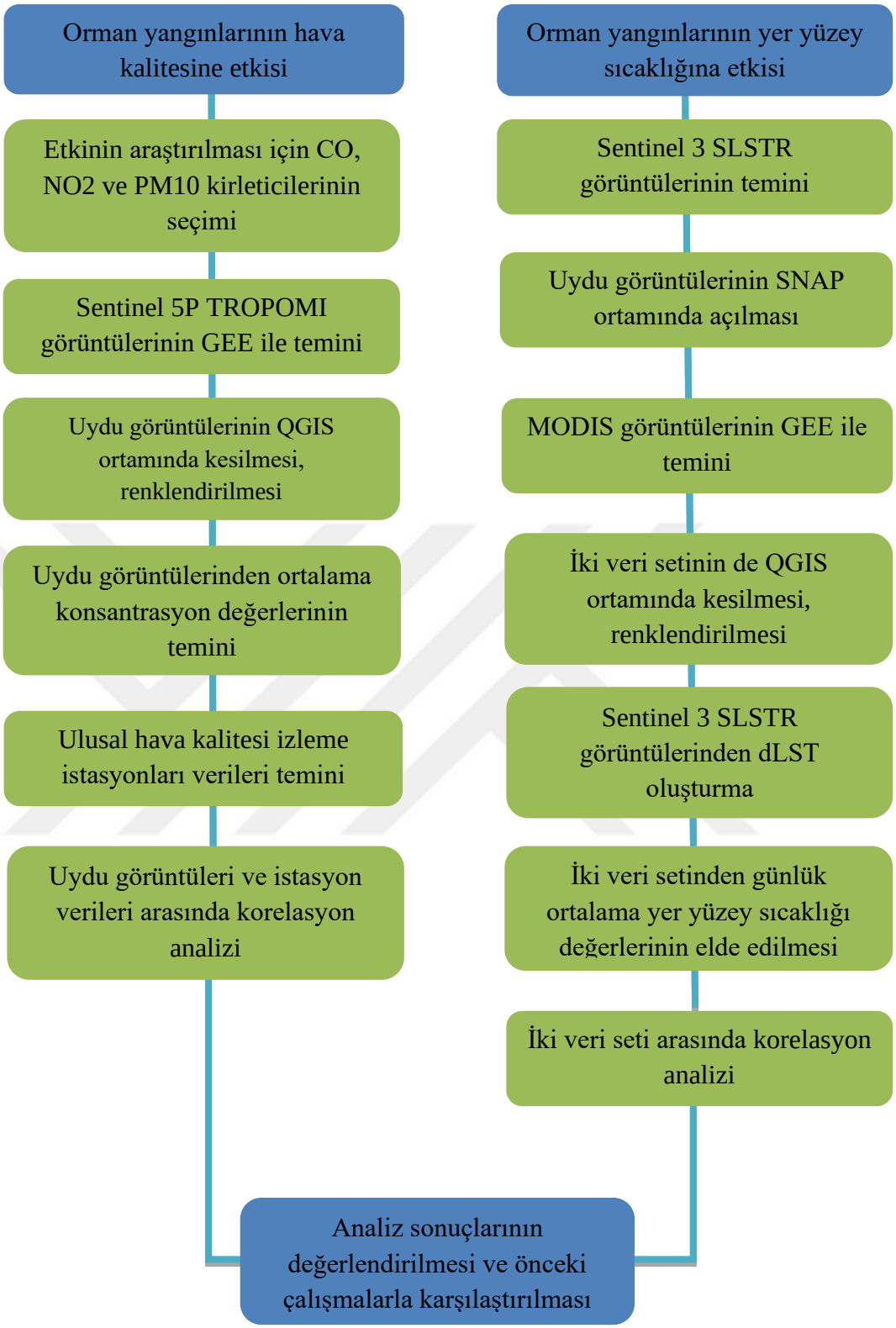



**Şekil 3.2.** Muğla ili Sentinel-2 uydusu RGB görüntüleri **a)** Yangın öncesi; **b)** Yangın sonrası; **c)** Bodrum yangını alanı; **d)** Marmaris yangını alanı; **e)** Kavaklıdere yangını alanı; **f)** Köyceğiz yangını alanı

Bodrum-Milas bölgesindeki yangın rüzgar etkisiyle büyüyerek o bölgede bulunan Kemerköy Termik Santrali bahçesine kadar varmıştır. Bunun üzerine yetkililerin yangın sönene kadar santrali durdukları ve geniş güvenlik önlemlerinin alındığı belirtilmiştir. Yangın, ünitelere ulaşmadan kontrol altına alınıp söndürülmüştür (NTV 2022).

## 3.2. Kullanılan Veriler

Bu bölümde tez çalışmasının adımları ve çalışmada kullanılan verilerin türlerine ve genel özelliklerine yer verilmiştir. Çalışmanın iş-akış şeması Şekil 3.3.'teki gibidir.




**Şekil 3.3.** Tez çalışması iş-akış şeması

Çalışma için öncelikle orman yangınlarının hava kalitesi ve yer yüzey sıcaklığına etkilerinin araştırılmasında kullanılacak olan değerlendirme parametrelerine ve veri setlerine karar verilmiştir. Ardından elde edilen veri setleri düzenlenerek analize

hazır hale getirilmiştir. Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) 26.0 v programı kullanılarak analiz gerçekleştirildikten sonra sonuçlar yorumlanmıştır.

### 3.2.1. Uydu görüntüleri

Bu çalışmada yer yüzey sıcaklığı ve hava kalitesi analizleri için uydu görüntüleri, Avrupa Uzay Ajansı ve Avrupa Birliği gibi iş birlikçileri tarafından başlatılan Copernicus Uzay Programı için uzaya fırlatılan Sentinel uydu ailesine ait uydulardan elde edilmiştir. Bu uzay programı, tüm Avrupa vatandaşlarına fayda sağlamak amacı ile gezegenimizi ve çevresini görüntüleyerek sürekli ve gerçek zamanlı bir şekilde veriler sunarak gezegenimiz hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlayan bir gözlem programıdır. Programı Avrupa Komisyonu yönetmektedir. Programa, ünlü Avrupalı bilim adamı ve gözlemci olan Nicolas Copernicus'a minnettarlıklarını göstermek için onun adı verilmiştir (About Copernicus 2022). Bu programda kara, okyanus, atmosferik izleme için multispektral ve radar görüntüleme araçları kullanılmaktadır. Ayrıca bu araçlarla sağlanan veriler ve bilgiler kullanıcılara ücretsiz olarak sunulmaktadır (About Copernicus 2022).

2014 yılında fırlatılan ilk uydusu Sentinel 1A ile çalışmalar hız kazanmıştır ve 2030 yılından önce 20 uydu daha yörüngeye oturtulması amaçlanmıştır. Uyduları çift olarak uzaya göndererek kapsama alanı geniş, sürekli ve hızlı veri alışı amaçlanmıştır. Her uydu farklı bir görev için kullanılmaktadır. Avrupa Uzay Ajansı'nın Copernicus Uydu Programı sitesinde bu uyduların görevleri aşağıdaki gibidir (The Sentinel Missions 2022):

- Sentinel 1; kara ve okyanus hizmetleri için kutup yörüngeli, tüm hava koşullarında, gün ışığına ihtiyaç duymadan görüntü alabilen bir radar görüntüleme görevidir. Sentinel 1A uydusu 3 Nisan 2014 tarihinde, ikizi Sentinel 1B ise 25 Nisan 2016 tarihinde yörüngeye gönderilmiştir.
- Sentinel 2; bitki örtüsü, toprak ve su örtüsü, iç su yolları, kıyı bölgeleri görüntülerini sağlayarak arazi izleme amacıyla başlatılan kutup yörüngeli, çok bantlı ve yüksek çözünürlüklü bir görüntüleme görevidir. Ayrıca afet durumları gibi acil durumlarda da bilgi sağlamaktadır. Sentinel 2A 23 Haziran 2015'te, Sentinel 2B ise 7 Mart 2017'de uzaya fırlatılmıştır.
- Sentinel 3; deniz yüzeyi topoğrafyası, deniz/kara yüzey sıcaklıklarını, deniz/kara rengini yüksek doğrulukta ölçmek için çok cihazlı bir görevdir. Bunun yanında çevre ve iklim izleme konularındaki çalışmaları da desteklemektedir. Sentinel 3A uydusu 26 Şubat 2016, Sentinel 3B ise 25 Nisan 2018'de fırlatıldı.
- Sentinel 5-Precursor (5P); hava kalitesini ve iklimi etkileyen çok sayıda eser gaz ve aerosol hakkında zamanında veri sağlayan bir görevdir. Çevresel Uydu (ENVISAT)'nun görev süresinin sona ermesi ve Sentinel 5 görevinin başlatılmasına kadar geçen sürede veri boşluğunu doldurmak amacıyla geliştirilmiştir. 13 Ekim 2017'de uzaya gönderilmiştir.

- Sentinel 4; sabit yörüngede bir Meteorolojik Uydu (Meteosat) üçüncü nesil siren uydusuna eklenecek olan atmosferik izlemeye ayrılmış bir faydalı yük görevidir.
- Sentinel 5; Meteorolojik Operasyonel (MetOp) ikinci nesil uydusunda kutupsal yörüngeden atmosferi izleyecek olan faydalı yük görevidir.
- Sentinel 6; oşinografi ve iklim çalışmaları için küresel deniz yüzeyi yüksekliğini ölçmek için radar altimetresi görevidir. İlk uydusu 21 Kasım 2020'de fırlatılmıştır.

#### 3.2.1.1. Sentinel-2

Copernicus Uydu Programı'nın bu görevinde Dünya yüzeyindeki değişimleri takip etmek için yeryüzünden yaklaşık 786 km yüksekliğe yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüklü iki adet ikiz uydu fırlatılmıştır. Güneş'e eş zamanlı olarak aralarında 180 derece bulunan bu uydular orta enlemlerde yaklaşık 2-3 günde, ekvatorda ise 5 günde görüntü alımı yapmaktadır. Bitki örtüsü, toprak ve su örtüsü izleme, iç su yolları ile kıyı alanlarının gözlenmesi gibi görevleri bulunmaktadır (Sentinel-2 2022).

**Şekil 3.4** Sentinel-2 uydusu (Sentinel-2 2022)

Üzerlerinde pasif olarak görüntüleme yapan 13 bantlı Multispektral Enstrüman (MSI) bulunmaktadır. Görüntüleme sonrası kullanıcılara iki seviye görüntü sunulur. Seviye-1C görüntüleri atmosferin üstünden yansıyarak oluşan görüntülerden oluşmaktadır. Seviye-2A görüntüleri ise atmosferin alt tarafından yansıyarak oluşan görüntülerdir (Sentinel-2 2022).

**Çizelge 3.1.** Sentinel-2 uydusu kullanılan bantlar ve özellikleri (ESA 2022a)

| Sentinel - 2 Bant | Merkezi Dalga Boyu(µm) | Çözünürlük(m) |
|---|---|---|
| **Bant 1 - Kıyı Aerosolü** | 0,443 | 60 |
| ***Bant 2 - Mavi** | 0,49 | 10 |
| ***Bant 3 - Yeşil** | 0,56 | 10 |
| ***Bant 4 - Kırmızı** | 0,665 | 10 |
| **Bant 5 - Bitki Örtüsü Kırmızı Kenar** | 0,705 | 20 |
| **Bant 6 - Bitki Örtüsü Kırmızı Kenar** | 0,74 | 20 |
| **Bant 7 - Bitki Örtüsü Kırmızı Kenar** | 0,783 | 20 |
| **Bant 8 - Yakın Kızılötesi (NIR)** | 0,842 | 10 |
| **Bant 8A - Bitki Örtüsü Kırmızı Kenar** | 0,865 | 20 |
| **Bant 9 - Su Buharı** | 0,945 | 60 |
| **Bant 10 - Kısa Dalga Yakın Kızılötesi (SWIR) - Sirüs** | 1,375 | 60 |
| **Bant 11 - SWIR** | 1,610 | 20 |
| **Bant 12 - SWIR** | 2,910 | 20 |

*Tez çalışmasında kullanılan bantlar

Birçok çalışmada kullanılan Sentinel 2 uydusu görüntüleri özellikle orman yangınları çalışmalarında yangınların meydana getirdiği sonuçları daha iyi analiz etmek için kullanılmaktadır. Yangın sonrası yangından etkilenen alandaki bitki örtüsü değişimlerini, topraktaki değişimleri analiz etmek için kullanılır. NDVI gibi indekslere yardımcı olmak için bu uydu görüntülerinden yararlanılmaktadır.

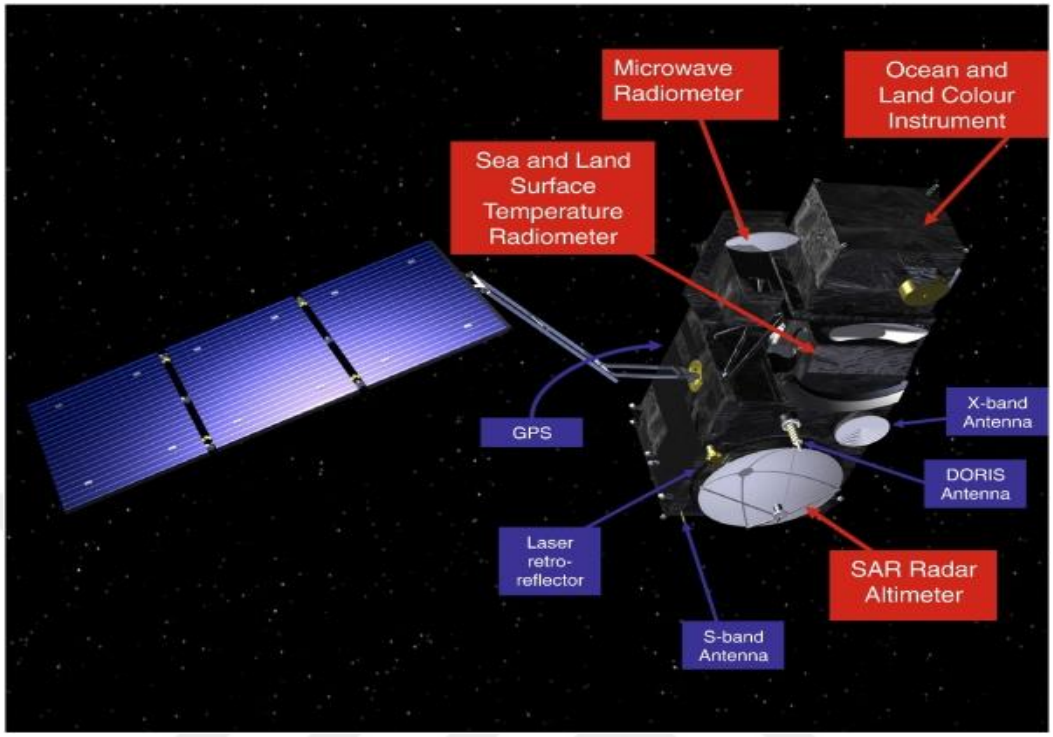
Bu çalışmada, yangın öncesi ve yangın sonrası ormanlık alanlardaki değişimleri göstermek için kullanılmıştır.

### 3.2.1.2. Sentinel-3

Sentinel 3, Sentinel 3A ve Sentinel 3B ikiz uyduları ile çoklu uydu görevidir. Gerçek zamanlı, sürekli ve geniş mekânsal kapsama özelliklerine sahip bir görevdir. Uydular, üzerinde farklı görevler için birçok faydalı yük bulundurur. Alçak dünya yörüngesinde, 800-830 metre yükseklikte bulunurlar. 4 farklı görüntüleme cihazın yanında uydunun yörüngesinde kalmasına yardımcı 3 adet hassas cihaz bulunmaktadır (Sentinel-3 2022). Bu cihazlar:

- Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) : Okyanus ve yüzey renk cihazı
- Sea and Land Surface Temperature Instrument (SLSTR) : Deniz ve yer yüzey sıcaklığı cihazı
- SAR Radar Altimeter (SRAL) : SAR Radar Altimetresi
- Microwave Radiometer (MWR) : Mikrodalga radyometresi
- Doppler Orbit Radio Positioning System (DORIS) : Doppler yörünge radyo konumlama sistemi
- Global Navigation Satellite System (GNSS) : Küresel navigasyon uydu sistemi

- Laser Retro-Reflector (LRR) : Lazer Retro-reflektörü




**Şekil 3.5.** Sentinel-3 uydusu (Sentinel-3 2022)

Bu tez çalışmasında kullanılan SLSTR sensörünün temel amacı, okyanus ve çevre izleme ve tahmin sistemlerini desteklemek, deniz ve kara topoğrafyası, yüzey sıcaklığı ve rengini yüksek doğrulukta ve güvenilirlikle ölçmektir. 9 farklı bant aralığında görüntüleme yapmaktadır (Sentinel-3 2022).

Sensörden alınan veriler 3 farklı seviyede kaydedilmektedir. Level-0 tip veriler kullanıcılar ile paylaşılmayan ham verilerdir. Level-1B tip veriler; Level-0 verilerinin jeolojik konumlandırma ve atmosferik düzeltmeler yapılmış veriler olarak kullanıcılara sunulmaktadır. Level-2 tip veriler ise Level-1 verilerinin direkt olarak çalışmalarda kullanılabilecek tarzda düzenlenerek kullanıcılara sunulan verilerdir (Sentinel-3 2022).

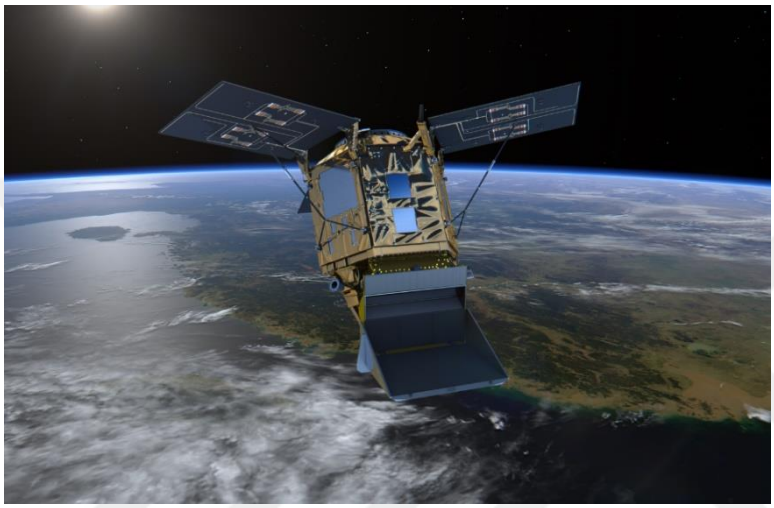
**Çizelge 3.2.** Sentinel-3 uydusu kullanılan bantlar ve özellikleri (Polehampton et al. 2021)

| Bant | Merkezi Dalga Boyu (µm) | Genişlik (µm) | Çözünürlük (m) | İşlev | Yorum |
|---|---|---|---|---|---|
| **S1** | 0,555 | 0,02 | 500 | Bulut taraması, bitki örtüsü görüntüleme, aerosol | Görünür NIR, Güneş yansıması bandı |
| **S2** | 0,659 | 0,02 | 500 | NDVI, bitki örtüsü görüntüleme, aerosol | Görünür NIR, Güneş yansıması bandı |
| **S3** | 0,865 | 0,02 | 500 | NDVI, bulut işaretleme, piksel görüntü bağdaştırma | Görünür NIR, Güneş yansıması bandı |
| **S4** | 1,375 | 0,015 | 500 | Arazi üzerindeki sirus tespiti | SWIR, Güneş yansıması bandı |
| **S5** | 1,61 | 0,06 | 500 | Bulut temizleme, buz, kar, bitki örtüsü görüntüleme | SWIR, Güneş yansıması bandı |
| **S6** | 2,25 | 0,05 | 500 | Bitki örtüsü durumu ve bulut temizleme | SWIR, Güneş yansıması bandı |
| ***S7** | 3,74 | 0,38 | 1000 | Deniz yüzey sıcaklığı, yer yüzey sıcaklığı, aktif yangın | Termal infrared ortam bandı (200K-320K) |
| ***S8** | 10,85 | 0,9 | 1000 | Deniz yüzey sıcaklığı, yer yüzey sıcaklığı, aktif yangın | Termal infrared ortam bandı (200K-320K) |
| ***S9** | 12 | 1 | 1000 | Deniz yüzey sıcaklığı, yer yüzey sıcaklığı | Termal infrared ortam bandı (200K-320K) |
| **F1** | 3,74 | 0,38 | 1000 | Aktif yangın | Termal infrared yangın emisyon bandı |
| **F2** | 10,85 | 0,9 | 1000 | Aktif yangın | Termal infrared yangın emisyon bandı |

*Tez çalışmasında kullanılan bantlar

### 3.2.1.3. Sentinel-5P

Sentinel 5-Precursor (5P) görevi, atmosferimizi izlemek için başlatılmış bir görevdir. Üzerinde Troposferik İzleme Cihazı (TROPOMI) cihazını taşımaktadır. Bu programın temel amacı; hava kalitesi, ozon ve ultraviyole (UV) radyasyonu, iklim izleme ve tahminlerinde bulunmaktır. Yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükte atmosferik ölçümler yapılmaktadır (Schneising et al. 2020). Cihaz, atmosferi tarama genişliği 2600 km, mekânsal çözünürlüğü 7x7 $km^2$ olan pasif bir spektrometredir (Sentinel-5P 2022).



**Şekil 3.6.** Sentinel-5P TROPOMI uydusu (Sentinel-5P 2022)

Uydudan gelen sinyaller; Level-0, Level-1 ve Level-2 olarak 3 tip veriye dönüştürülür. Level-0 veriler sadece yer gözlem istasyonundaki görevliler tarafından kullanılabilir ve görevliler bu seviye verilerden Level-1 ve Level-2 verileri elde etmektedir. Kullanıcılara sunulan Level-1 verileri atmosferin jeokonumlu ve radyometrik olarak düzeltilmiş, güneş ışınımlarının yanı sıra tüm spektral bantlarda Dünya parlaklıklarını barındırmaktadır. Level -2 veriler ise $O_3$, $SO_2$, $NO_2$, CO, formaldehit (HCHO) ve $CH_4$ gazlarının coğrafi konumlu toplam sütunları, coğrafi konumlu bulut ve aerosol bilgileri bulundurur (Sentinel-5P 2022).

**Çizelge 3.3.** Sentinel-5P TROPOMI uydusu kullanılan bantlar ve özellikleri (Tropomi 2022)

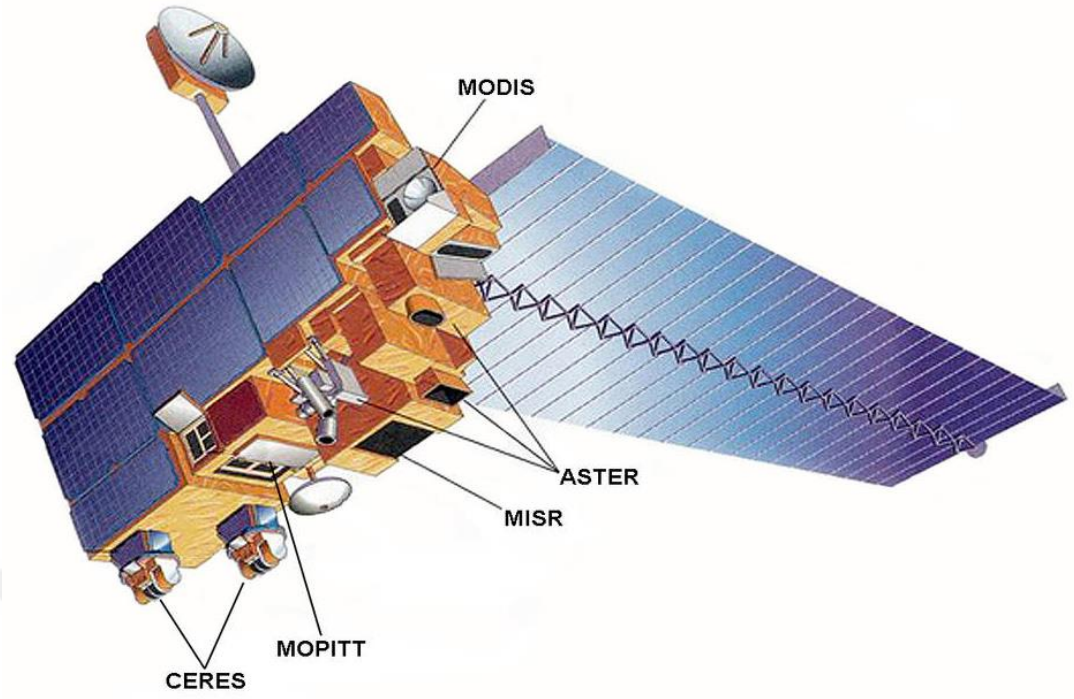
| Bant | Dalga boyu Aralığı (nm) | Kanal | İşlev |
|---|---|---|---|
| **1** | 270-300 | UV | $O_3$,$SO_2$ ve HCHO görüntüleme |
| **2** | 300-320 | UV | $O_3$,$SO_2$ ve HCHO görüntüleme |
| ***3** | 320-405 | UVIS | $O_3$,HCHO ve $NO_2$ görüntüleme |
| ***4** | 405-500 | UVIS | $NO_2$ görüntüleme |
| **5** | 675-725 | NIR | Aerosol görüntüleme |
| **6** | 725-775 | NIR | Bulut görüntüleme |
| ***7** | 2305-2345 | SWIR | CO,$CH_4$ görüntüleme |
| ***8** | 2345-2385 | SWIR | CO,$CH_4$ görüntüleme |

*Tez çalışmasında kullanılan bantlar

Son zamanlarda çalışmalarda kullanılmaya başlanan diğer gözlem uydularına kıyasla (OMI gibi) yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olan ve hava kalitesi yer gözlem istasyonları verileri ile uydu verileri arasındaki istatistiksel analizlere bakıldığında güçlü ilişkiler gösterebilen Sentinel 5P TROPOMI uydusu, hava kirliliği çalışmalarındaki potansiyelini göstermektedir (Savenets et al. 2020; Jin et al. 2021; Magro et al. 2021).

#### 3.2.1.4. MODIS Terra

Tez çalışmasında Sentinel 3 SLSTR uydusu görüntüleri, literatürde sıkça kullanılmış olan MODIS Terra (orijinal adı EOS AM-1'dir (MODIS 2022).) uydusunun Günlük Arazi Yüzey Sıcaklığı/Emissivite v6.1 ürünü görüntüleri ile karşılaştırılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi tarafından 1999 yılında uzaya fırlatılmıştır. Çizelge 3.4'te bulunan 36 farklı spektral bant ile görüntü alımı yapabilmektedir. Dünya'nın değişimini takip etmek, üzerindeki yaşamın sonuçlarını belirlemek için atmosferi, toprağı ve suyu aynı anda ölçmek için kullanılmaktadır (MODIS-Terra 2022).




**Şekil 3.7.** MODIS Terra uydusu (Terra Satellite 2022)

MODIS Terra uydusuna ait olan bu ürün, 1 km'lik mekânsal çözünürlüğe sahip yer yüzey sıcaklığını görüntülemek için kullanılan seviye-3 uydu görüntülerinden oluşmaktadır. 1-2 günlük olarak görüntü alımı yapılabilmektedir (MODIS-Terra 2022).

**Çizelge 3.4.** MODIS Terra uydusu bant özellikleri (MODIS 2022)

| Kullanım Alanı | Bant | Dalga boyu (nm) |
|---|---|---|
| **Kara - Bulut - Aerosoller sınırları** | 1 | 620-670 |
| | 2 | 841-876 |
| **Kara - Bulut - Aerosoller özellikleri** | 3 | 459-479 |
| | 4 | 545-565 |
| | 5 | 1230-1250 |
| | 6 | 1628-1652 |
| | 7 | 2105-2155 |
| **Okyanus Rengi - Fitoplankton - Biyojeokimya** | 8 | 405-420 |
| | 9 | 438-448 |
| | 10 | 483-493 |
| | 11 | 526-536 |
| | 12 | 546-556 |
| | 13 | 662-672 |
| | 14 | 673-683 |
| | 15 | 743-753 |
| | 16 | 862-877 |
| **Atmosferik Su Buharı** | 17 | 890-920 |
| | 18 | 931-941 |
| | 19 | 915-965 |

**(Devamı Arkada)**

**Çizelge 3.4**'ün devamı

| | Bant | Dalga Boyu (µm) |
|---|---|---|
| ***Yüzey - Bulut Sıcaklığı** | 20 | 3,660-3,840 |
| | 21 | 3,929-3,989 |
| | 22 | 3,929-3,989 |
| | 23 | 4,020-4,080 |
| **Atmosfer Sıcaklığı** | 24 | 4,433-4,498 |
| | 25 | 4,482-4,549 |
| **Sirüs bulutları - Su buharı** | 26 | 1,360-1,390 |
| | 27 | 6,535-6,895 |
| | 28 | 7,175-7,475 |
| **Bulut Özellikleri** | 29 | 8,400-8,700 |
| **Ozon** | 30 | 9,580-9,880 |
| **Yüzey - Bulut Sıcaklığı** | 31 | 10,780-11,280 |
| | 32 | 11,770-12,270 |
| **Bulut Üst Yüksekliği** | 33 | 13,185-13,485 |
| | 34 | 13,485-13,785 |
| | 35 | 13,785-14,085 |
| | 36 | 14,085-14,385 |

***Tez çalışmasında kullanılan bantlar

### 3.2.2. Uydu görüntülerinin işlenmesi

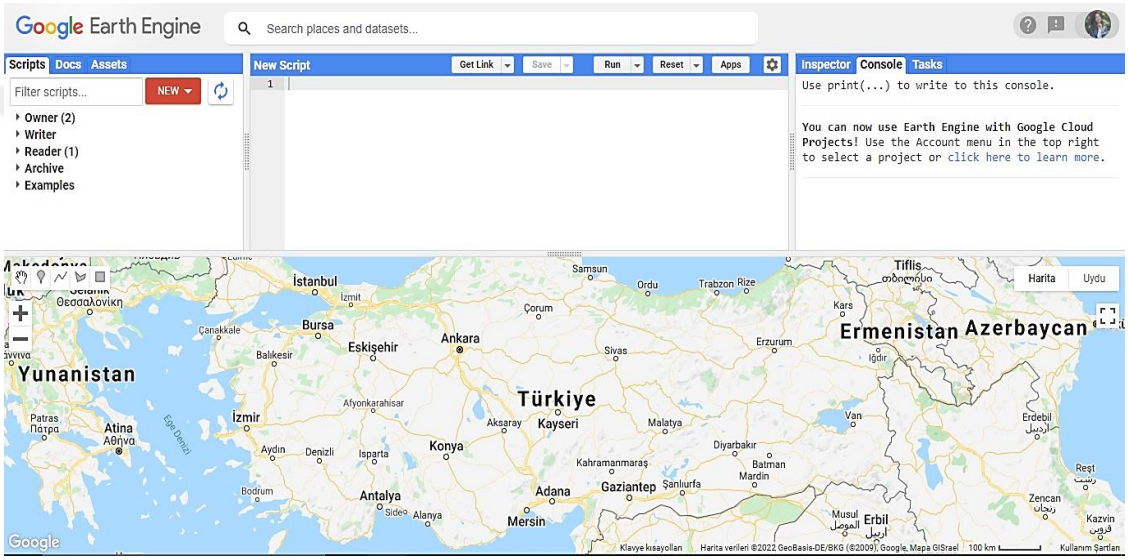
Bu tez çalışmasında kullanılan uydular, bantlar ve görüntü tarihleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

**Çizelge 3.5.** Tez çalışmasında kullanılan uydu görüntülerinin özellikleri

| Uydular | Kullanılan Bantlar | Alınan Görüntü Tarihleri |
|---|---|---|
| Sentinel-2 | B4, B3, B2 (RGB format için) | **Yangın Öncesi:** 10-20 Temmuz 2021, **Yangın Sonrası:** 20-30 Ağustos 2021 |
| Sentinel-3 SLSTR | SL_2_LST__ | **Yangın Öncesi:** 13-27 Temmuz 2021, **Yangın Zamanı:** 28 Temmuz-11 Ağustos 2021, **Yangın Sonrası:** 12-26 Ağustos 2021 |
| Sentinel-5P | absorbing_aerosol_index, CO_column_number_density, NO2_column_number_density | |
| MODIS Terra | LST_Day_1km | |

### 3.2.2.1. Sentinel-2 görüntülerinin işlenmesi

Çalışma için gerekli olan görüntüleri Google Earth Engine (GEE) platformu kullanılarak elde edilmiştir. Bu platform, coğrafi veri işleme platformudur ve bulut ortamında çalışmaktadır. Program arayüzü; Python ve JavaScprit kodlama dilleri ile geliştirme yapabilmeye olanak sağlamaktadır. Ayrıca çeşitli çok büyük boyutlardaki uydu veri setlerini kullanıcılara bilgisayarlarına indirmeden işleme ve analiz etme imkanı sunmaktadır. Çevre, iklim, arazi kullanımı, jeoloji, nüfus, doğal afetler ve hastalıklar gibi konularda araştırma yapmayı kolay hale getirmektedir (Başaran vd. 2022). Görüntüler Antalya ve Muğla illeri sınırları kesilerek Red-Green-Blue (RGB) görüntüleme biçiminde açılmıştır.




**Şekil 3.8.** Google Earth Engine arayüzü

### 3.2.2.2. Sentinel-3 görüntülerinin işlenmesi

Bu tez çalışmasında kullanılan Sentinel 3 uydu görüntüleri, SLSTR sensörünün kaydettiği yer yüzey sıcaklık görüntüleridir. Bu görüntü grubu, Google Earth Engine (GEE)'de bulunmadığı için görüntüleri Avrupa Uzay Ajansı (AUA)'nın Open Access Hub sitesinden (ESA 2022) ücretsiz olarak indirilmiştir. Ardından yine AUA'ya ait olan ve dünya gözlemi için uydu görüntülerinin kullanımı ve işlenmesi için kullanıma sunulan ücretsiz olan platformu Sentinel's Application Platform 8.0v (SNAP), ve uzaktan algılama ürünlerini coğrafi bilgi sistemleri ile birleştirmek için kullanılan ve ücretsiz olan Quantum Geographical Information Systems 3.16.15v (QGIS) programları kullanılmıştır.

### 3.2.2.3. Sentinel-5P görüntülerinin işlenmesi

Bu uydunun görüntü işlemesi, GEE platformu üzerinde yapılmıştır. Uydu görüntüleri platformda kullanım amacına göre farklı seviyelerde sunulmaktadır. Genel

olarak gerçeğe yakın zamanlı (NRTI) ve çevrimdışı (OFFL) olarak iki seviyede görüntüler sunulmaktadır. Uydunun ürünleri olarak CO, $NO_2$, $SO_2$, $O_3$, HCHO ve $CH_4$ konsantrasyonlarının görüntüleri bulunmaktadır (Soleimany et al. 2021; Sentinel 5P Datasets 2022).

Bu çalışma için CO ve $NO_2$ konsantrasyonlarının OFFL seviye görüntüleri elde edilmiştir. Ve QGIS programında düzenlemesi yapılmıştır.

#### 3.2.2.4. MODIS Terra görüntülerinin işlenmesi

Çalışmada kullanılacak olan görüntüleri GEE platformu kullanılarak elde edilmiştir. Günlük YYS görüntüleri, platformda bulunan MOD11A1.061 ürün kataloğundan alınmıştır. Alınan günlük YYS görüntüleri, QGIS programı kullanılarak kesilmiştir. Ardından günlük YYS değerleri için görüntülerin piksellerinin ortalama yansıma değerleri alınmıştır.

### 3.2.3. Hava kalitesi izleme istasyonları

Ülkemizde ilk olarak 1961'de Ankara'da Sağlık Bakanlığı'na bağlı olarak yarı otomatik cihazlardan $SO_2$ ve PM günlük ortalama konsantrasyonlarının izlenmesi ile başlayan ulusal hava kalitesi izlemesi, 1984 yılından itibaren saatlik ortalamalar verebilen tam otomatik cihazlara dönüşmüştür. Ardından hava kalitesi izleme görevi Çevre ve Orman Bakanlığı'na devredildi. Bununla beraber 2005-2007 yılları arasında temiz hava politikası ve hava kalitesinin iyileştirilmesi için hava kirliliğini doğru bir şekilde ölçülmesi amacıyla Türkiye geneli 81 ilde hava kalitesi ölçüm istasyonları ağı kuruldu. İlk olarak $PM_{10}$ ve $SO_2$ kirleticilerinin ölçümü ile kurulan ağda, daha sonra $NO_2$, NOx, NO, CO, $O_3$, $PM_{2.5}$ ölçümleri ve gravimetrik yöntemle ağır metal örneklemesi de ilave edilmiştir (Sürekli İzleme Merkezi 2022).

**Şekil 3.9.** Antalya-Trafik hava kalitesi izleme istasyonu (Antalya, Yüzüncüyıl Bulv.) (Google Maps 2022)

Şu anda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı olarak 81 ilimizdeki 360 adet hava kalitesi izleme istasyonlarından saatlik ve günlük ortalama konsantrasyon olarak ölçüm yapılması ile devam etmektedir. Bu istasyonlarda NOx, CO, $O_3$, $PM_{2.5}$, $PM_{10}$, $SO_2$ değerleri ölçülmektedir. Bu değerler bakanlığın İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü'ne bağlı olan Laboratuvari Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı'nın Veri İşleme Merkezi tarafından düzenlenerek vatandaşların anlayabileceği şekilde www.havaizleme.gov.tr sitesinde paylaşılmaktadır. Ayrıca aylık ve yıllık raporlar hazırlanmaktadır (Sürekli İzleme Merkezi 2022).

Bu tezde kullanılacak veriler; Antalya ilinde bulunan hava kalitesi izleme istasyonlarına ait CO, $PM_{10}$ ve $NO_2$ saatlik konsantrasyon verileri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın www.havaizleme.gov.tr sitesinden elde edilmiştir. Yerden ölçüm yapan istasyonlardan elde edilen bu veriler ile uzaydan algılama yapan Sentinel 5P TROPOMI uydusu görüntüleri arasında bir ilişki var mı, varsa nasıl bir ilişki olduğunu anlamak için önceki çalışmalara dayanarak istatistiksel bir analiz yapılmak amacıyla kullanılmıştır. Şekil 3.9.'da Antalya ilinde bulunan hava kalitesi izleme istasyonlarının lokasyonları gösterilmiştir (Antalya 2020).

Manavgat-Gündoğmuş yangınlarının Antalya ili hava kalitesine etkisini analiz etmek için yangın alanlarına yakın olan Serik, Manavgat ve Alanya hava kalitesi izleme istasyonlarından CO, $NO_2$ ve $PM_{10}$ için günlük ve saatlik verileri alınmıştır. Magro et al. (2021) çalışmasında olduğu gibi, uydunun çalışma alanları üzerinden geçiş saatleri dikkate alınarak istasyon verilerinin saatlik değerleri düzenlenmiştir.

11 Ağustos 2021 tarihinde şehir merkezinde meydana gelen hava kirliliğini analiz etmek için ise şehir merkezinde bulunan Antalya, Trafik ve Muratpaşa hava kalitesi izleme istasyonlarından $PM_{10}$ için günlük ve saatlik verileri alınmıştır.

**Şekil 3.10.** Antalya iline ait hava kalitesi izleme istasyonları lokasyonları

# 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Önceki yangın şiddeti analizi çalışmaları incelendiğinde çoğunlukla normalize edilmiş yanma şiddeti (NBR) indeksi kullanılarak yanmış alan haritalandırılması yapıldığı görülmüştür. (Vlassova et al. 2014; Barrera et al. 2018; Çolak ve Sunar 2018). Bu indeksi hesaplamak için, NIR ve SWIR2 bantlarından oluşturulan yangın öncesi ve yangın sonrası görüntüleri kullanılmaktadır (Garcia-Llamas et al. 2019). NBR denklemi aşağıdaki gibidir;

$$NBR = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \tag{4.1}$$

Ardından fark normalize edilmiş yanma şiddeti indeksini (dNBR) belirlemek için yangın öncesi görüntüler ile yangın sonrası görüntülerin farkına bakılır (Vlassova et al. 2014; Çolak ve Sunar 2018). Bu indeks ile yanan alanlardaki zararları derecelendirmek daha da kolaylaşır. Genellikle bu sınıflandırma düşük-orta-yüksek yanma şiddeti olarak sınıflandırılır (Vlassova et al. 2014).

$$dNBR = NBR_{yangınöncesi} - NBR_{yangınsonrası} \tag{4.2}$$

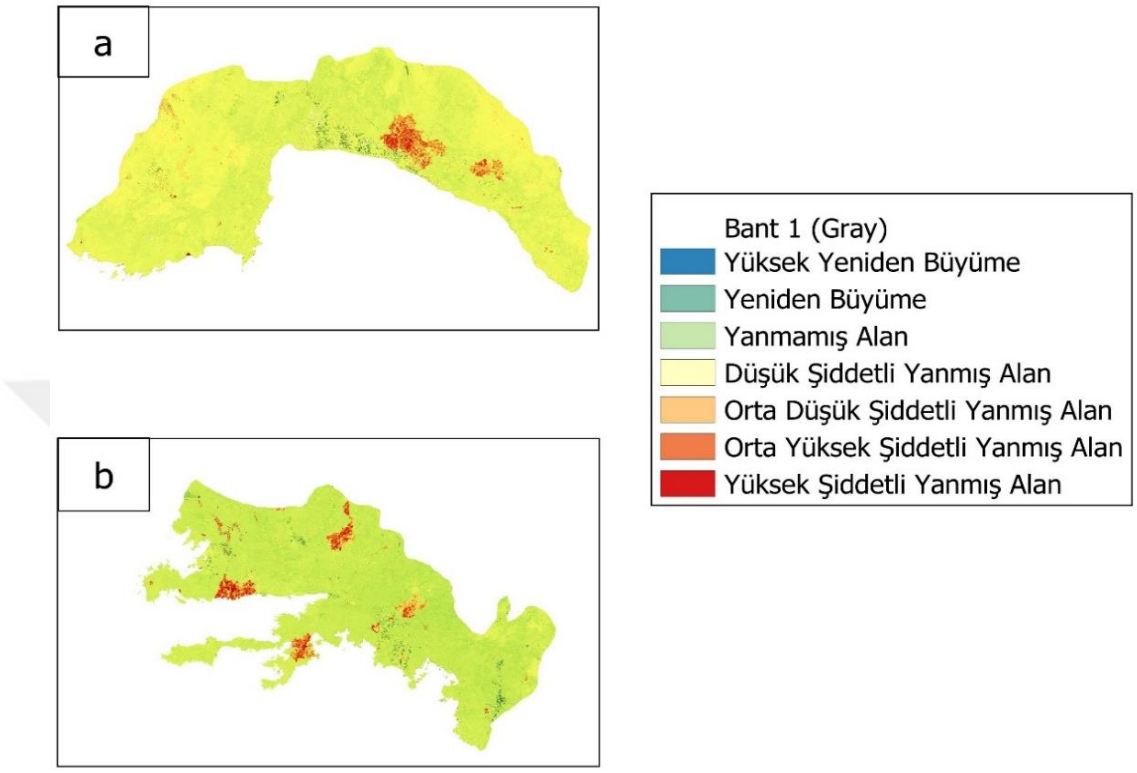
NBR indeksi -1 ile +1 arasında değerler alırken, dNBR indeksi -2 ile +2 arasında değerler almaktadır (Key 2006; Çolak ve Sunar 2018).

2021 yılı yaz mevsiminde Antalya ve Muğla'da çıkan orman yangınları sonucu yanan alanların analizi için GEE platformu üzerinden Sentinel 2 uydusunun B8 (NIR) ve B12 (SWIR2) bantları kullanılarak NBR indeksini yangın öncesi ve yangın sonrası görüntülerin farkı alınarak dNBR indeksi oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.1.** Normalize Edilmiş Yanma Fark İndeksi skalası (Key, 2006)

| Renk | Şiddet Seviyesi | dNBR Aralığı (1000 ile çarpılmış değerler) |
|---|---|---|
| | Yüksek Yeniden Büyüme | '-251 ve aşağısı" |
| | Düşük Yeniden Büyüme | '-250 ile -101" |
| | Yanmamış Alan | '-100 ile 99" |
| | Düşük Yanma Şiddetli Alan | '100 ile 269" |
| | Orta-Düşük Yanma Şiddetli Alan | '270 ile 439" |
| | Orta-Yüksek Yanma Şiddetli Alan | '440 ile 659" |
| | Yüksek Yanma Şiddetli Alan | '660 ve üzeri" |

Çizelge 4.1'deki indeks sınıflandırma işlemi Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmaları Kurumu (USGS) standartlarına göre yapılmıştır (Key 2006). Bunun sonucunda;




**Şekil 4.1.** Sentinel-2 uydusu görüntüleri kullanılarak oluşturulmuş dNBR haritaları **a)** Antalya ili; **b)** Muğla ili

Orman yangınları sonucu havaya karışan gazların hava kalitesine etkisini incelemek için Sentinel 5P TROPOMI ile türetilen mevcut görüntü türleri arasındaki günlük olarak alınan $PM_{10}$, CO, $NO_2$ görüntü türleri tercih edilmiştir (Savenets et al. 2020).

Her iki ilde de yangınların çıkış tarihleri göz önünde bulundurularak yangın öncesi görüntüleri için 13-28 Temmuz 2021 tarihleri arasındaki görüntülerden oluşturulmuştur. Yangın zamanı görüntüleri için, Çizelge 4.2'deki yangın başlangıç ve söndürülme tarihleri olan 28 Temmuz-12 Ağustos 2021 tarihleri arasındaki görüntülerden oluşturulmuştur. Yangın sonrası için de 12-27 Ağustos 2021 tarihleri arasındaki görüntüler kullanılmıştır. Ardından uydu görüntülerinin günlük ortalama yansıma değerlerinden $PM_{10}$, CO, $NO_2$ için günlük ortalama konsantrasyon değerleri elde edilmiştir. Aynı tarihler için ayrıca hava kalitesi izleme istasyonlarından da yangın alanlarına yakın olan istasyonların değerleri alınarak ortalama konsantrasyon değerleri oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.2.** Antalya ve Muğla illerinin yangın başlama ve söndürülme tarihleri

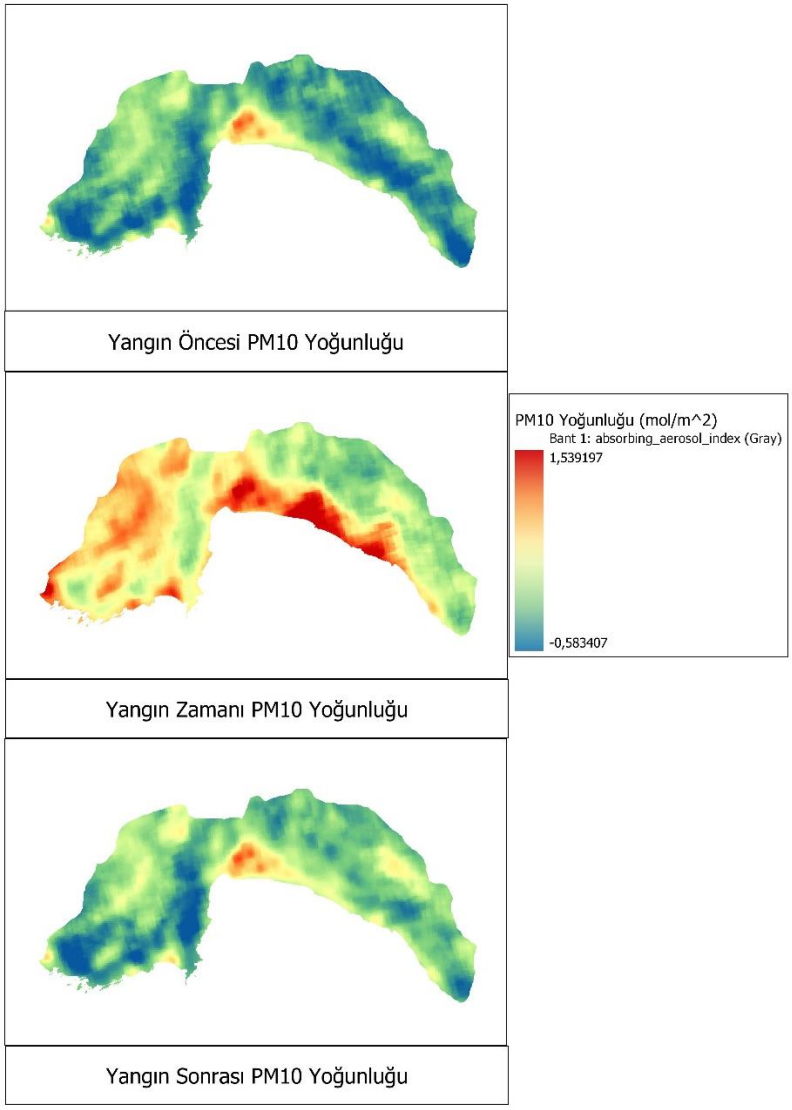
| Yangın Alanı | Yangın Başlama Tarihi | Yangın Söndürülme Tarihi |
|---|---|---|
| **Manavgat - Antalya** | 28.07.2021 | 7.08.2021 |
| **Gündoğmuş - Antalya** | 29.07.2021 | 7.08.2021 |
| **Marmaris - Muğla** | 29.07.2021 | 11.08.2021 |
| **Bodrum & Milas - Muğla** | 31.07.2021 | 11.08.2021 |
| **Köyceğiz - Muğla** | 31.07.2021 | 12.08.2021 |
| **Yatağan & Kavaklıdere - Muğla** | 31.07.2021 | 11.08.2021 |

## 4.1. Yangın - Hava Kalitesi İncelemesi

### 4.1.1. Yangın - $PM_{10}$ analizi

$PM_{10}$; fabrika, enerji tesisleri, yakma tesisleri, inşaat faaliyetleri, yangınlar, rüzgarlar gibi nedenlerle havaya karışan ve havada asılan kalabilen boyutu 10 µm'den büyük olan partikül maddelerdir. Zafer vd. (2019) yaptığı çalışmada; 1988-2017 yılları arasında Türkiye'de çıkan orman yangınlarında, yıllık ortalama olarak 17 ton $PM_{10}$ kirleticisinin atmosfere salındığı belirtilmiştir. İnsan sağlığına da zararlı olan bu kirletici çoğunlukla solunum yolu rahatsızlıklarına neden olduğu bilinmektedir (Sürekli İzleme Merkezi, 2022).

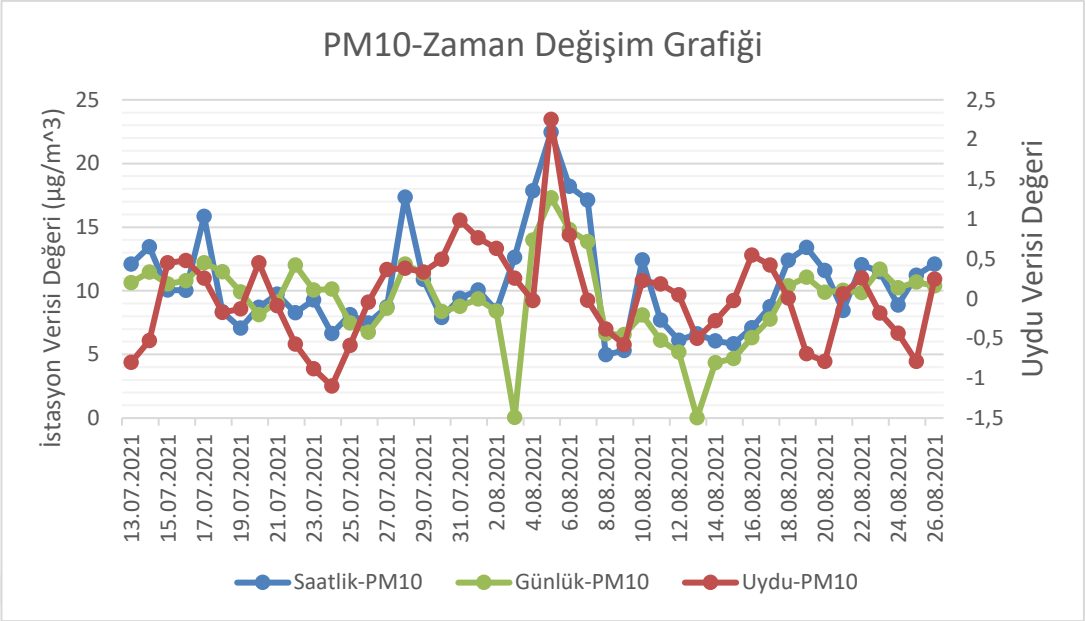
Orman yangınlarının hava kalitesine etkisini incelemek için, GEE platformu kullanılarak elde edilen Sentinel 5P TROPOMI uydusunun $PM_{10}$ konsantrasyonu görüntüleri ve istasyon değerleri Antalya ve Muğla illeri için aşağıdaki gibidir;




**Şekil 4.2.** Antalya ili $PM_{10}$ konsantrasyonu görüntüleri

Antalya'daki orman yangınlarının Manavgat ve Gündoğmuş ilçelerinde meydana geldiği göz önünde bulundurulduğunda yangın öncesi ve yangın sonrası görüntülerde çoğunlukla şehir merkezinde yoğunlaşan $PM_{10}$, yangın zamanı bu ilçelerde yoğunlaşmıştır. Genel olarak il bazında $PM_{10}$ konsantrasyonunun yangın zamanı, yangın öncesi döneme göre 3 kat arttığı görülmüştür.

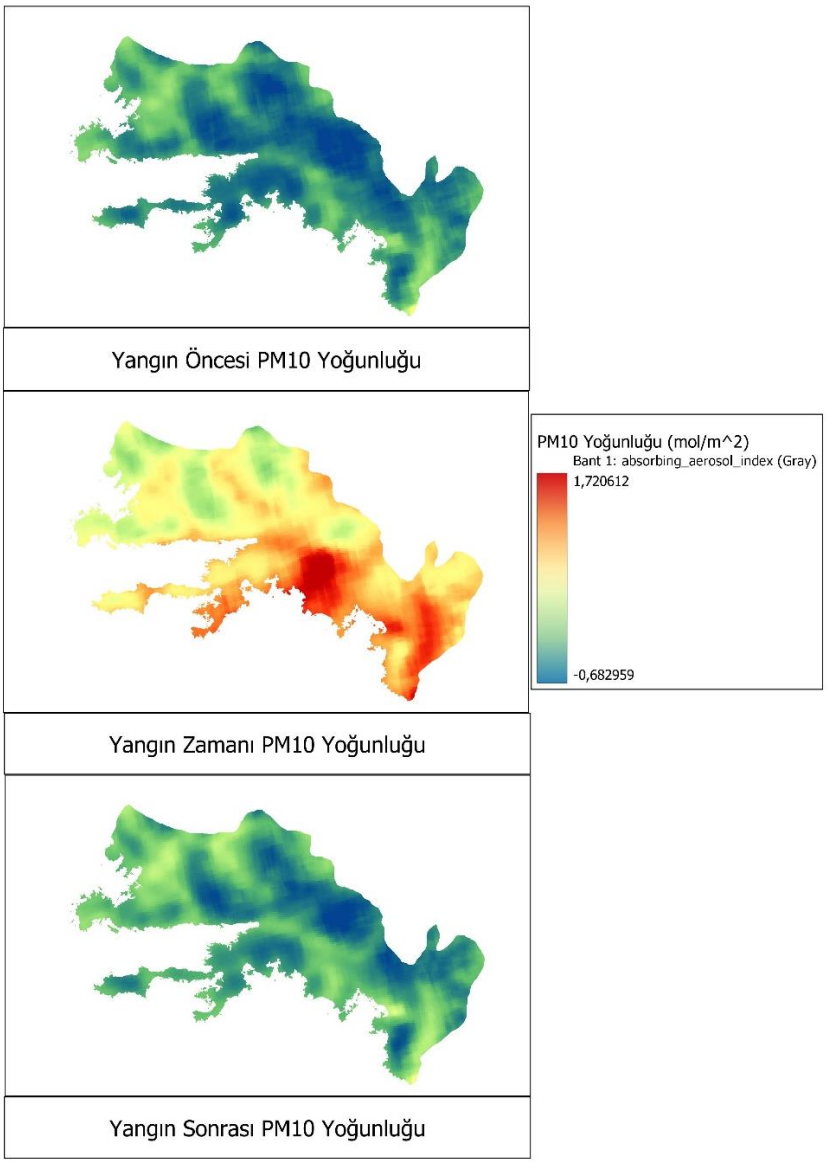
Buna ek olarak, yangın bölgesine yakın olan hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen günlük ortalama $PM_{10}$ konsantrasyonları, Sirimongkonlertkul and Phonekeo (2012) çalışmasında belirtildiği gibi istasyonların saatlik konsantrasyon değerlerinden uydunun yangın bölgesinin üzerinden geçiş saatleri dikkate alınarak elde edilen saatlik ortalama $PM_{10}$ konsantrasyonları ve uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.3'teki gibidir.




**Şekil 4.3.** Antalya ili $PM_{10}$ konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği

Yangın dönemi her 3 veri setinde de artış olduğu görülmüştür. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, saatlik olarak elde edilen istasyon verileri ve uydu görüntüleri arasında anlamlı ilişkiler olduğu görülmüştür (Sirimongkonlertkul and Phonekeo 2012; Magro et al. 2021; Soleimany et al. 2021). Fakat günlük ortalama olarak istasyon değerleri ile uydu değerleri arasındaki ilişki incelemesinin eksik olduğu fark edilmiş ve bu nedenle bu tez çalışmasında hem saatlik istasyon verileri ve uydu değerleri hem de günlük istasyon verileri ve uydu değerleri arasındaki korelasyon değerlerine bakılmıştır. Bu analiz sonucunda $PM_{10}$ için saatlik istasyon verileri ile uydu değerleri arasında 0,40239 olarak çıkan korelasyon değeri, günlük istasyon verileri ve uydu değerleri arasında 0,21538 olarak bulunmuştur. Soleimany et al. (2021) çalışmasında Kaunas şehri için alınan uydu ve istasyon verileri arasındaki ilişki 0,9243 olarak çok güçlü çıkmıştır. Sirimongkonlertkul and Phonekeo (2012) çalışmasında MODIS uydusu aerosol görüntüleri değerleri ve hava kalitesi izleme istasyonu değerleri arasındaki korelasyon 0,79 olarak bulunmuştur. Diğer çalışmalara göre bu çalışmadaki $PM_{10}$ konsantrasyonu için yapılan istasyon - uydu değerleri korelasyonu düşük çıkmıştır. Korelasyon değerlerinin farklı çıkmasının sebebi olarak kullanılan uyduların farklı teknik özelliklere sahip olmaları, çalışma alanlarının ve meteorolojik özelliklerinin farklı olması gösterilebilir.

Muğla'da 29 Temmuz zamanı Marmaris'te, 31 Temmuz'da Milas ve Bodrum'da başlayan orman yangınları ardından Köyceğiz, Yatağan, Menteşe, Fethiye'de başlamıştır. Muğla için yangın öncesi, yangın zamanı ve yangın sonrası dönemlere ait $PM_{10}$ konsantrasyonu görüntüleri aşağıdaki gibidir:




**Şekil 4.4.** Muğla ili $PM_{10}$ konsantrasyonu görüntüleri

$PM_{10}$ konsantrasyonunun Muğla ili geneli için yangın zamanı, yangın öncesi döneme göre 2 kat arttığı görülmüştür.

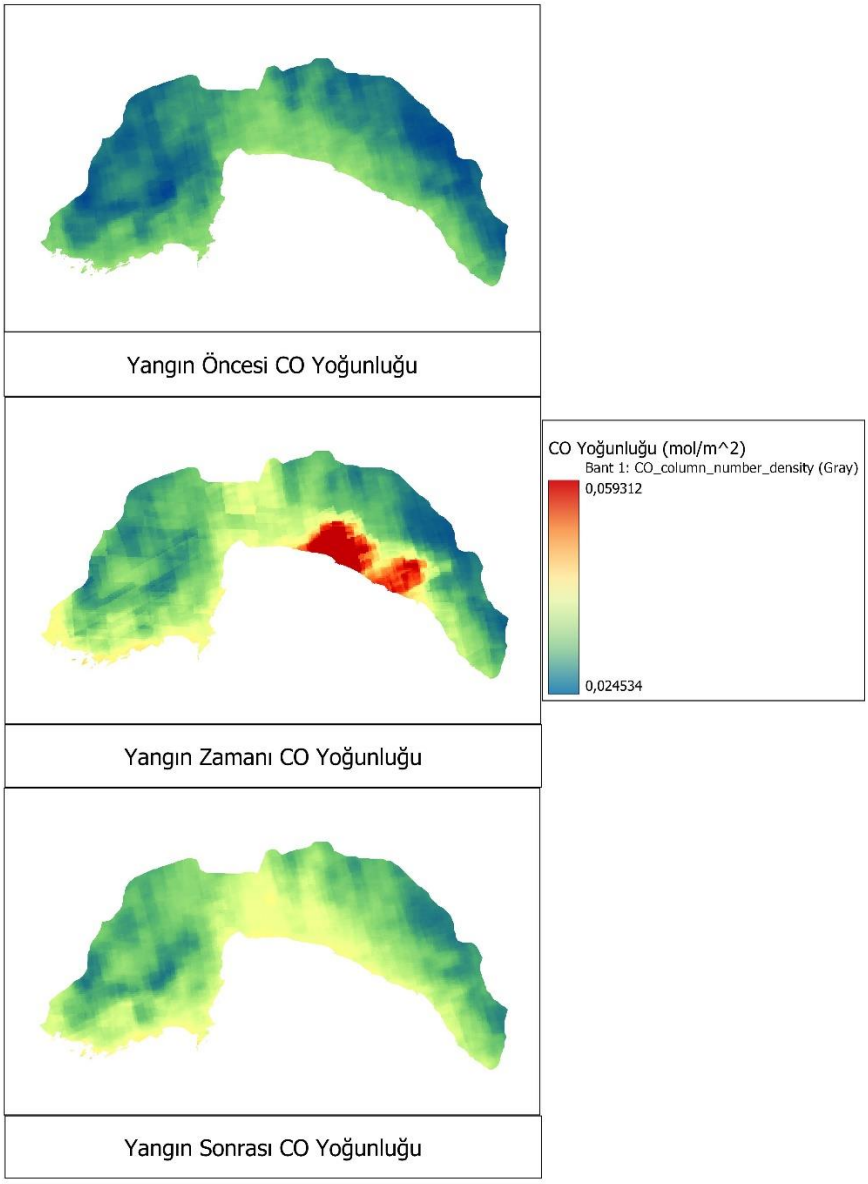
Yapılan önceki çalışmalarda da $PM_{10}$ konsantrasyonunun orman yangınları ile beraber arttığını gösteren sonuçlar bulunmaktadır. Örneğin; beş farklı hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan değerlerin incelendiği Bravo et al (2002) 1998 yılında Meksika'daki orman yangını sonucu $PM_{10}$ konsantrasyonu 1997 yılına göre 2-3 kat arttığı görülmüştür. Wu et al (2006) çalışmasında orman yangınının $PM_{10}$ konsantrasyonu üzerindeki etkisi için istasyon verileri incelendiğinde yangın olmadığı sürede konsantrasyon 40 $\mu g/m^3$ iken yangın zamanı hafif dumanlı zamanda bu değer 125 $\mu g/m^3$'e yükselmiş ve ağır dumanlı zamanda 190 $\mu g/m^3$ olarak kaydedilmiştir.

Barrera et al. (2018) çalışmasında ise orman yangını sonrası $PM_{10}$ konsantrasyonunun şehir standartları üstüne çıktığı görülmüştür. Tariq et al. (2021) çalışmasında Antalya ve Muğla illerinin ilçelerinde 2021 yılındaki orman yangınlarının aerosol üzerindeki etkisine bakıldığında; Antalya'da Manavgat ve Gündoğmuş ilçelerinde yangın döneminde aerosolün maksimum düzeyde yani 2,1'in üstüne çıktığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada, Muğla'da özellikle Marmaris ve Milas ilçelerinde aerosolün 5 Ağustos'ta en yüksek değerde yani 2,2 üstünde olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada da hem Antalya ili için hem de Muğla ilindeki yangınlar sonucu $PM_{10}$ konsantrasyonlarında, uydu ve istasyon verilerine dayanarak yangın öncesine göre 2-3 kat yükselme gösterdiği görülmüştür.

### 4.1.2. Yangın - CO analizi

Renksiz, kokusuz, tatsız bir gaz olan CO; karbon içerikli yakıt maddelerin tam yanmaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Birincil hava kirleticilerden biri olan CO, $PM_{10}$ gibi orman yangınları sonucu atmosfere salınan kirleticilerdendir ve Zafer vd. (2019) çalışmasında 1988-2017 yılları arasında çıkan orman yangınları sonucu yıllık ortalama 57 ton CO'nun atmosfere salındığı belirtilmiştir. Kanda oksijene tutunarak hücrelerin oksijensiz kalmasına sebep olmaktadır. Uzun süre solunması durumunda beyin hasarlarına sebep olmaktadır (Sürekli İzleme Merkezi 2022).

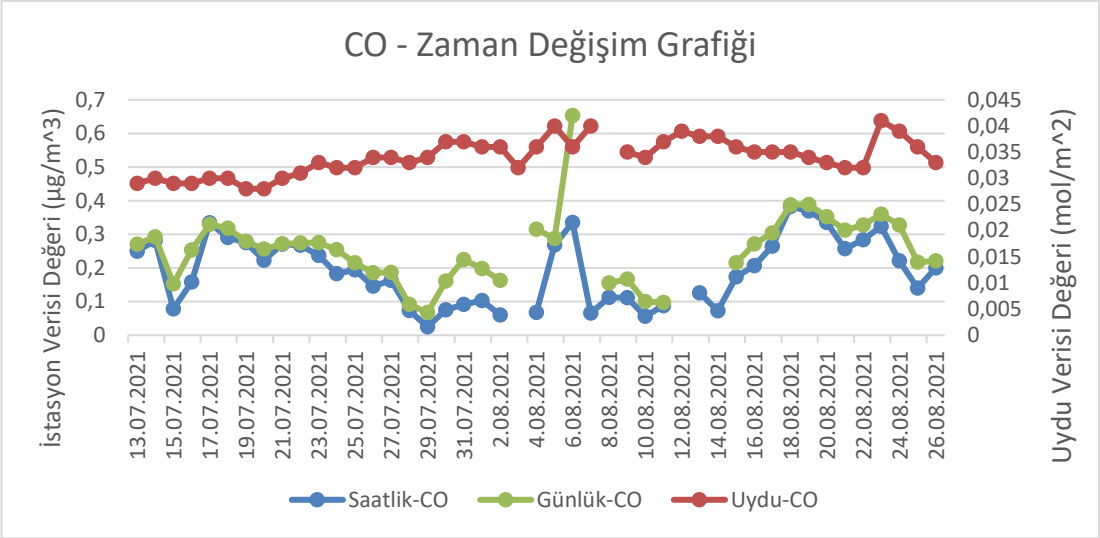
Antalya ve Muğla'daki orman yangınlarının hava kalitesine etkisine bakmak için GEE platformunda CO konsantrasyonu için Şekil 4.5'teki görüntüler oluşturulmuştur.




**Şekil 4.5.** Antalya ili CO konsantrasyonu görüntüleri

CO, Antalya ilinde $PM_{10}$ yoğunluğunda olduğu gibi yangın dönemi Manavgat ve Gündoğmuş'da yoğunlaşmıştır (Şekil 4.5). Yangın öncesi ve yangın sonrası dönemlere bakıldığında kıyı bölgelerde ve şehir merkezinde yoğunlaştığı görülmektedir. CO konsantrasyonundaki yangın zamanı artışı yaklaşık olarak % 19 olarak ölçülmüştür.

Saatlik ve günlük ortalama CO konsantrasyonu istasyon verileri ve uydu CO konsantrasyon değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği çizildiğinde Şekil 4.6'daki gibidir.

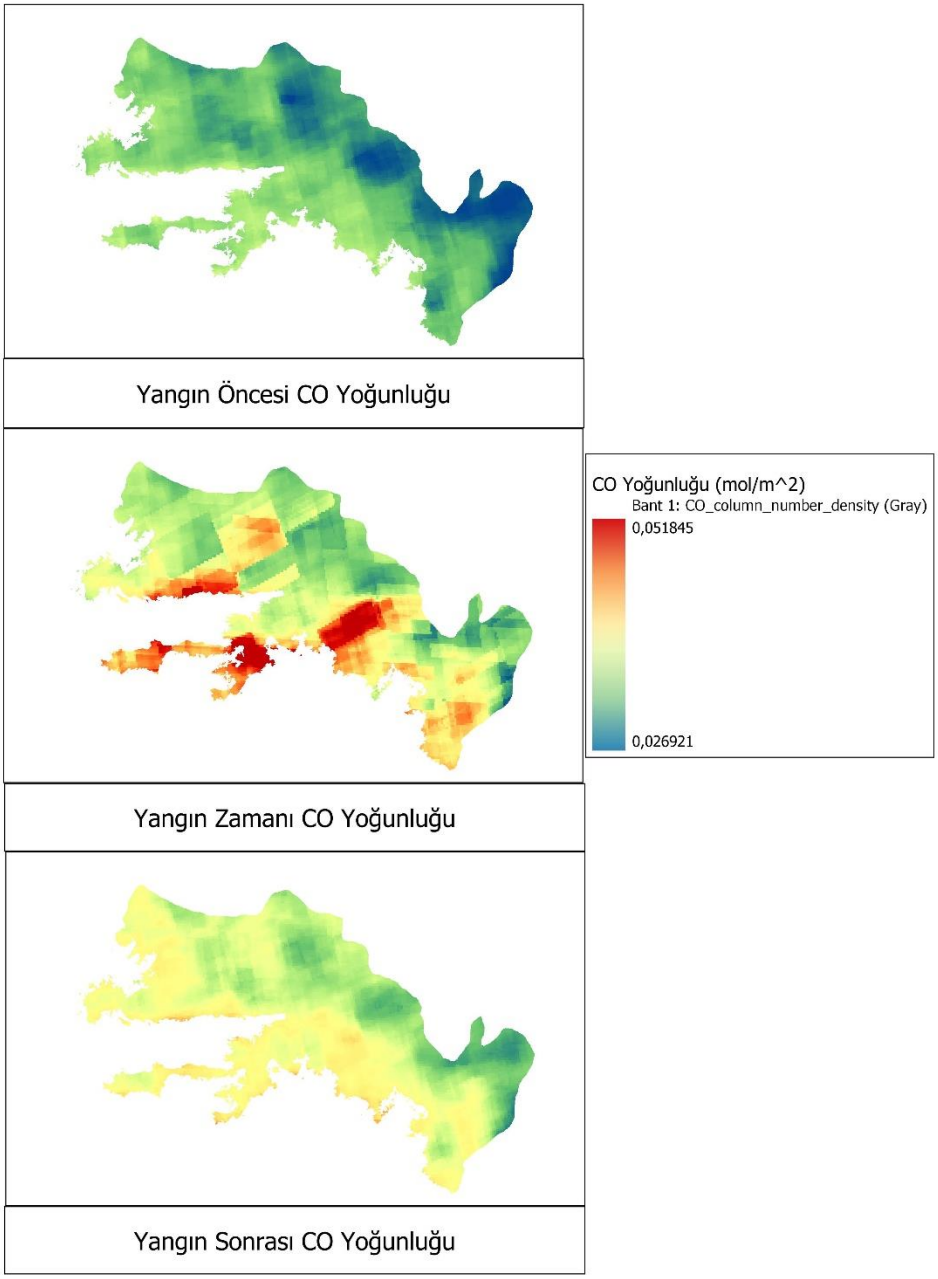



**Şekil 4.6.** Antalya ili CO konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği

Veri setlerindeki veri eksikliği nedeniyle bazı günlerde veriler görüntülenememiştir. Daha önce $PM_{10}$ veri setleri için uygulanılan korelasyon analizi CO veri setleri için de uygulanmıştır. Ve analiz sonucu saatlik istasyon verileri-uydu değerleri korelasyon değeri -0,26973, günlük istasyon verileri-uydu değerleri korelasyonu 0,03317 olarak bulunmuştur. Savenets et al. (2020) çalışmasında olduğu gibi CO için uydu değerleri ve istasyon verileri arasındaki ilişki çok zayıf olduğu ve CO konsantrasyonu takibi için uydu veri setinin istasyon veri setine göre daha iyi tanımlama yaptığı görülmüştür. Mendez-Espinosa et al. (2019) çalışmasında CO için MODIS ve istasyon veri setleri arasında pozitif korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ise Sentinel 5P TROPOMI uydusu ile günlük istasyon veri setleri arasında çok düşük de olsa pozitif korelasyon olduğu görülmüştür. Fakat istasyon ve uydu verilerindeki yangın dönemindeki eksiklik, sonuçları etkileyebileceği düşünülmektedir.

Muğla'daki yangın zamanında Bodrum-Milas, Marmaris ve Köyceğiz 'de CO açısından yoğunluk olduğu görülmektedir. Yangın öncesi ve sonrasında ise yerleşim yerleri olan yerlerde ve kıyı bölgelerde yoğunluk görülmektedir (Şekil 4.7). Tariq et al. (2021) çalışmasında, özellikle 4-8 Ağustos tarihleri arasında en yoğun olarak Köyceğiz'de CO yoğunluğunun 0,08 mol/$m^2$ olarak ölçülmüştür.

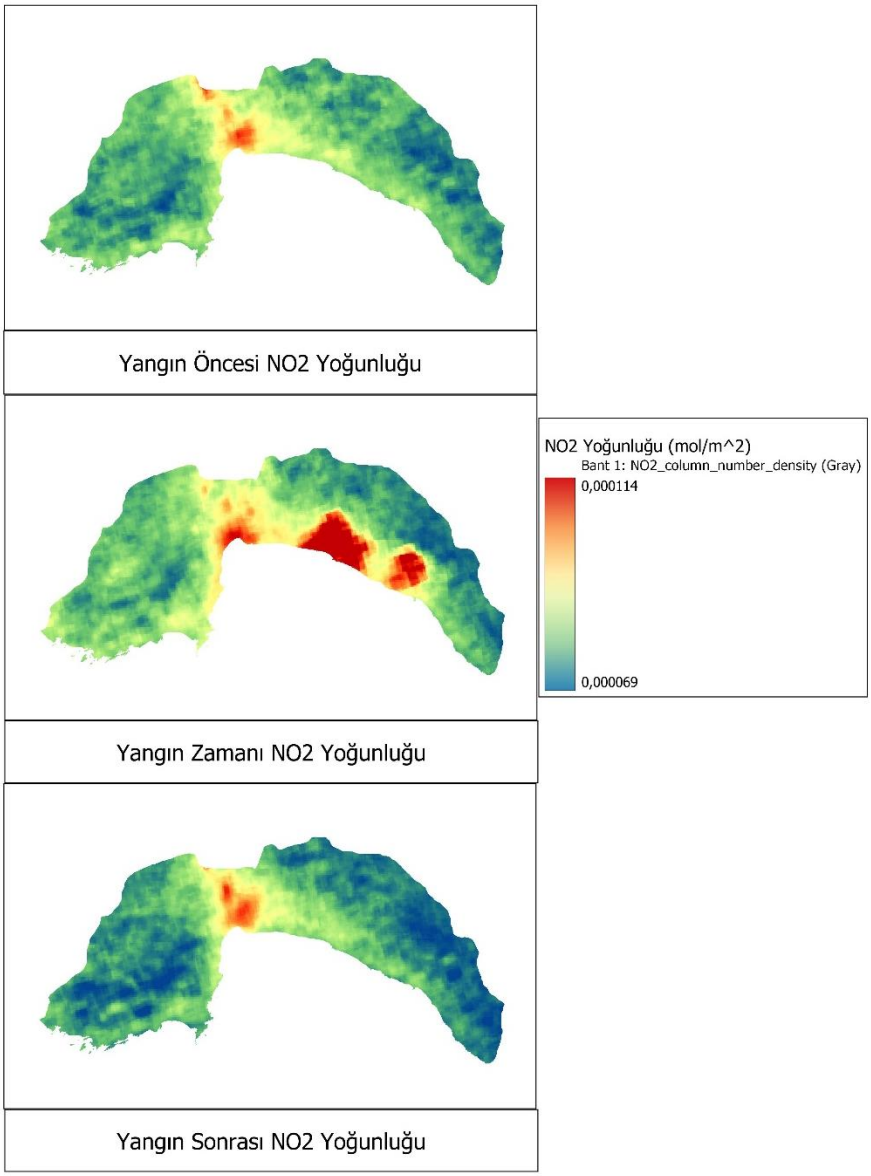
Muğla'daki yangın zamanı CO konsantrasyonundaki artış ise yaklaşık % 13 olarak ölçülmüştür.




**Şekil 4.7.** Muğla ili CO konsantrasyonu görüntüleri

### 4.1.3. Yangın - $NO_2$ analizi

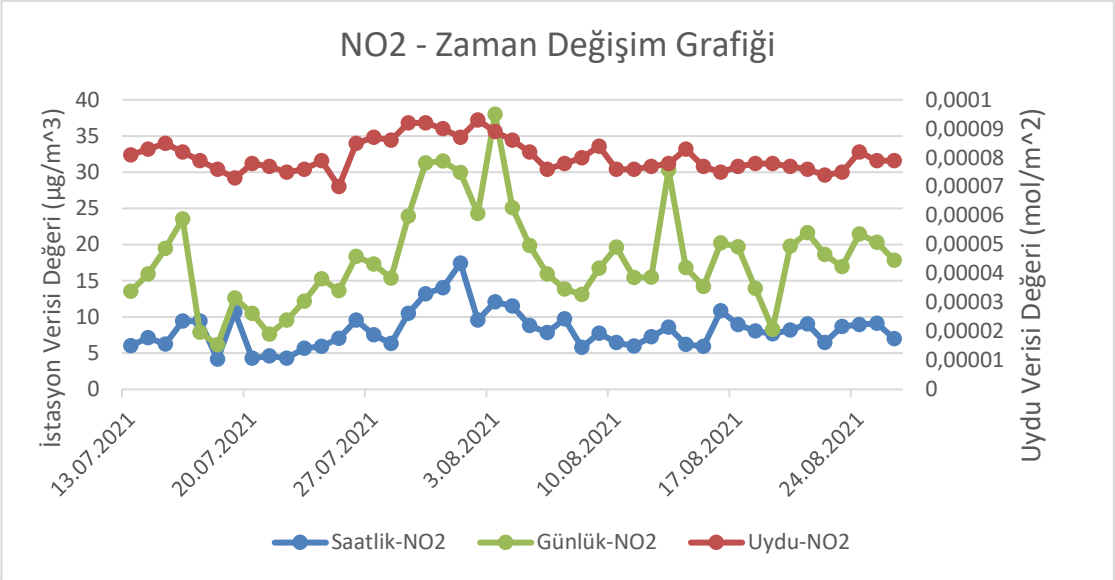
İnsan sağlığını en çok etkileyen azot oksit türüdür ve kentsel bölgelerdeki en önemli kirleticilerden biridir (Sürekli İzleme Merkezi 2022). Su buharı varlığında, $SO_2$ ile etkileşimi sonucu asit yağmurlarına neden olan $NO_2$, orman yangınları sonucu ortaya çıkabilen kirleticilerden biridir.




**Şekil 4.8.** Antalya ili $NO_2$ konsantrasyonu görüntüleri

Şekil 4.8'e göre, Antalya'da yangın döneminde, yangın alanlarında yoğunlaşan $NO_2$, yangın öncesi ve yangın sonrası dönemlerde kentsel alanda yoğunlaşmıştır. Yangın zamanı dönemde, yangın öncesi döneme göre $NO_2$ konsantrasyonunda yaklaşık olarak % 7'lik bir artış görülmüştür. Portin et al. (2012), Soleimany et al (2021) çalışmalarında da orman yangınları sonucu $NO_2$ konsantrasyonunda artış olduğu görülmüştür.

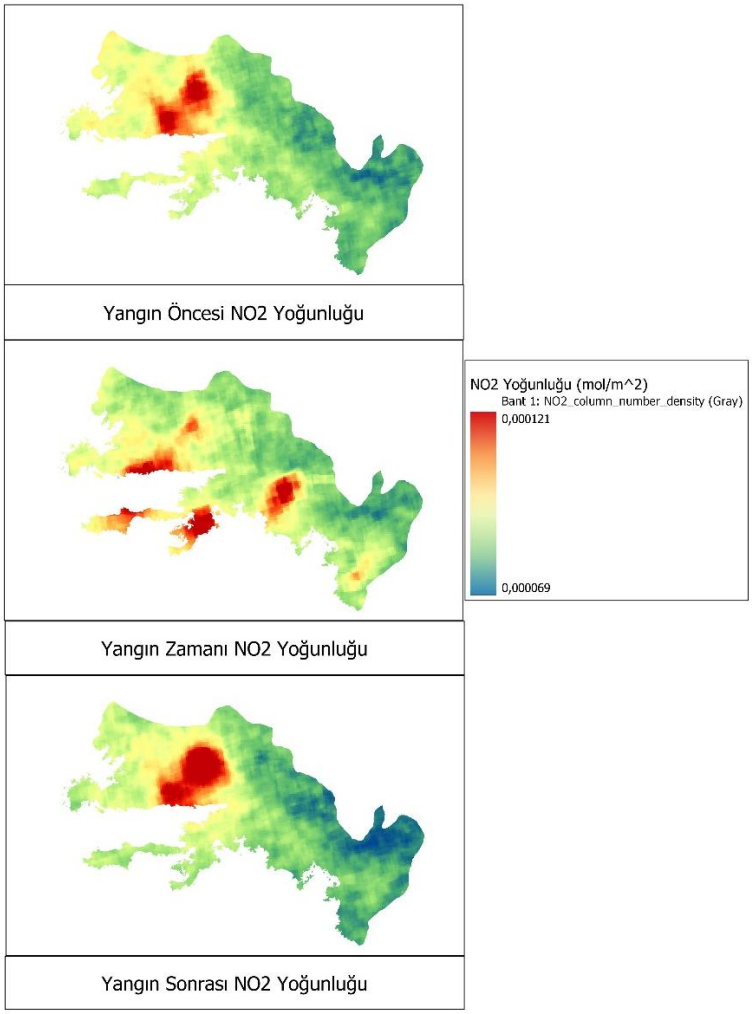
Ayrıca istasyon ve uydu görüntüleri $NO_2$ konsantrasyon değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.9'daki gibidir.




**Şekil 4.9.** Antalya ili $NO_2$ konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği

Şekil 4.9.'da, yangın zamanına bakıldığında her 3 veride de artış olduğu görülmektedir. $NO_2$ veri setleri için uygulanan korelasyon analizi sonucunda saatlik istasyon verileri- uydu değerleri korelasyon değeri 0,50990, günlük istasyon verileri-uydu değerleri korelasyon değeri ise 0,60916 olarak bulunmuştur. Soleimany et al. (2021) çalışmasında korelasyon değeri 0,920 olarak çıkmıştır. Savenets et al. (2020) çalışmasında Sentinel 5P TROPOMI uydu görüntülerinin istasyon verilerine göre $NO_2$ konsantrasyonu görüntülemede veri elde etme hızı ve veri kapsama alanı bakımından daha iyi olduğu görülmüştür.

Yangın öncesi ve yangın sonrasında Bodrum-Milas bölgesinde yoğunlaştığı görülen $NO_2$'nin yangın dönemi Bodrum, Marmaris, Köyceğiz yangınları bölgesinde yoğunlaştığı görülmüştür. Tariq et al. (2021), Köyceğiz için yangın döneminde $NO_2$ yoğunluğunu 167 µmol/$m^2$ üzerinde olduğunu belirtmiştir. Yangın öncesi ve sonrasında Bodrum'da yoğunlaşması, orada bulunan termik santral ile açıklanabilir.




**Şekil 4.10.** Muğla ili $NO_2$ konsantrasyonu görüntüleri

Yangın zamanı $NO_2$ konsantrasyonunda, yangın öncesi döneme göre artış Muğla ili için yaklaşık % 3'tür.

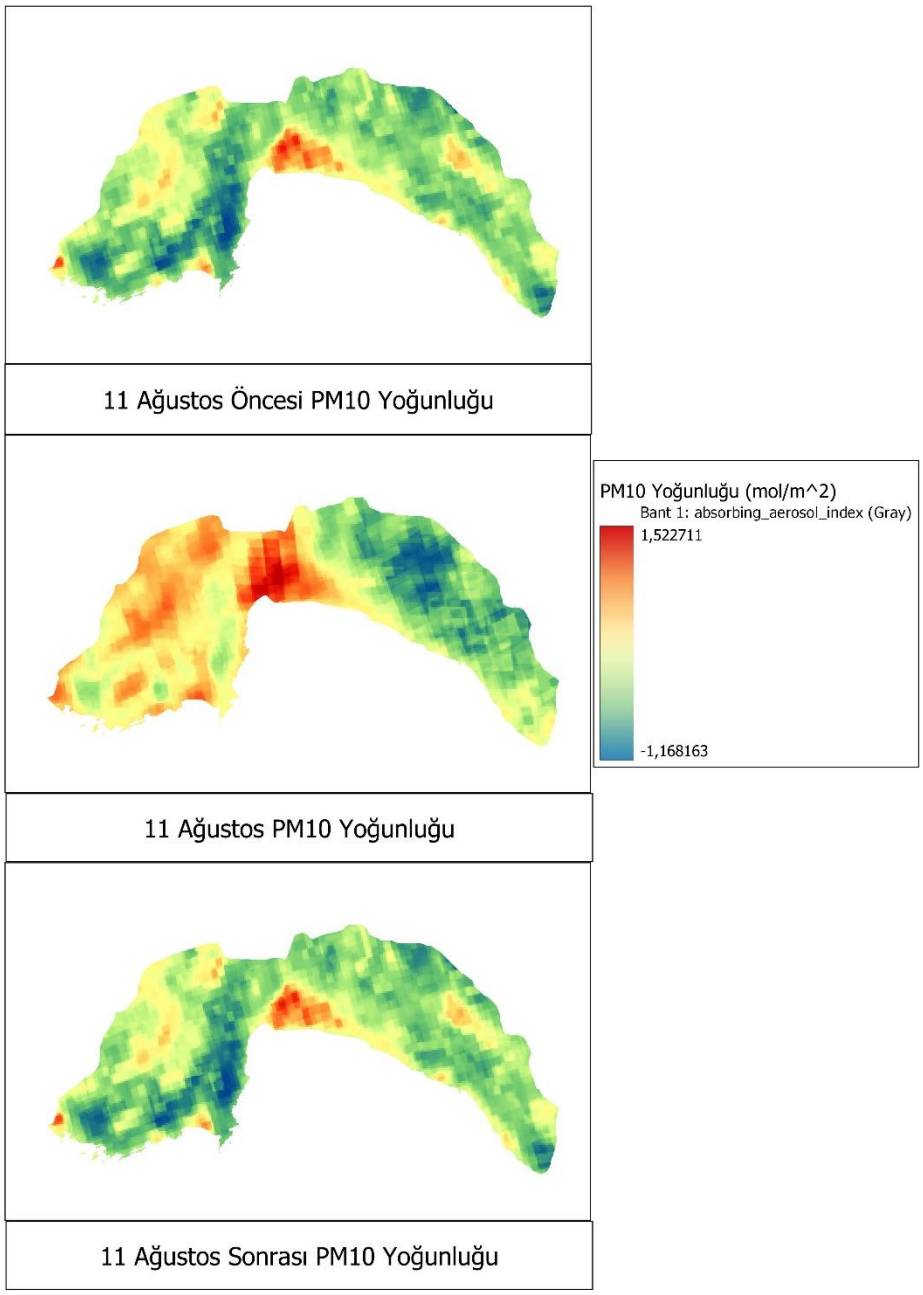
### *11 Ağustos 2021 hava kirliliği*

Yangın sonucu atmosfere salınan kirletici gaz ve partiküller, atmosferin yatay veya düşey hareketleri ile çevre alanlara doğru hareket edebilmektedir (Sofowote and Dempsey 2015). İki bölge arasındaki basınç, sıcaklık farkından kaynaklı oluşan rüzgarlar ile birlikte oradaki hava kütlesi diğer bölgeye doğru göç eder. Yeni bölgeye ulaşan kirleticiler, o bölgedeki hava kalitesini de etkilemektedir. Bu harekette rüzgar hızı ve yönü çok önemlidir (Wu et al. 2018). Özellikle rüzgarın hızlı olduğu zamanlarda, rüzgarlı olan bölgeye ait hava kalitesinin daha temiz olduğu görülmektedir (Sofuoğlu, A. ve Sofuoğlu, S. 2013).

**Şekil 4.11.** Antalya havasının 11 Ağustos 2021 tarihindeki fotoğrafı (Fotoğraf, tez sahibine aittir.

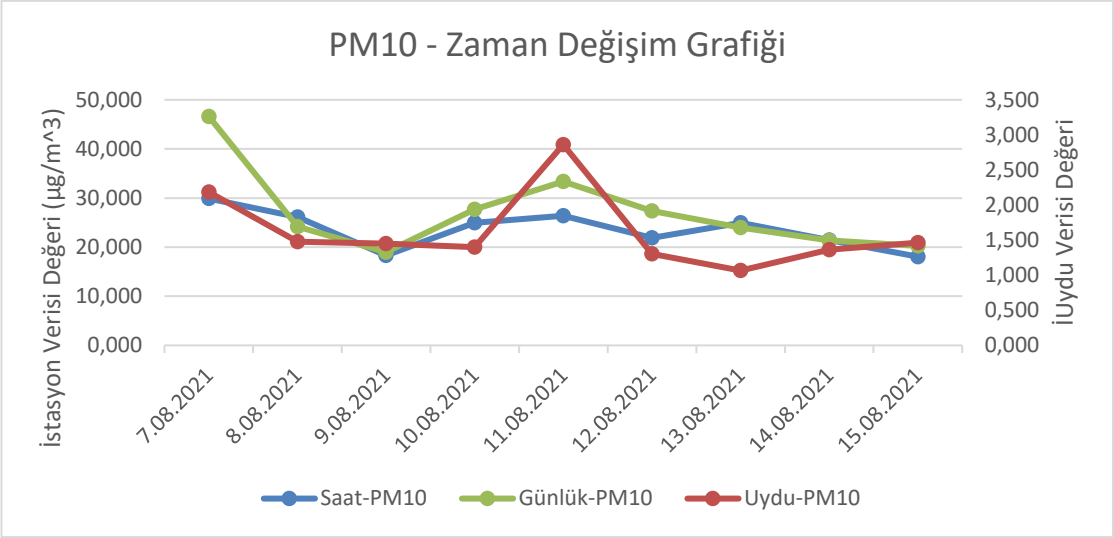
Burdur'un Bucak ilçesine bağlı Çobanpınarı Köyü'nde başlayan orman yangını, rüzgardan dolayı kontrol altına alınamaması ile hızla büyümüştür. 11 Ağustos günü Antalya'nın şehir merkezinde Şekil 4.11 ve 4.12'deki gibi yoğun bir kül bulutu oluşmuştur. Dempsey (2013), Mendez-Espinosa et al. (2019), Portin et al. (2012) gibi çalışmalar baz alındığında, Çobanpınarı Köyü'ndeki yangın ile şehir merkezindeki bu hava kirliliği arasında bir ilişki olabileceği düşünülerek o günkü $PM_{10}$ değerlerine bakılmıştır. Antalya şehir merkezinden yaklaşık 75 km uzaklıkta bulunan yangından o günün rüzgar hareketlerinin iç kesimlerden kıyı kesimlere doğru kuzey yönlü şekilde estiği için yangın dumanını taşıdığı düşünülmektedir.

**Şekil 4.12.** Antalya Havasının 11 Ağustos 2021 tarihindeki fotoğrafı (Gazete Duvar 2022)




**Şekil 4.13.** Antalya ili 11 Ağustos hava kirliliği için $PM_{10}$ konsantrasyonu görüntüleri

Ayrıca şehir merkezinde bulunan hava kalitesi izleme istasyonlarından alınan günlük ortalama $PM_{10}$ değerleri ve Sentinel 5P TROPOMI uydusunun şehir üzerinde görüntü alım saatleri dikkate alınarak oluşturulan saatlik ortalama değerler ile uydu görüntülerinden elde edilen $PM_{10}$ değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.14'teki gibidir.



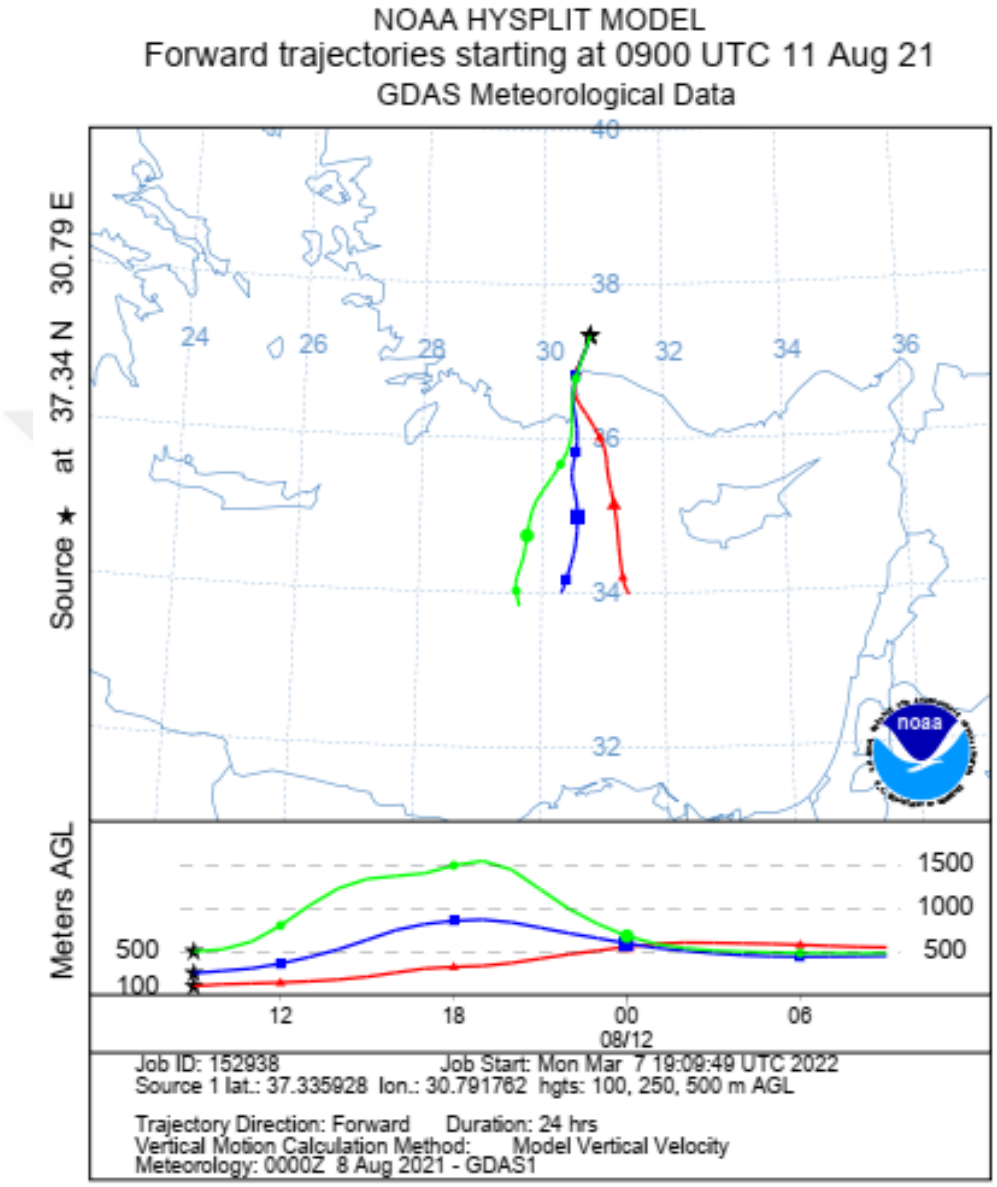

**Şekil 4.14.** Antalya ili 11 Ağustos hava kirliliği $PM_{10}$ konsantrasyonunun zamana bağlı değişim grafiği

Grafikte, 11 Ağustos 2021 tarihinde Antalya'da yaşanan hava kirliliği artışı gösterilmiştir. Gerek uydu değerlerinde gerekse hava kalitesi izleme istasyonları günlük ortalama ve saatlik değerlerin ortalamasına göre 11 Ağustos günü artışı olduğu görülmüştür. Önceki bölümlerde gerçekleştirilen korelasyon analizi, bu 3 veri setine de uygulanmıştır. Analiz sonucunda saatlik istasyon verileri-uydu değerleri arasındaki korelasyon değeri 0,48817, günlük istasyon değerleri-uydu değerleri arasındaki korelasyon değeri ise 0,65005 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, günlük ortalama istasyon değerleri ile uydu değerleri arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişki bulunmaktadır.

Hava kirliliğinin kaynağını tahmin etmek için, literatürde benzer çalışmalarda kullanılan bir yöntem olan hava kütle taşıma modellemesi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan FLEXTRA, HYSPLIT gibi çeşitli modelleme teknikleri bulunmaktadır (Portin et al. 2012; Mendez-Espinosa et al. 2019). Modelleme için Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi'ne (NOAA) bağlı olan Hava Kaynakları Laboratuvarı'nın (ARL) geliştirdiği Hibrit Tek Parçacık Lagrange Entegre Yörünge modeli (HYSPLIT) kullanılmıştır (Drooge et al. 2016; Kim and Sarkar 2017; Savenets et al. 2020; Moreira et al. 2021; Tariq et al. 2021). Bu model, basit hava parsel yörüngelerinin yanı sıra karmaşık hava kütlesi taşıma, dağılım, kimyasal dönüşüm ve biriktirme simülasyonlarını hesaplamak için oluşturulmuş bir atmosferik taşıma ve dağılım modelleme sistemidir (Stein et al. 2015).

Modelleme için Çobanpınarı Köyü'ndeki yangın bölgesi konum olarak ayarlanmış, 24 saatlik verinin başlangıç zamanı için 11 Ağustos 2021 tarihinde yangının başlama saati olan 12:00 seçilmiştir. Ardından yer seviyesinden 100 m, 250 m ve 500 m yüksekteki hava kütlesi taşınma yolu modellemesi yapılmıştır. Şekil 4.15'teki modelde

yangın bölgesinden o günün meteorolojik parametrelerine bağlı olarak taşınan hava kütlesinin muhtemel yolları gösterilmektedir.




**Şekil 4.15.** Çobanpınarı Köyü yangının dumanının oluşturulan HYPSLIT hareket modellemesi

Önceki çalışmalar ışığında oluşturulan ileri yönlü HYSPLIT modele göre, 11 Ağustos 2021 tarihinde Antalya Merkez ilçelerinde yaşanan hava kirliliğinin sebebi Şekil 4.15'te yıldız ile işaretli olan Burdur/Bucak Çobanpınarı Köyü'ndeki orman yangını olduğu söylenebilir.

### *Muğla Kemerköy Termik Santrali ve Yangın Analizi*

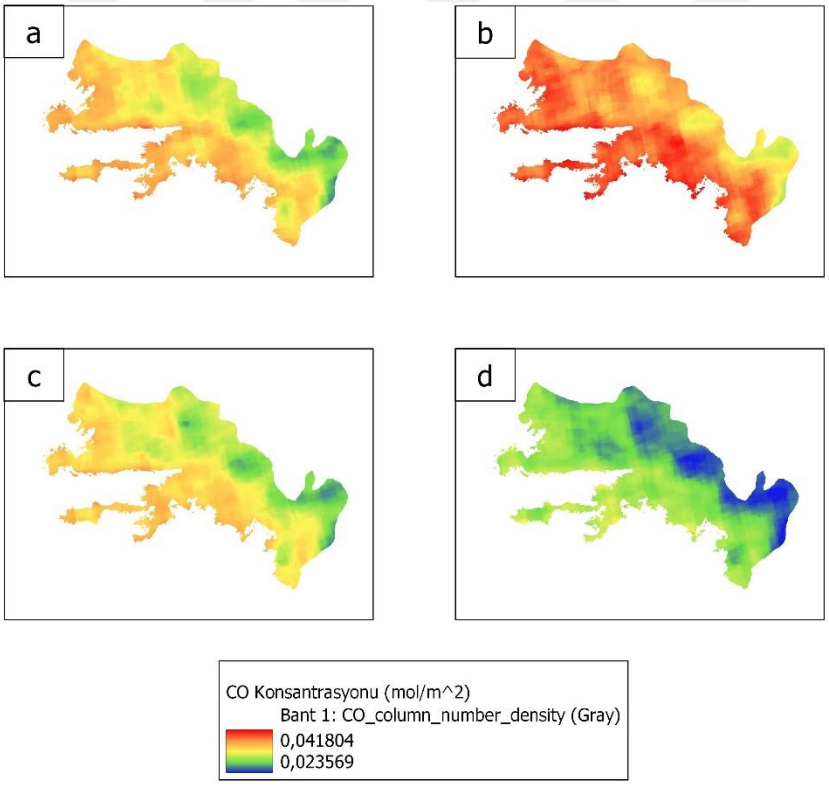
1993 yılında faaliyete geçen Kemerköy Termik Santrali, 3 ünitesi ile 630 MegaWatt (MW) elektrik üretmektedir. 2 üniteli olarak 420 MW elektrik üreten Yeniköy Termik Santrali ile beraber Türkiye'nin yaklaşık % 5'lik elektrik enerjisi ihtiyacını sağlamaktadır. Santralde yakıt olarak linyit kömürü kullanılmaktadır (YK Enerji 2022). Linyit kömürü çıkarıldığı alandan santrale gelene kadar ufak parçalara bölünür ve santrale geldiğinde 40 mm kadar küçük parçalara ayrılır. Santral içindeki değirmenlerde öğütülerek toz haline getirilir ve hava ile karıştırılır. Yakıcılar tarafından fuel-oil ile reaktöre püskürtülür. Yanma işlemi sırasında $O_2$, hava kazan dairesi dışından emilerek 540 °C'ye kadar ısıtılır ve reaktöre aktarılır. Böylelikle yanma işlemi gerçekleştirilir. Bu yanma işleminde kömür içeriğindeki karbonun $CO_2$ ya da CO'e, hidrojen $H_2O$'ya, kükürt $SO_2$'ye ve azot ise NOx'e dönüşür. Fakat karbonun tamamının $CO_2$'de dönüşememesi ile eksik yanma meydana gelir ve ortamda CO konsantrayonu artar. Bacaya yönlendirilen yanma sonrası gazları baca filtreleri sayesinde yaklaşık % 99 oranında filtrelenerek zararlı gazların atmosfere salınımı engellenir. Fakat filtrelenemeyen az miktarda zararlı gaz ve PM atmosfere salınır. Bunlar $SO_2$, NOx, kömürden kaynaklı uçucu organik moleküller, CO, $CO_2$ ve kurşun, bakır, çinko gibi eser miktarda metal havaya karışır. Bu metaller $SO_2$ ve NOx'in toksisitesini arttırarak ileride asit yağmurlarına zemin hazırlamaktadır (Nuhoğlu ve Selmi 1998). Eğer termik santral performansı arttırılırsa bölgedeki hava kirliliği de artabilir (Fuladlu and Altan 2021).

**Şekil 4.16.** Muğla Kemerköy Termik Santrali lokasyonu

29 Temmuz 2021 tarihinde Bodrum-Milas bölgesinde başlayan orman yangınının kısa sürede büyümesi ile beraber alevler Kemerköy Termik Santrali'nin bahçesine kadar ulaşmıştı. Bunun üzerine yetkililer tarafından olası facialarn (yangın, hava kirliliği vb.) önüne geçmek için santralin çalışması durdurulmuştu. Kısa süre sonra yangın santral ünitelerine ulaşmadan kontrol altına alınınca santral tekrar çalışmaya başladı (NTV 2022).

Bodrum-Milas bölgesindeki orman yangınından kaynaklanan emisyonun, termik santral emisyonuna bir etkisinin olup olmadığını incelemek için GEE platformu kullanılarak yangın sonrası dönem için 13-28 Ağustos (b) ve 29 Ağustos-12 Eylül (a) tarihleri arasında iki adet konsantrasyon görüntüsü, yangın öncesi ile karşılaştırmak için ise 13-28 Temmuz (c) ve 28 Haziran-12 Temmuz (d) tarihleri arasında iki adet konsantrasyon görüntüsü elde edilmiştir.

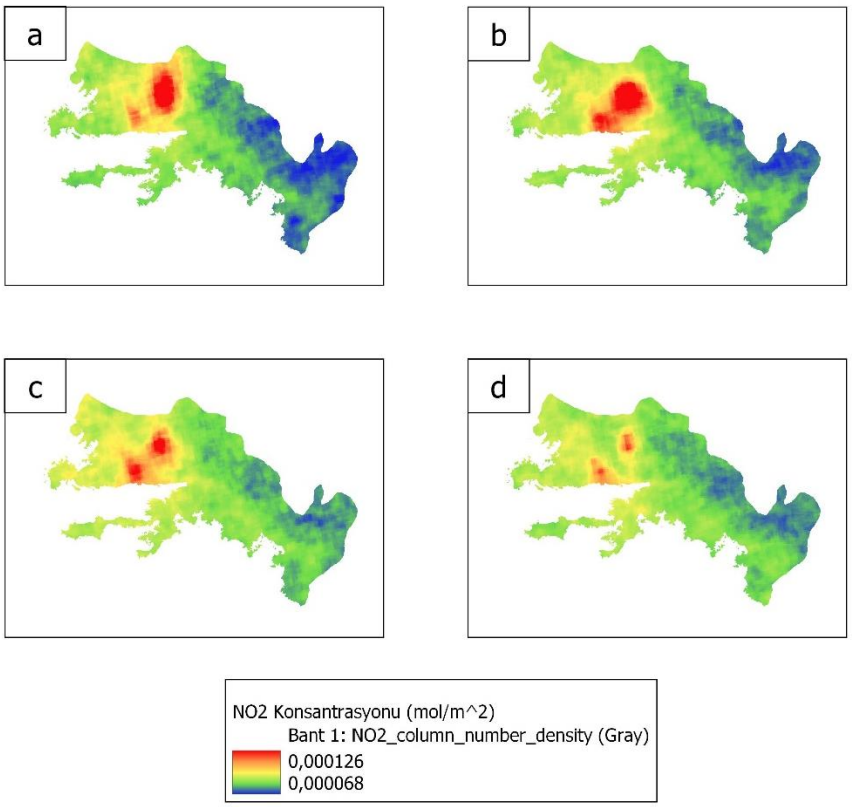
Termik santral emisyonunda bulunabilecek olan CO, $NO_2$ gazları konsantrayon görüntülerine bakılmıştır.




**Şekil 4.17.** Muğla ili CO konsantrasyonu görüntüleri **a)** 29 Ağustos-12 Eylül; **b)** 13-28 Ağustos; **c)** 13-28 Temmuz; **d)** 28 Haziran-12 Temmuz dönemleri

Alınan uydu görüntülerine göre; yangından hemen sonraki b. görüntüsünde CO yoğunluğu santral çevresinde yoğun iken bir sonraki yangın sonrası a. görüntüsünde yoğunluğun azaldığı ve yangın öncesindeki döneme benzer bir yoğunluğa sahip olduğu görülmüştür. Yangından hemen sonraki dönemde CO yoğunluğunun yüksek olması

yangının varlığına bağlı olabileceği düşünülmektedir. Yangından önceki dönemlere bakıldığında d. görüntüsünde CO konsantrasyonunun daha düşük olduğu görülmüştür.




**Şekil 4.18.** Muğla ili $NO_2$ konsantrasyonu görüntüleri **a)** 29 Ağustos-12 Eylül; **b)** 13-28 Ağustos; **c)** 13-28 Temmuz; **d)** 28 Haziran-12 Temmuz dönemleri

Yangın öncesi dönemde düşük olduğu görülen $NO_2$ konsantrasyonunun, yangın sonraki dönemlerde yükseldiği görülmüştür. Özellikle yangından hemen sonraki dönemde yüksek olan konsantrasyonunun yangın emisyonlarından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. d. görüntüsünde yoğunluğun yangın öncesi döneme benzer şekilde c.'ye göre düşük olduğu görülmüştür.

## 4.2. Yangın - Yer Yüzey Sıcaklığı İncelemesi

Yangınların yer yüzey sıcaklığı üzerindeki etkileri yapılan diğer çalışmalarda yangın döneminde sıcaklıkta artış olarak gözlenmektedir (Ge 2011; Quantino et al. 2015; Zhang et al. 2020; Cihan vd. 2022). Yangınlar ile yükselen YYS'nın hemen düşmediği de görülmüştür (Zhang et al. 2020).

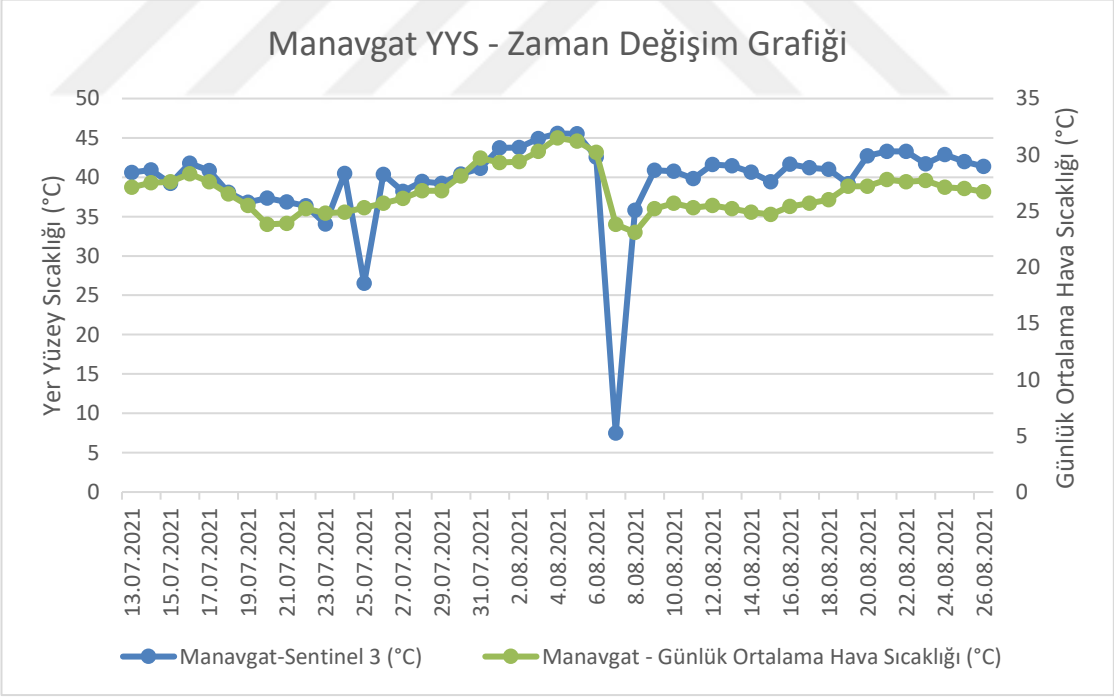
Bu tez çalışmasında, 2021 yılı yaz döneminde Türkiye'nin birçok ilinde meydana gelen orman yangınlarından Antalya ve Muğla illerindeki yangın bölgelerine yoğunlaşılmıştır. Orman yangınlarının YYS'na etkisini incelemek amacıyla 13 Temmuz 2021 ile 26 Ağustos 2021 tarihleri arasında Sentinel 3 SLSTR uydusundan görüntüler

alınmıştır. Alınan görüntüler SNAP ve QGIS programları kullanılarak işlenmiştir ve görüntülerin sıcaklık değerleri Kelvin (K) cinsi olduğu için bu değerler Celsius (°C)'a çevrilmiştir.

Orman yangınlarının YYS'na etkisini incelemek için özellikle illerdeki yangın bölgelerine odaklanılmıştır. Ayrıca yangınların il genelinde YYS'na etkisine de bakılarak yangın bölgeleri ve il geneli YYS karşılaştırmaları yapılmıştır.

YYS, Güneş'in ışınları ile beraber ısınan Dünya'nın yer yüzeyi tarafından yayılan sıcaklık değeridir (Shrestha et al. 2018). Günlük hava sıcaklığı ile YYS arasında güçlü bir ilişki olduğu yapılan çalışmalarda bilindiği için, MGM'den yangın bölgelerine yakın yerlerde bulunan meteoroloji istasyonlarından elde edilen günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri de grafiklere eklenmiştir (Zhang et al. 2020).

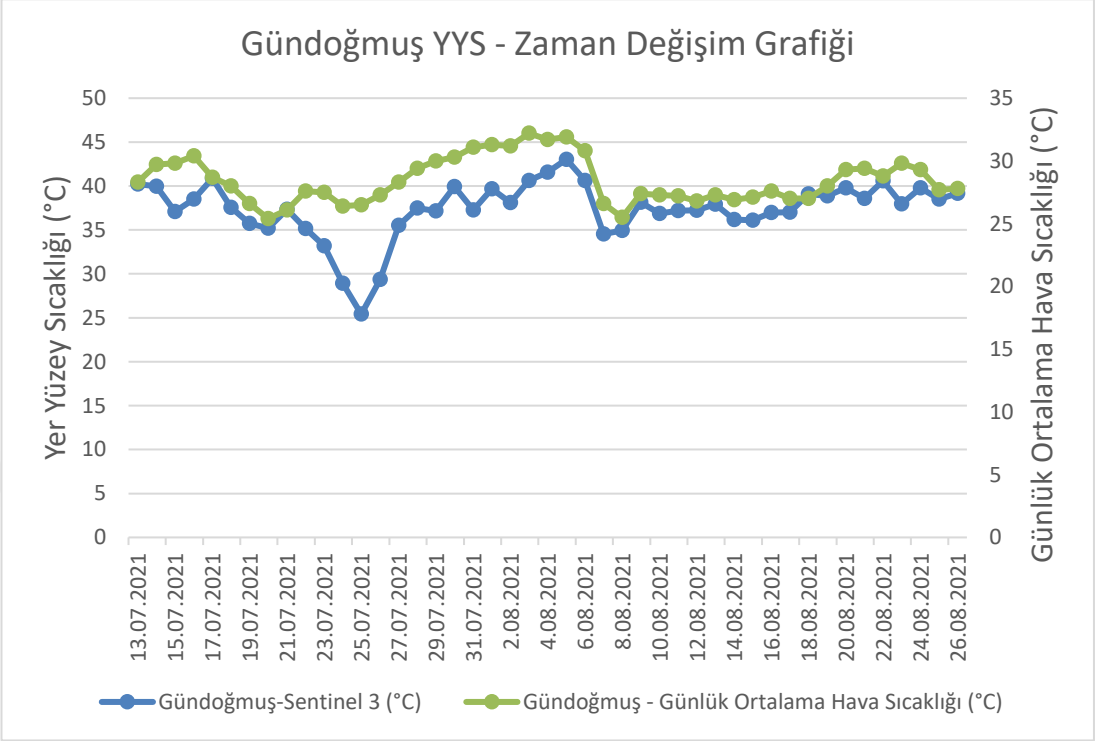
Antalya ili için alınan uydu görüntülerinde; yangın öncesi için 13 Temmuz tarihi, Manavgat'ta yangının başlama tarihi 28 Temmuz, Gündoğmuş'ta başlama tarihi 29 Temmuz ve söndürüldüğü tarih olarak 9 Ağustos, son olarak yangınlardan sonrası için 25 Ağustos tarihi seçilmiştir. Antalya ilindeki Manavgat ve Gündoğmuş yangın bölgeleri için uydu görüntülerinden elde edilen YYS değerlerinin zamanla değişim grafikleri Şekil 4.19 ve 4.20'deki gibidir.




**Şekil 4.19.** Manavgat yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği

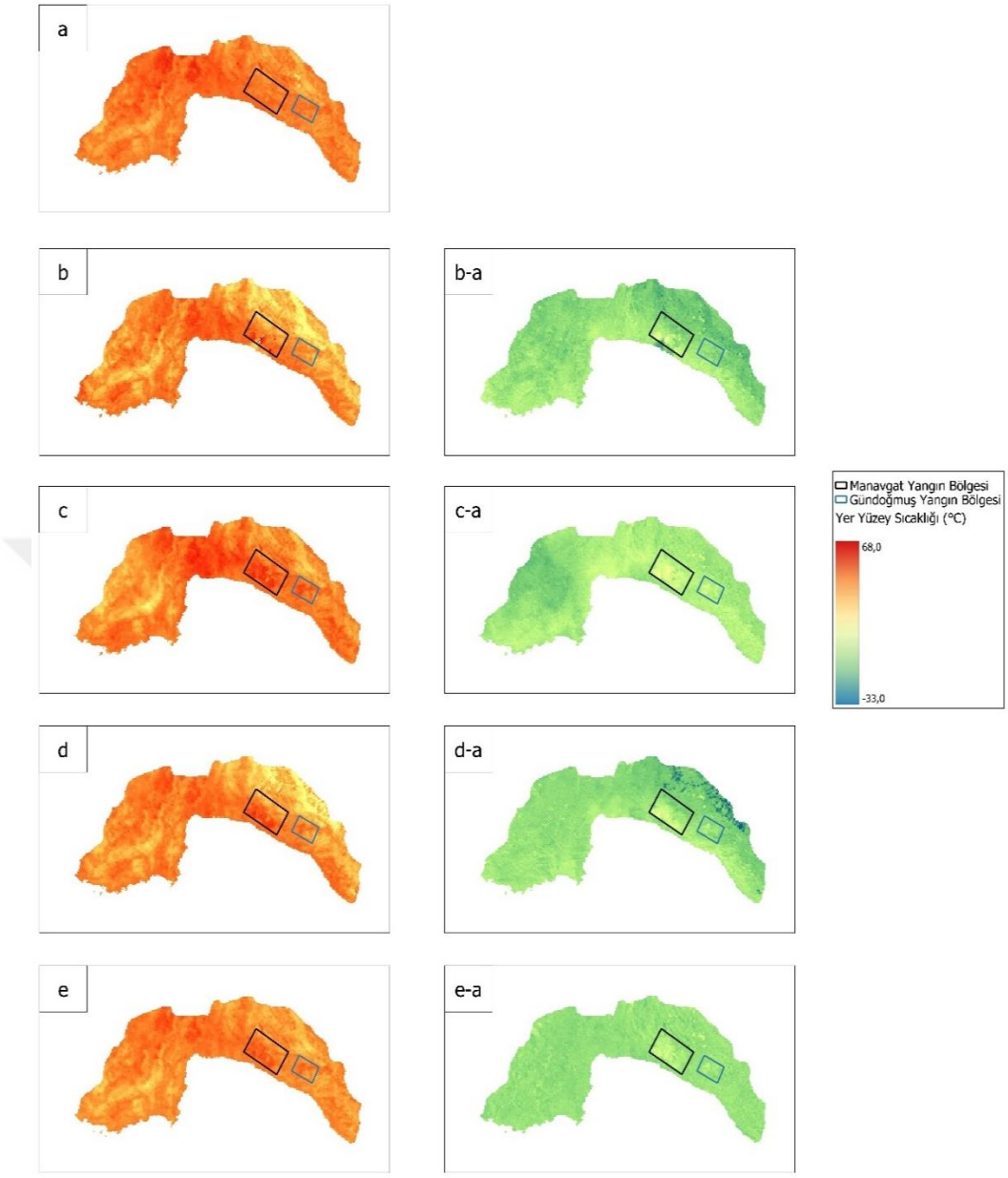
Şekil 4.21'de, yangının olduğu 28 Temmuz-9 Ağustos döneminde Manavgat yangın bölgesinde çevresine göre Sentinel 3 SLSTR uydu görüntülerine göre kırmızı

renkte artış olmuştur. 7 Ağustos günü YYS'ndaki ani düşüşün sebebi olarak uydu görüntülerindeki bulutlanmanın olduğu söylenebilir.



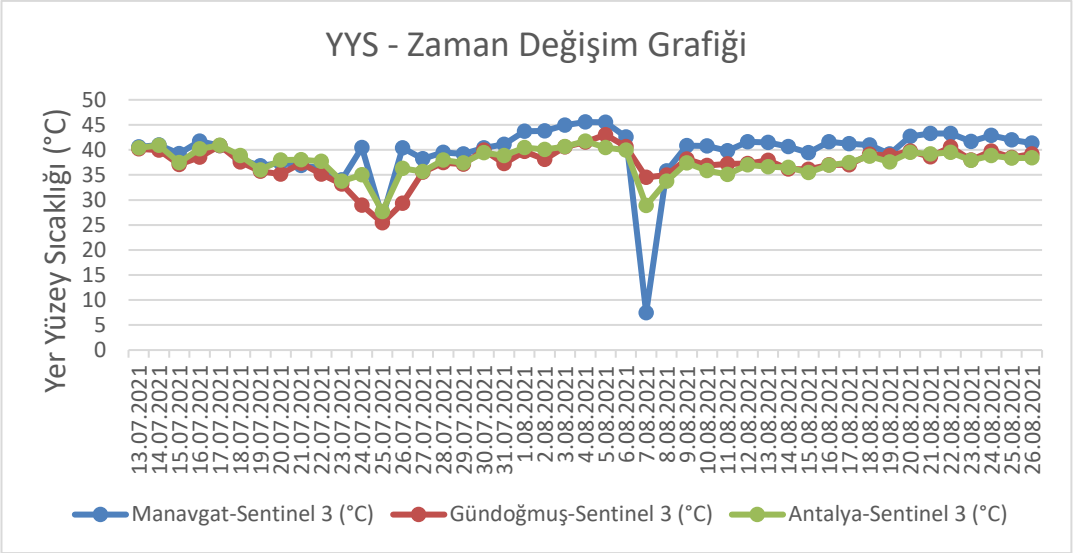

**Şekil 4.20.** Gündoğmuş yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği

Şekil 4.21'de, a'daki yangın öncesi uydu görüntüsü ve b, c, ve d uydu görüntüleri yangın zamanı görüntüleri, e görüntüsü ise yangın sonrası görüntüdür. B görüntüsü ile yangının Manavgat bölgesinde başladığı b-a fark haritasında kırmızı rengin yoğunlaşması ile görülmektedir. C görüntüsünde Gündoğmuş yangın bölgesinde, Manavgat yangın bölgesinde olduğu gibi, çevresine göre Sentinel 3 SLSTR uydu görüntülerine göre YYS'nda bir artış olmuştur. D görüntüsünde yangının son zamanlarında dahi yüksek YYS olduğu, yangın söndürülmesi üzerinden zaman geçmesine rağmen yangın bölgelerinin YYS'nın çevresine göre hala yüksek olduğu e-a fark haritasından anlaşılmaktadır.




**Şekil 4.21.** Antalya ili yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR uydu görüntüleri **a)** 13.07.2021, **b)** 29.07.2021, **c)** 05.08.2021, **d)** 09.08.2021, **e)** 26.08.2021 tarihli görüntüler ve sağdaki görüntüler de **a)** görüntüsü ile diğer görüntülerin YYS fark haritaları

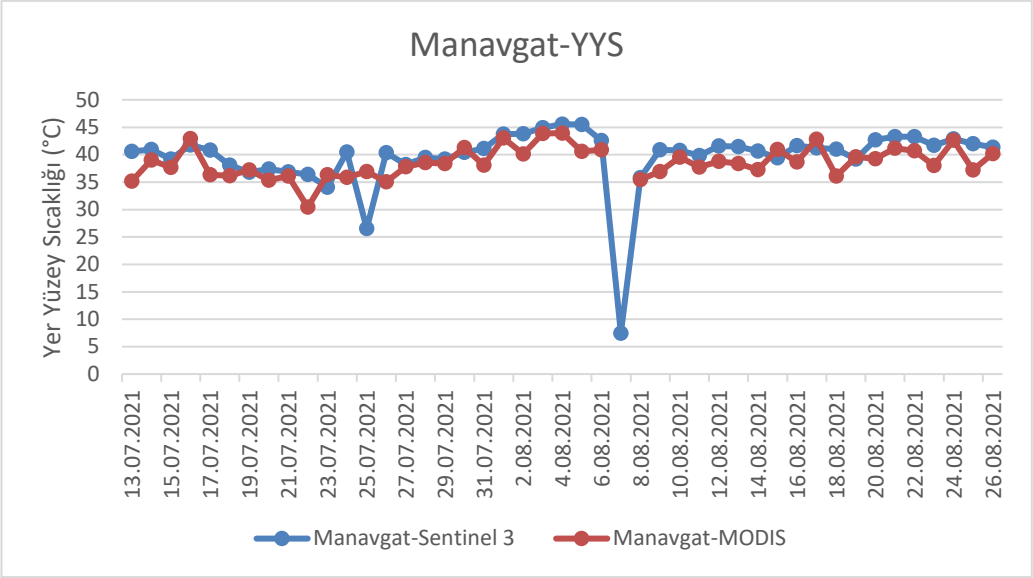
Yangın döneminde YYS'ndaki değişimlerin yangın bölgelerinin çevresine göre farkını incelemek amacıyla Manavgat ve Gündoğmuş yangın bölgelerini Antalya ili geneli ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırma için, Sentinel-3 SLSTR uydusu görüntülerinden Antalya ili geneli YYS değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.22'deki gibi her üç veri setinin zamana bağlı değişim grafiği oluşturulmuştur.



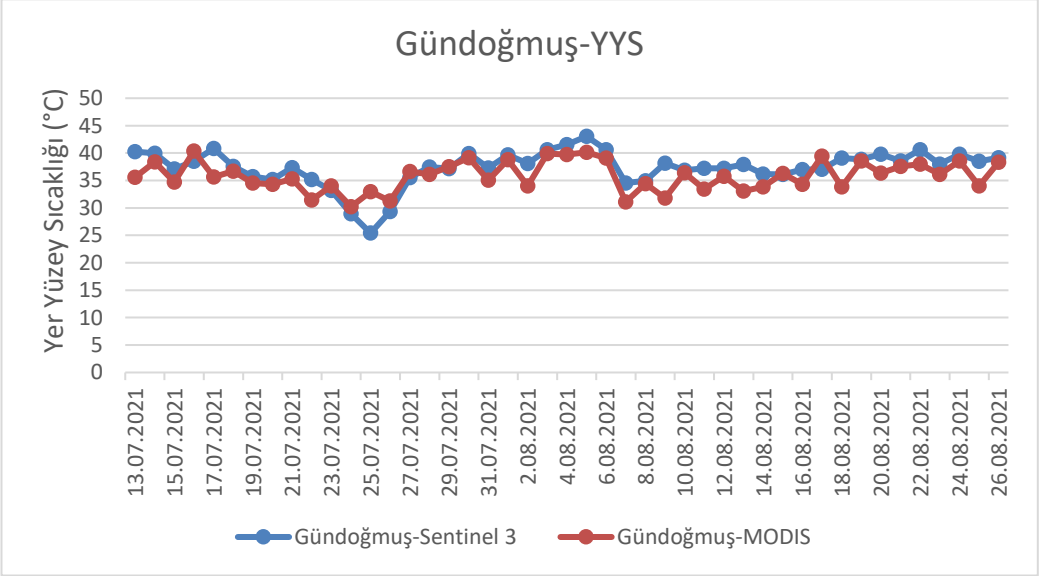

**Şekil 4.22.** Manavgat ve Gündoğmuş yangın bölgeleri ile Antalya ili yer yüzey sıcaklığı değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

Şekil 4.22'e göre; yangın dönemi, yangın öncesine göre YYS'nda artış gözlemlenmiştir. YYS değişimleri Manavgat, Gündoğmuş ve Antalya ili geneli için artış-düşüş hareketleri grafikte çoğunlukla benzer olduğu görülmektedir. Fakat YYS değişim hareketlerinde farklı olan günler bulunmaktadır. Örneğin; 24 Temmuz günü için, Gündoğmuş yangın bölgesinde YYS, bir önceki güne göre 33,18 °C'den 28,92 °C'ye düşüş olduğu görülürken Manavgat yangın bölgesi 34,03 °C'den 40,48 °C'ye ve Antalya ili geneli için 33,71 °C'den 35,00 °C'ye artış olduğu görülmüştür. Aynı şekilde 21 Ağustos tarihinde, Manavgat yangın bölgesinde YYS 42,72 °C'den 43,28 °C'ye artış, Gündoğmuş yangın bölgesinde 39,78 °C'den 38,59 °C'ye düşüş, Antalya ili genelinde de 39,51 °C'den 39,17 °C'ye küçük de olsa düşüş olduğu görülmüştür. 7 Ağustos günü her üç veri setindeki düşüşün sebebi olarak uydu görüntülerindeki bulutlanma olarak gösterilebilir. Grafiğe göre; yangın döneminde Manavgat ve Gündoğmuş yangın bölgelerinin YYS'ları ile beraber Antalya ili genelinde de YYS'nda artış olduğu görülmüştür.

Önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde, orman yangınlarının YYS'na etkisini incelemek için ve/veya elde edilen değerleri karşılaştırmak için Landsat ve MODIS YYS verilerinden yararlanıldığı da görülmüştür (Ge 2011; Quantino et al. 2015; Zhang et al. 2020; Cihan vd. 2022). Sentinel 3 SLSTR uydu değerlerini karşılaştırmak için GEE platformu kullanılarak MODIS YYS verileri ile de yangının YYS'na etkisine bakılmıştır. Bu iki veri seti için zamana bağlı değişim grafikleri oluşturulmuştur.




**Şekil 4.23.** Manavgat yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği




**Şekil 4.24.** Gündoğmuş yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

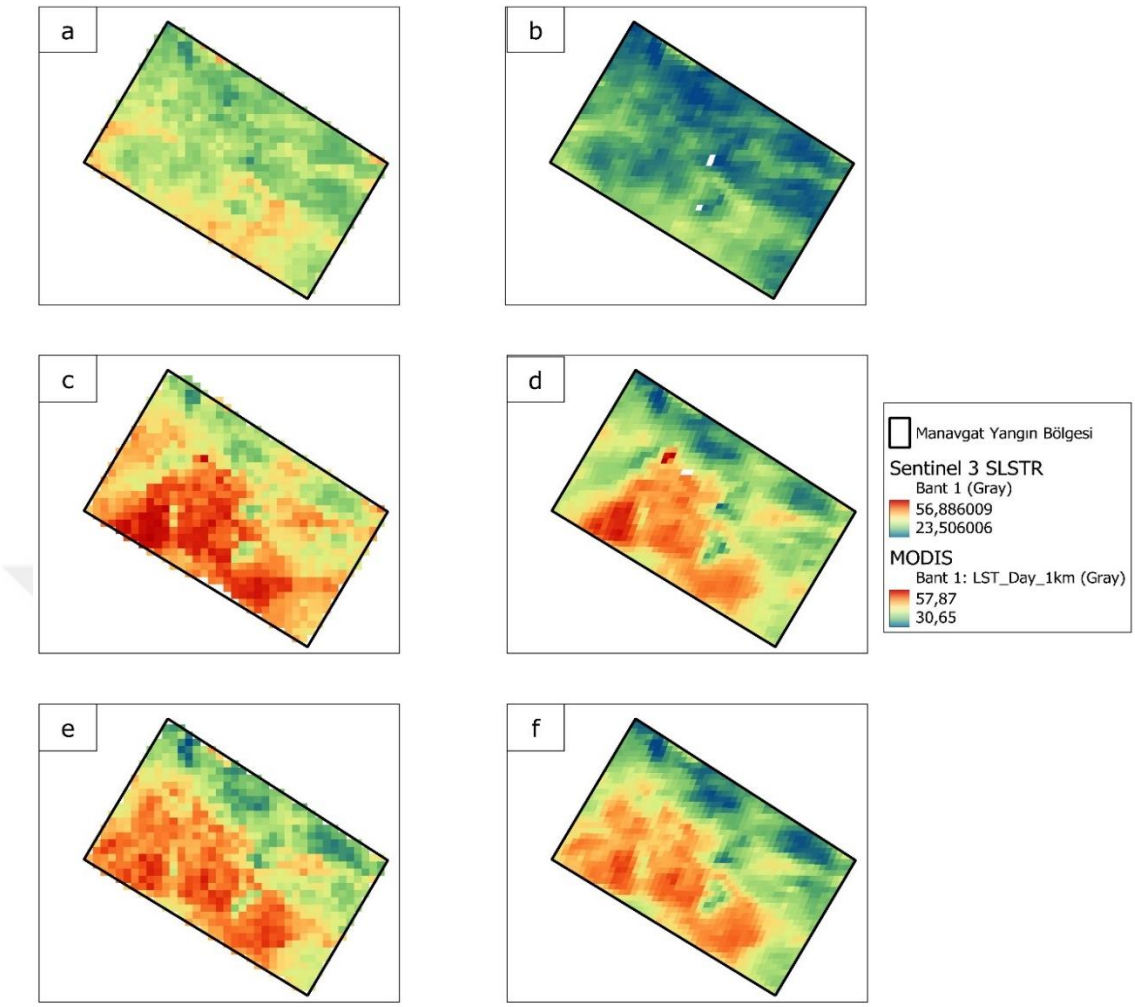
Sentinel 3 SLSTR uydusunun verilerine göre Manavgat yangın bölgesinde yangın öncesi dönemde 21 Temmuz günü YYS 36,87 °C iken, MODIS verilerine göre bu değer 36,08 °C olarak bulunmuştur. Aynı bölge için yangın döneminde 2 Ağustos günü Sentinel 3 SLSTR uydusuna göre YYS 43,79 °C, MODIS uydusuna göre ise 40,15 °C olduğu görülmüştür. Yangın sonrası dönemde, 18 Ağustos günü için bu değerler sırası ile 40,99 °C ve 36,1 °C olduğu görülmüştür.

Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uyduları değerleri arasındaki bu farklılıkların uyduların görüntü alım özellikleri ve görüntülerin işlenmesi için kullanılan algoritmaların farklılığından kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uyduları 1 km'lik uzamsal çözünürlüklere sahiptirler (Wan 2013; Polehampton et al. 2021). Uydulardan elde edilen YYS görüntülerinin karşılaştırılması için yangın öncesi, yangın dönemi ve yangın sonrası dönemler için rastgele birer gün seçilmiştir. Bu belirlenen günlerdeki uydu görüntülerinden elde edilen YYS değerleri Çizelge 4.3'te karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 4.3.** Manavgat yangın bölgesi uydu görüntüleri YYS değerleri

| Tarih | Sentinel 3 SLSTR (°C) | MODIS (°C) |
|---|---|---|
| **21.07.2021** | 36,87 | 36,08 |
| **1.08.2021** | 43,75 | 43,06 |
| **17.08.2021** | 41,21 | 42,79 |

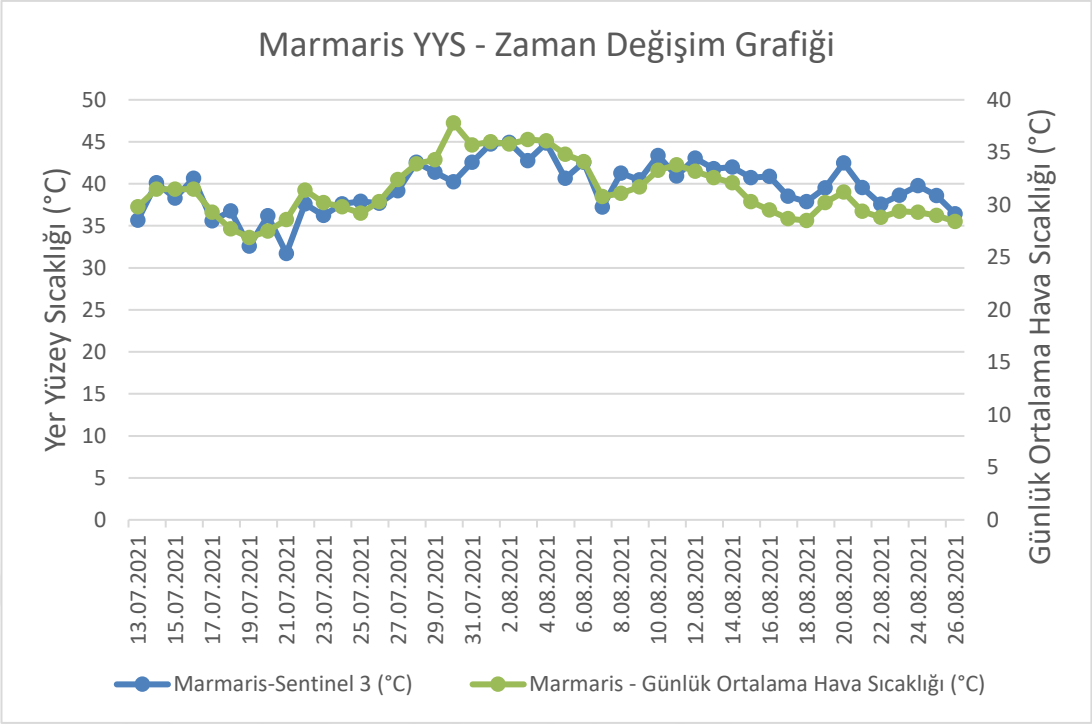
Aynı tarihte, Manavgat yangın bölgesi için iki farklı uydu görüntüsünün teknik özelliklerindeki farkları YYS değerlerinde sapmalara neden olduğu düşünülmektedir. Uydu görüntülerinin farklılıkları Şekil 4.25'te yangın öncesi döneme ait 21.07.2021 tarihli, yangın sırasındaki döneme ait 01.08.2021 tarihli ve yangın sonrası döneme ait 17.08.2021 tarihli uydu görüntüleri ile gösterilmiştir. Şekil 4.25'e göre 21.07.2021 tarihine göre YYS değerleri birbirlerine yakın olmasına rağmen MODIS uydusu yangın bölgesini daha mavi yeşil tonlarda gösterirken Sentinel-3 SLSTR uydusunda daha sarı tonlar göze çarpmaktadır. Diğer günlerdeki görüntülerde de Sentinel-3 SLSTR uydusu görüntüleri daha kırmızı görünmektedir.



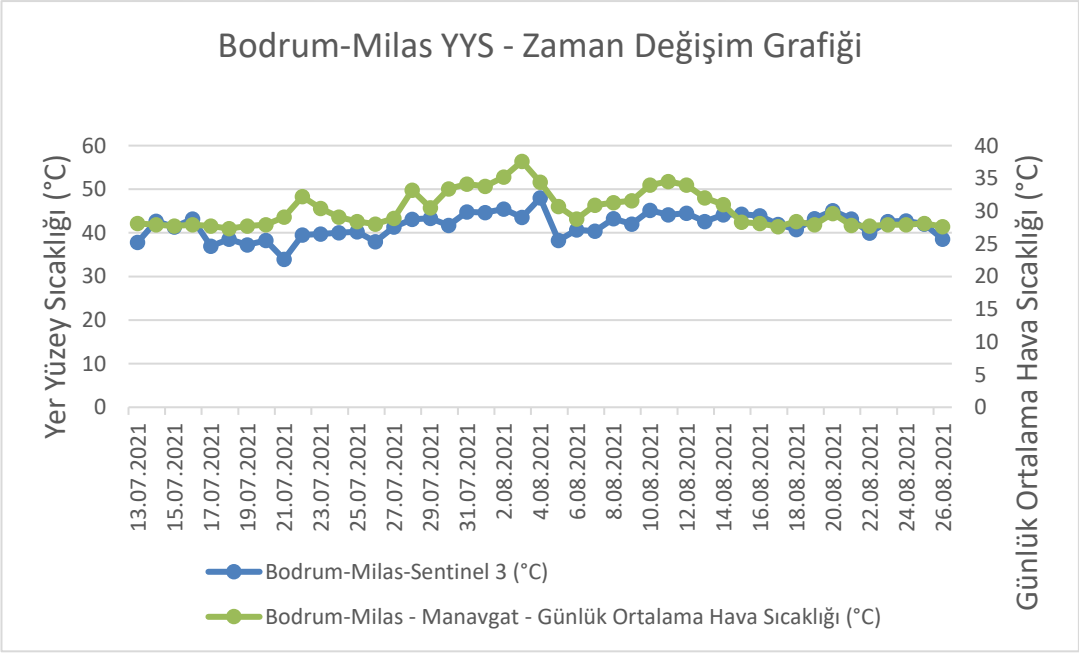

**Şekil 4.25.** Manavgat yangın bölgesinin yangın öncesi **a)** Sentinel-3 SLSTR (°C), **b)** MODIS (°C); yangın dönemi **c)** Sentinel-3 SLSTR (°C), **d)** MODIS (°C); yangın sonrası **e)** Sentinel-3 SLSTR (°C) ve **f)** MODIS (°C) uyduları görüntüleri

Şekil 4.23 ve 4.24'te sıcaklık değişimlerindeki iniş ve yükselişlerinde benzerlikler olduğu görülmüştür. Sentinel 3 SLSTR uydusuna göre çözünürlüğü aynı olan MODIS uydusunun verilerinde de 28 Temmuz-9 Ağustos yangın zamanı artış olmuştur. Aralarındaki ilişkiyi incelemek için gerçekleştirilen korelasyon analizi sonucunda Manavgat yangın bölgesi için MODIS-Sentinel 3 SLSTR korelasyon değeri 0,588102862, Gündoğmuş yangın bölgesi için 0,677324915 olarak elde edilmiştir.

Muğla ilinin dört yangın bölgesi olan Marmaris, Bodrum-Milas, Yatağan-Kavaklıdere ve Köyceğiz yangın bölgeleri için Sentinel 3 SLSTR uydu görüntülerinden elde edilen YYS – Zaman grafikleri de Şekil 4.26, 4.27, 4.28 ve 4.29'daki gibidir.

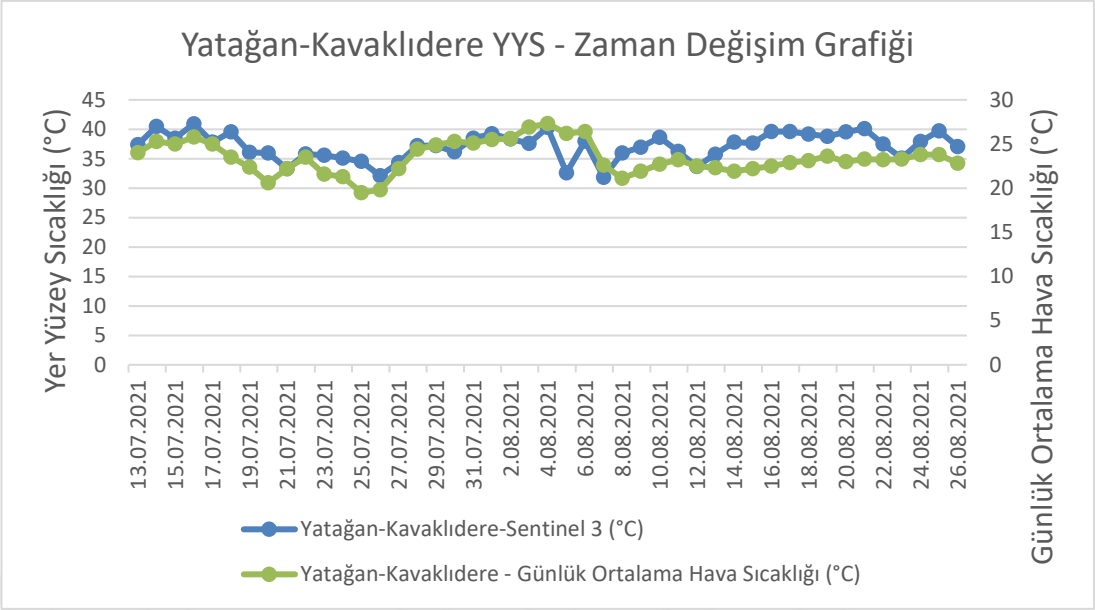



**Şekil 4.26.** Marmaris yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği

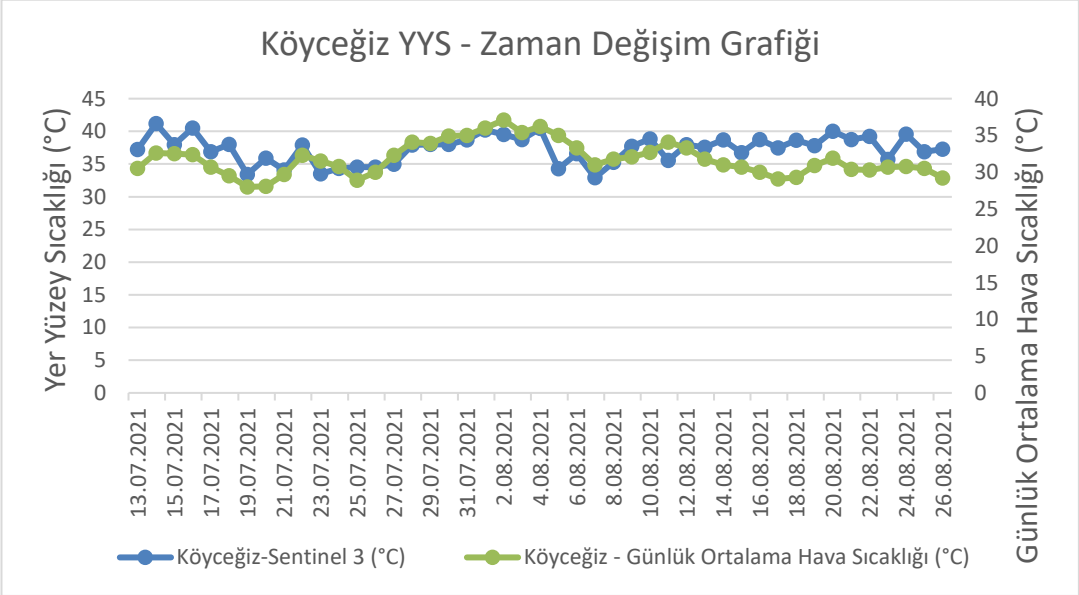



**Şekil 4.27.** Bodrum-Milas yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği

Sentinel 3 SLSTR verilerine göre, Marmaris ve Bodrum-Milas bölgelerinde orman yangınlarının YYS'na etkileri, Şekil 4.31'de yangınların olduğu dönemlerde çevrelerine göre daha kırmızı oldukları görülmüştür.

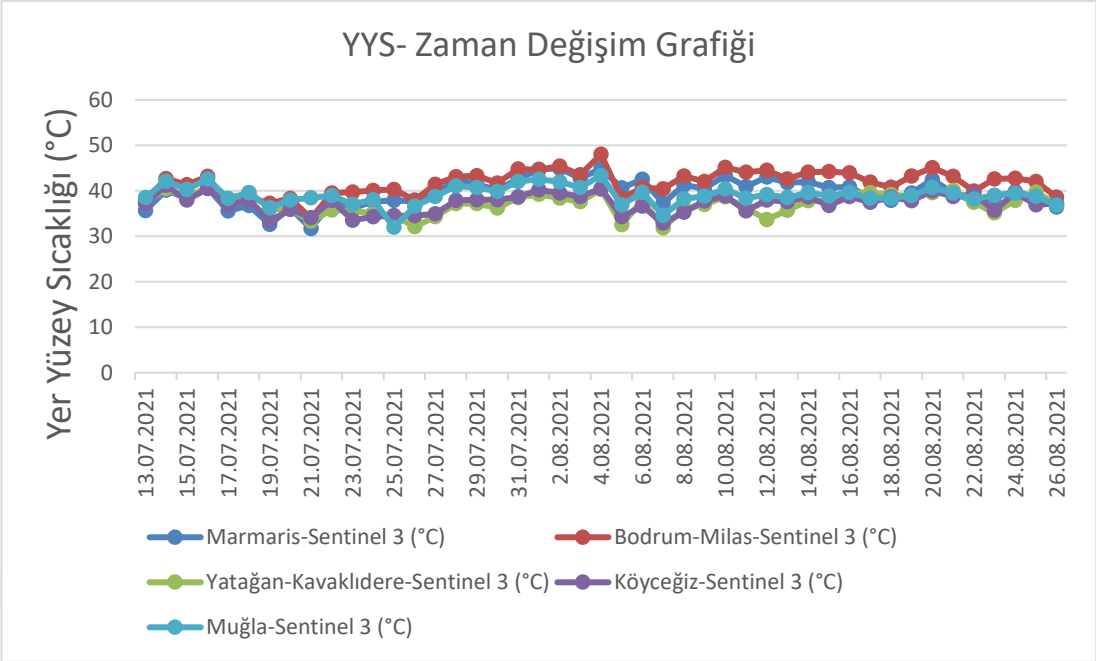



**Şekil 4.28.** Yatağan-Kavaklıdere yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği




**Şekil 4.29.** Köyceğiz yangın bölgesi yer yüzey ve günlük ortalama hava sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği

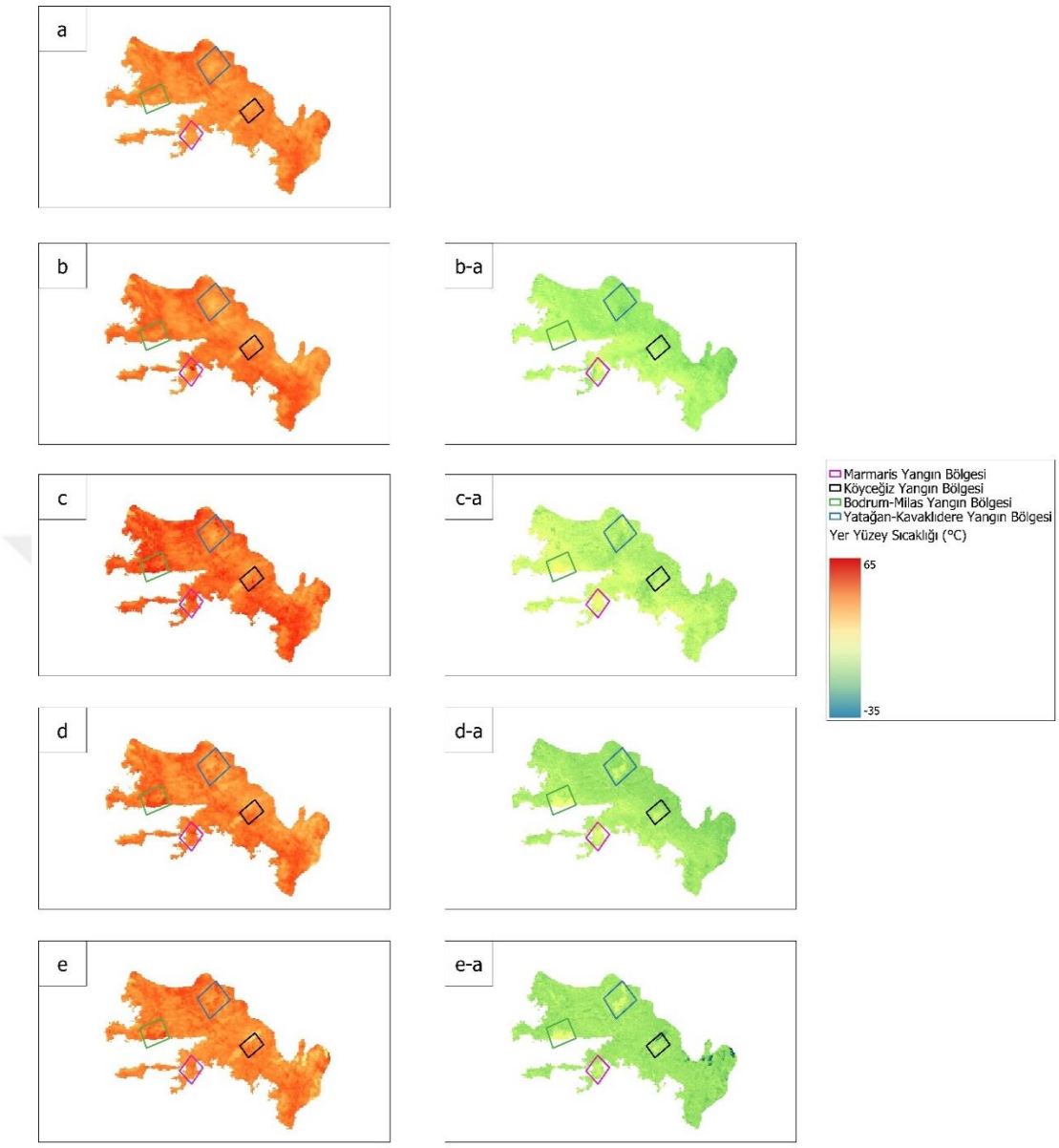
Marmaris ve Bodrum-Milas bölgelerinde olduğu gibi, Yatağan-Kavaklıdere ve Köyceğiz bölgelerinin YYS'larına orman yangınlarının etkisi, Şekil 4.31'de yangınların olduğu dönemlerde çevrelerine göre daha kırmızı oldukları görülmüştür. Muğla ili geneli için YYS değişimine bakıldığında, yangın dönemi YYS'da yangın öncesi döneme göre bir artış olduğu görülmektedir.




**Şekil 4.30.** Marmaris, Yatağan-Kavaklıdere, Bodrum-Milas ve Köyceğiz yangın bölgeleri ile Muğla ili yer yüzey sıcaklığı değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

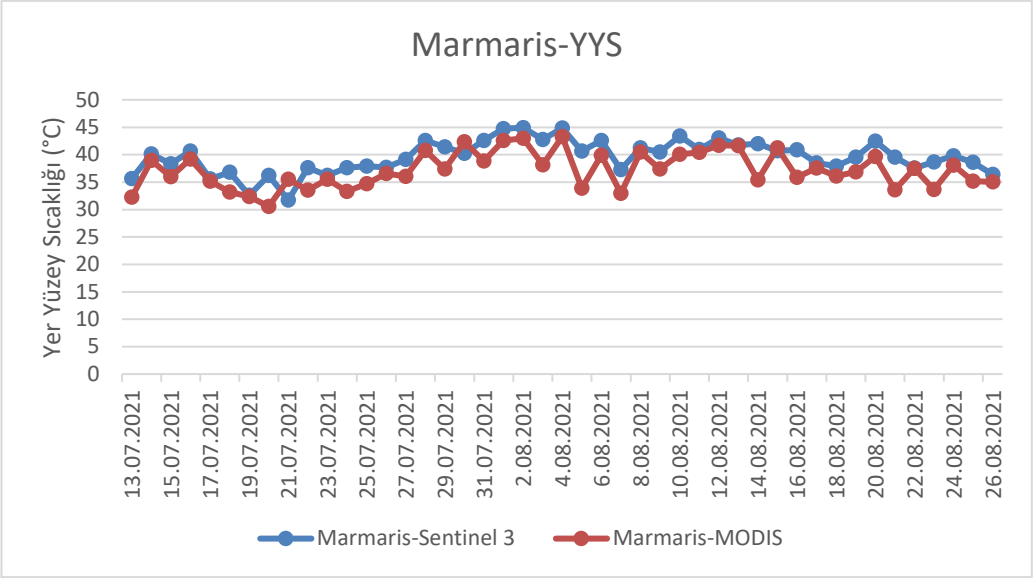
Şekil 4.30'a göre; YYS değişimleri yangın bölgeleri ve Muğla ili geneli için çoğunlukla artış-düşüş hareketleri benzerlik göstermektedir. Şekil 4.21'de olduğu gibi bu grafikte de hareketlerin farklı olduğu günler bulunmaktadır. Yangın başladıktan sonra beş veri setinde de YYS'da artışın olduğu görülmektedir. Örneğin; 21 Temmuz günü için, Marmaris yangın bölgesinde YYS, bir önceki güne göre 36,2 °C'den 31,71 °C'ye, Bodrum-Milas yangın bölgesinde 38,28 °C'den 33,93 °C'ye, Yatağan-Kavaklıdere yangın bölgesinde 35,95 °C'den 33,3 °C'ye ve Köyceğiz yangın bölgesinde 35,89 °C'den 34,09 °C'ye düşüş olduğu görülmüştür. Fakat Muğla ili genelinde ise YYS 37,97 °C'den 38,46 °C'ye artış olmuştur. 12 Temmuz gününde ise, Marmaris yangın bölgesinde YYS, bir önceki güne göre 40,94 °C'den 43,06 °C'ye, Bodrum-Milas yangın bölgesinde 44,11 °C'den 44,47 °C'ye ve Köyceğiz yangın bölgesinde 35,56 °C'den 37,96 °C'ye artış olduğu görülmüştür. Yatağan-Kavaklıdere yangın bölgesinde 36,22 °C'den 33,7 °C'ye düşüş olduğu görülmüştür. Fakat Muğla ili genelinde ise YYS 38,38 °C'den 39,19 °C'ye artış olmuştur.

Şekil 4.31'de ise, yangın öncesi için a görüntüsü, yangın zamanı için b, c ve d görüntüleri kullanılmıştır. Yangın sonrası durumu incelemek için e görüntüsü kullanılmıştır. B-a fark haritasına bakıldığında 30 Temmuz günü Marmaris bölgesinde yangının başladığı, c-a fark haritasında dört yangın bölgesinde de yangının devam ettiği görülmektedir. Yangın bölgelerinin YYS'ının çevresine göre yükseldiği d-a fark haritasındaki kırmızı rengin c-a fark haritasına göre artması ile görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.21'de olduğu gibi yangın sonrasında bile YYS'ının yangın bölgelerinde bir süre daha çevresine göre yüksek olduğu e-a fark haritasında görülmektedir.

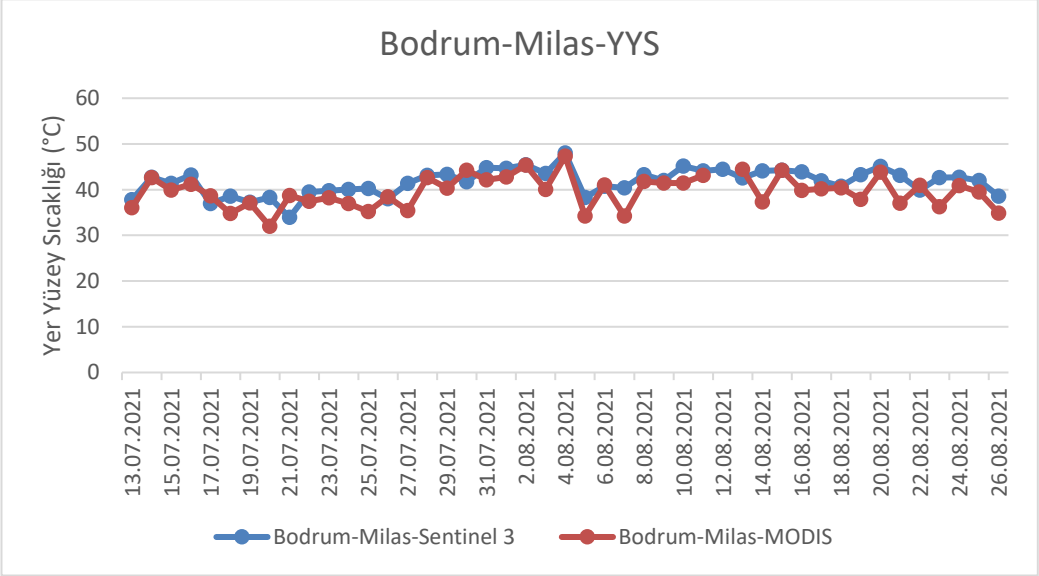



**Şekil 4.31.** Muğla ili yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR uydu görüntüleri **a)** 13.07.2021, **b)** 30.07.2021, **c)** 04.08.2021, **d)** 14.08.2021, **e)** 25.08.2021 tarihli görüntüler ve sağdaki görüntüler de **a)** görüntüsü ile diğer görüntülerin YYS fark haritaları

Antalya ilinin yangın bölgeleri için yapılan MODIS-Sentinel 3 SLSTR verileri karşılaştırmasını Muğla ili için uygulandığında da grafiklerde benzerlikler olduğu görülmüştür. Yangın zamanı her iki veri setinde de sıcaklık artışı olduğu görülmüştür. Sıcaklık artış ve düşüşlerinin grafiklerde çoğunlukla benzer olduğu görülmüştür.

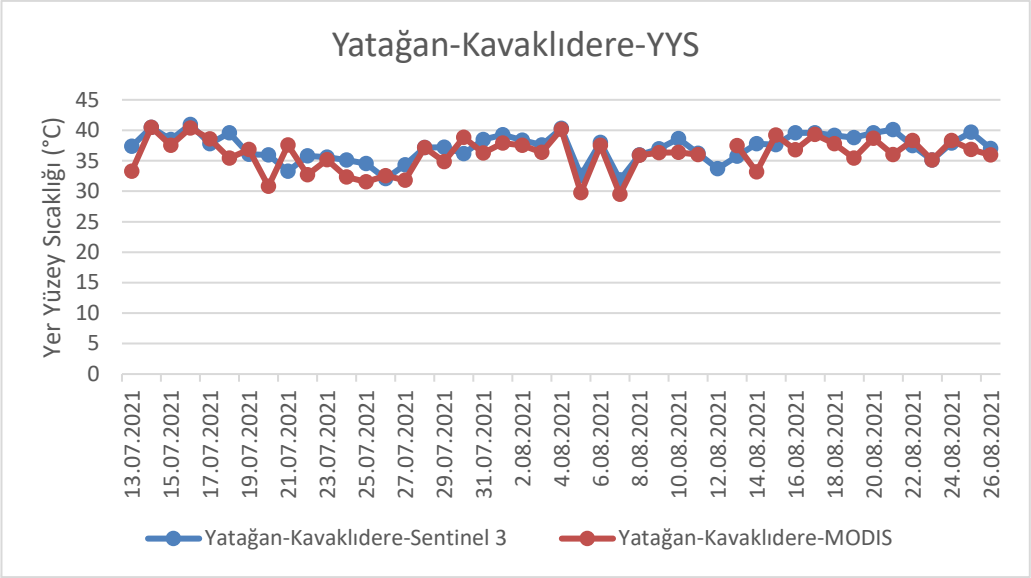



**Şekil 4.32.** Marmaris yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

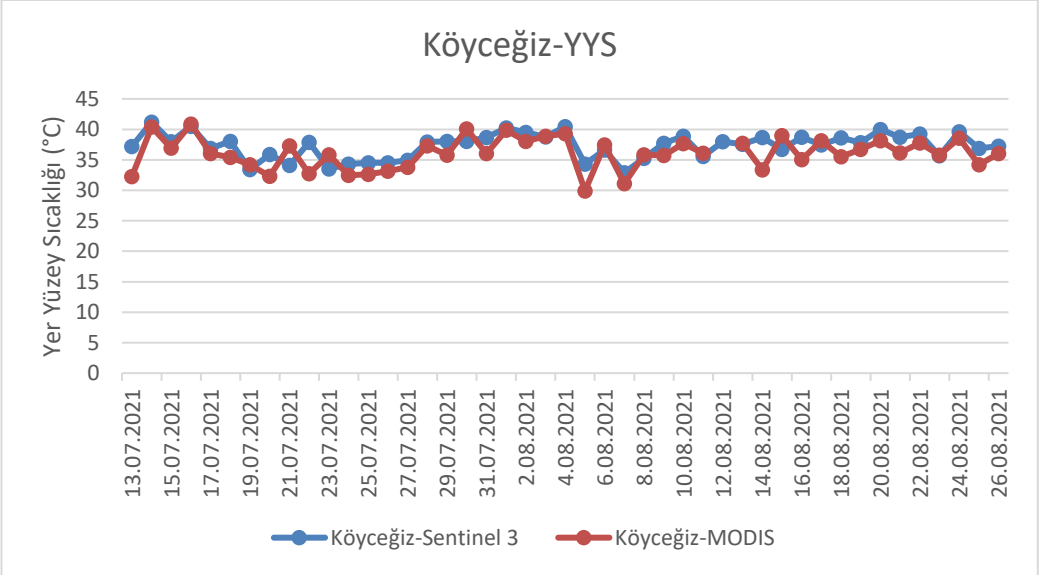



**Şekil 4.33.** Bodrum-Milas yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu verileri karşılaştırıldığında, iki veri setinde Marmaris ve Bodrum-Milas bölgelerinde yangınların YYS'na etkileri incelenmiştir. Buna göre; Marmaris yangın bölgesinde yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR veri setine göre %14 arttığı görülürken bu artış MODIS veri setinde %13 olarak bulunmuştur. Aynı şekilde Bodrum-Milas yangın bölgesindeki yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR veri setinde %10'luk artış olarak çıkarken MODIS veri setinde %10,5 olarak bulunmuştur.




**Şekil 4.34.** Yatağan-Kavaklıdere yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği




**Şekil 4.35.** Köyceğiz yangın bölgesi yer yüzey sıcaklığı Sentinel 3 SLSTR ve MODIS uydu değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

Orman yangınlarının Yatağan-Kavaklıdere bölgesinin YYS'na etkisi Sentinel 3 SLSTR veri setine göre %1,3 iken MODIS veri setine göre bu artış %2,6 olarak bulunmuştur. Köyceğiz bölgesi için ise %3,3'lük artış MODIS veri setinde %4,3 olarak bulunmuştur.

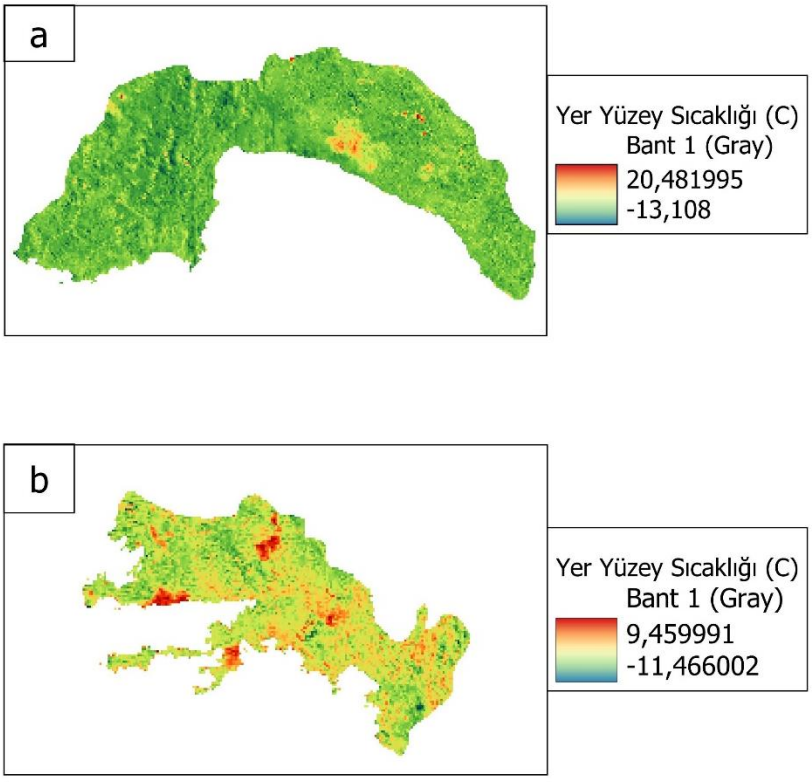
Sentinel 3 SLSTR ve MODIS veri setlerinde Muğla ilindeki dört yangın bölgesinde orman yangınlarının yüzey sıcaklığını arttırdığı görülmüştür. Özellikle Marmaris ve Bodrum-Milas bölgelerindeki artışların her iki veri setinde de çok yakın değerlerde çıkması nedeniyle bu veri setleri arasında istatistiksel analiz

gerçekleştirilmiştir. Korelasyon analizi sonucunda Marmaris yangın bölgesi için 0,768104067, Bodrum-Milas yangın bölgesi için 0,661456109, Yatağan-Kavaklıdere yangın bölgesi için 0,706520237 ve son olarak Köyceğiz yangın bölgesi için 0,671191913 değerine ulaşılmıştır.

Orman yangınlarının etkisini incelemek amacıyla Vlassova et al. (2014), Çolak ve Sunar (2018), Liu et al. (2019) gibi çalışmalarda yangın öncesi ve yangın sonrası YYS haritaları arası farkı elde edilerek yangın sonrası yüzey sıcaklığı değişimine bakılmıştır. Bu tez çalışmasında, Antalya ve Muğla illeri için Sentinel 3 SLSTR uydu görüntüleri kullanılarak yer yüzey sıcaklığı haritaları fark (dLST) haritasına bakılmıştır. Bunun için aşağıdaki formül uygulanmıştır (Vlassova et al. 2014; Liu et al. 2018; Çolak ve Sunar, 2018; Cihan vd. 2022):

$$dLST = LST_{Yangın\ Sonrası} - LST_{Yangın\ Öncesi} \quad (4.3)$$

Formülde her iki il için, yangın sonrası için 26 Ağustos tarihli YYS görüntüleri ile yangın öncesi için 13 Temmuz tarihli YYS görüntüleri kullanılmıştır ve bu görüntülerin farkı ile aşağıdaki görüntüler oluşturulmuştur:




**Şekil 4.36. a)** Antalya ve **b)** Muğla illeri dLST görüntüleri

# 5. SONUÇLAR

Orman yangınlarının doğa ve insanlar üzerindeki etkileri yapılan birçok çalışma ile ortaya konmuştur. Özellikle hava kalitesi üzerinde yangın sırasında oluşan yangın dumanının ve içerdiği bileşikler, elementler, gazlar ve partikül maddeler ile yangın bölgesinde ve çevresinde hava kirliliğine neden olmaktadır. Bunun yanında toprağın yüzey sıcaklığını arttırarak toprak ekosistemini de etkilemektedir. Toprakta yaşayan canlıların yok olmasına, toprağın verimsizleşmesine neden olmaktadır. Ayrıca toprak üzerindeki ağaçların yanması sonucu çıplak kalan toprağın erozyon ve toprak kaymasına daha müsait hale geldiği yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur.

2021 yılı yaz dönemi Türkiye'nin birçok ilinde çıkan orman yangınları sonucu ağaçlar yanmış, ekosistemler zarar görmüş, insanlar evlerini, topraklarını bırakmak zorunda kalmış, birçok insan yangından kurtulmaya çalışırken ve yangınla mücadele ederken hayatını kaybetmiştir. Bunların yanında şehrin hava kalitesine ve toprağa da zararları olmuştur. Bu tez çalışmasında, Antalya ve Muğla illerinde çıkan orman yangınlarının atmosfer ve yer yüzey sıcaklığı üzerindeki etkileri uzaktan algılama platformlarından biri olan çeşitli uydu görüntüleri kullanılarak incelenmiştir.

Antalya'daki Manavgat-Gündoğmuş yangınlarının, Sentinel 5P TROPOMI uydusu görüntülerine göre şehir hava kalitesini düşürdüğü ve hava kirliliğini arttırdığı görülmüştür. $PM_{10}$, CO ve $NO_2$ parametrelerinin değişimlerine bakıldığında; $PM_{10}$ konsantrasyonunu yangının 3 kat arttırdığı, CO'nu % 19, $NO_2$'yi ise % 7 arttırdığı görülmüştür. Ayrıca Muğla'da da hava kirliliğinin arttığı görülmüştür. Yangınlar, $PM_{10}$ konsantrasyonunu 2 kat, CO konsantrasyonunu %13 ve $NO_2$'yi ise % 3 arttırdığı görülmüştür. Yangınların yer yüzey sıcaklığına etkisine bakıldığında, Sentinel 3 SLSTR uydusu görüntülerine göre orman yangınları zamanı Antalya il genelinde YYS'ında % 2 artış, Muğla ilinde ise bu artışın % 4 olduğu bulunmuştur.

Antalya'da yangın zamanı, Manavgat yangın bölgesinde YYS %4 artarken Gündoğmuş yangın bölgesinde %9 artmıştır. Muğla'da Marmaris yangın bölgesinde YYS %14, Bodrum-Milas yangın bölgesinde %10, Yatağan-Kavaklıdere yangın bölgesinde %1,3 ve Köyceğiz yangın bölgesinde %3,3 artmıştır. Sonuçlara göre, orman yangınlarının hava kirliliğinin yanında YYS'nı arttırdığı da görülmüştür.

Literatürde orman yangınlarının hava kalitesine etkilerinin yer bazlı istasyonlarından alınan veriler ile yapılan çalışmalar olduğu için; uydu görüntü değerleri ve istasyon değerleri arasındaki ilişkilerine bakılmıştır. Bunun sonucunda, $NO_2$ ve $PM_{10}$ için uydu verileri ile istasyon verileri arasında tutarlı bir ilişki olduğu görülmektedir. CO için uydu verileri ve istasyon verileri arasındaki ilişki ise korelasyon değerlerine göre anlamlı bulunamamıştır.

YYS incelemesinde kullanılan Sentinel 3 SLSTR ve MODIS YYS uydu görüntüleri arasındaki korelasyona bakıldığında ise her iki il için de yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre iki veri seti arasında tutarlılık söz konusudur.

Sonuç olarak literatüre bakıldığında ve bu tez çalışması sonuçlarına göre; orman yangınları sırasında açığa çıkan yangın dumanının hava kirliliğinin artmasına neden olarak hava kalitesini düşürdüğü, yangın sırası oluşan sıcaklık artışı ile YYS'ını etkileyerek arttırdığı görülmüştür.

## 6. KAYNAKLAR

About Copernicus. 2022. https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 26.01.2022]

Addison, P., & Oommen, T. (2018). Utilizing satellite radar remote sensing for burn severity estimation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 292-299.

Alkayış, M. H., Karslıoğlu, A., & Onur, M. İ. (2022). Muğla ili Menteşe yöresi orman yangını risk potansiyeli haritasının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. *Geomatik*, 10-16.

Antalya. 2022. https://tr.wikipedia.org/wiki/Antalya adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 30.03.2022]

Antalya'daki Bitki Örtüsü. 2022. https://www.geziantalya.com/bilgi/antalya-daki-bitki-ortusu adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 20.01.2022]

Atmaca, İ., Derakhshandeh, M., Pekkan, Ö. I., Kavlak, M. Ö., Tunca, Y. S., & Çabuk, S. N. (2022). Lojistik regresyon ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak orman yangını risk modellemesi: Muğla-Milas örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 66-75.

Barrera, F. l., Borroza, F., Favier, P., Ruiz, V., & Quanse, J. (2018). Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental ımpacts of burned ecosystems. *Scienc of the Total Environment*, 1526-1536.

Başaran, N., Matcı, D. K., & Avdan, U. (2022). Using multiple linear regression to analyze changes in forest area: The case study of Akdeniz region. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 247-263.

Belenguer-Plomer, M. A., Tarase, M. A., Fernandez-Carrillo, A., & Chuvieco, E. (2019). Burned area detection and mapping using Sentinel 1 backscatter coefficient and thermal anomalies. *Remote Sensing Environment*, 1-18.

Bo, M., Mercalli, L., Pognant, F., Berro, D. C., & Clerico, M. (2020). Urban air pollution, climate change and wildfires: The case study of an extended forest fire episode in northern Italy favoured by drought and warm weather conditions. *Energy Reports*, 781–786.

Bravo, A., Sosa, E., Sanchez, A., Jaimes, P., & Saavedra, R. (2002). Impact of wildfires on the air quality of Mexico City, 1992–1999. *Environmental Pollution*, 243–253.

Canlı Dershane. 2022. https://www.canlidershane.net/elektromanyetik-dalgalar-47071?xcat=3728&id=47071 adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 20.01.2022]

Carlo, P. D., Aruffo, E., Biancofiore, F., Busilacchio, M., Pitari, G., Dari-Salisburgo, C., . . . Kajii, Y. (2015). Wildfires ımpact on surface Nitrogen Oxides and Ozone in central Italy. *Atmospheric Pollution Research*, 29-35.

Chiang, S.-H., & Ulloa, N. I. (2019). Mapping and Tracking Forest Burnt Areas in the India Maiz biological reserve using Sentinel-3 SLSTR and VIIRS-DNB ımagery. *Sensors*, 1-16.

Chuvieco, E., Mouillot, F., Werf, G. R., Miguel, J. S., Tanase, M., Koutsias, N., Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 45-64.

Cihan, A., Cerit, K., & Erener, A. (2022). Yangın alanında uydu görüntüleri ile yer yüzey sıcaklık değişimi gözlemi ve mekansal alan tespiti. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 142-155.

Cottle , P., Strawbridge, K., & McKendry, I. (2014). Long-range transport of Siberian wildfire smoke to British Columbia:Lidar observations and air quality impacts. *Atmospheric Environment*, 71-77.

Cuchiara, G. C., Rappenglück, B., Rubio, M. A., Lissi, E., Gramsch, E., & Garreaud, R. D. (2017). Modeling study of biomass burning plumes and their ımpact on urban air quality: A case study of Santiago de Chile. *Atmospheric Environment*, 79-91.

Çolak, E., & Sunar, F. (2018). Yüzey sıcaklığı ve spektral yanma indekslerinin orman yangını analizinde kullanımı. *VII. Uzaktan Algılama Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, (s. 1-11). Eskişehir.

Dempsey, F. (2013). Forest fire effects on air quality in Ontario evaluation of several recent examples. *American Meteorological Society*, 1059-1064.

Drooge, B. L., Sicard, M., Stohl, A., Fontal, M., Bravo, N., Munoz, A., . . . Grimalt, J. O. (2016). Detection and simulation of wildfire smoke ımpacting a Mediterranean urban atmosphere. *Atmospheric Pollution Research*, 494-502.

DW. 2022. https://www.dw.com/tr/manavgatta-60-bin-hektar-ormanl%C4%B1k-alan-k%C3%BCl-oldu/a-58796833 adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 06.01.2022]

ESA. 2022. https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 23.01.2022]

ESA 2022a. 2022. Sentinel-2 User Guide: https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 26.04.2022]

Fuladlu, K., & Altan, H. (2021). Examining land surface temperature and relations with the major air pollutants: A remote sensing research in case of Tehran. *Urban Climate*, 1-16.

Garcia-Llamas, P., Suarez-Seoane, S., Fernandez-Guisuraga, M., Fernandez-Garcia, V., Fernandez-Manso, A., Quintano, C., . . . Calvo, L. (2019). Evaluation and comparison of Landsat 8, Sentinel 2 and Deimos-1 remote sensing ındices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 137-144.

Gazete Duvar. 2022. https://www.gazeteduvar.com.tr/burdur-bucaktaki-yanginin-kulleri-antalyaya-yagdi-haber-1531396 adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 26.01.2022]

Ge, J. (2011). Satellite-observed surface temperature changes after the 2004 Taylor Complex Fire in Alaska. *Earth Interactions*, 1-14.

Google. Maps. 2022. https://www.google.com/maps/ @36.8888225,30.6835847,3a,75y,163.95h,87.72t/data=!3m6!1e1!3m4!1s58VhGCA-e6sPs8ay262v-Q!2e0!7i16384!8i8192 adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 23.01.2022].

Guan, S., Wong, D. C., Gao, Y., Zhang , T., & Pouliot, G. (2020). Impact of wildfire on particulate matter in the southeastern United States in november 2016. *Science of the Total Environment*, 1-11.

Hernandez, C., Drobinski, P., & Turquaty, S. (2015). Impact of wildfire-induced land cover modification on local meteorology: A sensitivity study of the 2003 wildfires in Portugal . *Atmospheric Research*, 49-64.

Hürriyet Gazetesi. 2022. https://www.hurriyet.com.tr/gundem/mugladaki-orman-yanginlarinin-aci-bilancosu-41894087 adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 25.01.2022]

Ialongo, I., Virta, H., Eskes, H., Hovila, J., & Douros, J. (2020). Comparison of TROPOMI/Sentinel-5 Precursor NO2 observations with ground-based measurements in Helsinki. *Atmospheric Measurement Techniques*, 205-218.

Jin, X., Zhu, Q., & Cohen, R. C. (2021). Direct estimates of biomass burning NOx emissions and lifetimes using daily observations from TROPOMI. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15569-15587.

Key, C. H. (2006). Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity. *Fire Ecology*, 34-59.

Kim, B., & Sarkar, S. (2017). Impact of wildfires on some greenhouse gases over continental USA: A study based on satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 118-126.

Knorr, W., Dentener, F., Lamarque, J.-F., Jiang, L., & Arneth, A. (2017). Wildfire air pollution hazard during the 21st century. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9223–9236.

Krotkov, N. A., McLinden, C. A., Li, C., Lamsal, L. N., Celarier, E. A., Marchenko, S. V., . . . Streets, D. G. (2016). Aura OMI observations of regional SO2 and NO2 pollution changes from 2005 to 2015. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4605–4629.

Lechner, A. M., Foody, G. M., & Boyd, D. S. (2020). Applications in remote sensing to forest ecology and management. *One Earth*, 405-412.

Li, L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z. M., . . . Sabrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Enivronment*, 14-37.

Lillesand, Thomas M., Kiefer, Ralph W., & Chipman, Jonathan W. (2018). *Uzaktan Algılama ve Görüntü Yorumlama.* çev. Kavak, P. Ş. Ankara: Palme Yayınevi.

Liu, Z., Ballantyne, A. P., & Cooper, L. (2018). Increases in land surface temperature in response to fire in Siberian boreal forests and their attribution to biophysical processes. *Geophysical Research Letters*, 6485–6494.

Liu, Z., Ballantyne, A. P., & Cooper, L. (2019). Biophysical feedback of global forest fires on surface temperature. *Nature Communications*, 1-9.

Ma, J., Zhou, J., Liu, S., Göttsche, F.-M., Zhang, X., Wang, S., & Li, M. (2021). Continous evolution of the spatial representativeness of land surface temperature validation sites. *Remote Sensing Environment*, 1-21.

Maffie, C., Lindenbergh, R., & Menenti, M. (2021). Combining multi-spectral and thermal remote sensing to predict forest fire characteristics. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 400-412.

Magro , C., Nunes, L., Gonçalves, O. C., Neng, N. R., Nogueira, J. M., Rego, F. C., & Vieira, P. (2021). Atmospheric trends of CO and CH4 from extreme wildfires in Portugal using Sentinel 5P TROPOMI Level-2 data. *Fire*, 1-20.

Mazzoni, D., Logan, J. A., Diner, D., Kahn, R., Tang, L., & Li, Q. (2007). A data-mining approach to associating MISR Smoke Plume Heights with MODIS fire measurements. *Remote Sensing of Environment*, 138-148.

Mendez-Espinosa, J., Belalcazar, L., & Betancourt, R. (2019). Regional air quality impact of northern South America biomass burning emissions. *Atmospheric Environment*, 131-140.

Mercan, Ç. (2020). Yer yüzey sıcaklığının termal uzaktan algılama görüntüleri ile araştırılması: Muş İli. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi* , 42-49.

MODIS. 2022. https://modis.gsfc.nasa.gov/about/ adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 25.06.2022]

MODIS-Terra. 2022. https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/modis adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 25.06.2022]

Mohajane, M., Costache, R., Karimi, F., Pham, Q. B., Essahlaoui, A., Nguyen, H., . . . Oudija, F. (2021). Applications of remote sensing and machine learning algorithms for forest fire mapping in a Mediterranean area. *Ecological Indicators*, 1-17.

Moreira, G. d., Andrade, I. d., Cacheffo, A., Lopes, F. J., Yoshia, A. C., Gomes, A. A., . . . Landulfo, E. (2021). Influence of A biomass-burning wvent in PM2,5 concentration and air quality: A case study in the metropolitian area of Sao Paulo. *Sensors*, 1-19.

Muğla. 2022. https://tr.wikipedia.org/wiki/Mu%C4%9Fla adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 26.01.2022]

Muğla Valiliği. 2022. http://www.mugla.gov.tr/orman-yanginlari-basin-aciklamasi#:~:text=29%20Temmuz%202021%20Per%C5%9Fembe%20G%C3%BCn%C3%BC,Fethiye%20il%C3%A7elerinde%20orman%20yang%C4%B1nlar%C4%B1%20ba%C5%9Flam%C4%B1%C5%9Ft%C4%B1r adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 25.01.2022].

Müezzinoğlu, A. (2005). *Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları.* İzmir: Dokuz Eylül Yayınları.

Noyes, K. T., Kahn, R. A., Limbacher, J. A., Li, Z., Fenn, M. A., Giles, D. M., . . . Winstead, E. L. (2020). Wildfire smoke particle properties and evolution, from space based multi-angle ımaging II: the Williams Flots fire during the FIREX-AQ campaign. *Remote Sensing*, 1-27.

NTV. 2022. https://www.ntv.com.tr/turkiye/orman-yanginlarinda-son-durum-termik-santraldeki-yanginsondu,GDhjbcYQ3kGdCSf8F77m9w adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 26.01.2022]

Nuhoğlu, Y., & Selmi, E. (1998). Linyitle çalışan termik santrallerde temel işlemler ve çevre kirliliği. *Doğu Anadolu Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Dergisi*, 63-79.

Oğuz, K., Oğuz, E., & Çamalan, G. (2021). İzmir-Tırazlı orman yangınının uydu ve model verileri ile analizi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1-12.

Orman. 2022. https://tr.wikipedia.org/wiki/Orman adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 20.01.2022].

Phan, T. N., & Kappas, M. (2018). Application of MODIS land surface temperature data: A systematic literature review and analysis. *Journal of Applied Remote Sensing*, 1-21.

Polehampton, E., Smith , C., Ghent, D., Wooster, M., Xu, W., Bruniquel, J., & Dransfeld, S. (2021). *Copernicus Sentinel-3 SLSTR Land User Handbook.* ESA.

Portin, H., Mielonen, T., Leskinen, A., Arola, A., Parjala, E., Romakkanizmi, S., . . . Komppula, M. (2012). Biomass burning aerosols observer in eastern Finland during the Russian wildfires in summer 2010- Part 1: In-situ aerosol characterization. *Atmospheric Environment*, 269-278.

Quantino, C., Fernandez-Manso, A., Calvo, L., Marcos, E., & Valbuena, L. (2015). Land surface temperature as potential ındicator of burn severity in forest Mediterranean ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 1-12.

Savenets, M., Osadchyi, V., Orashchonko, A., & Pysarenko, L. (2020). Air quality changes in Ukraine during the April 2020 wildfire event. *Geographica Pannonica*, 271-284.

Schneising, O., Buchwitz, M., Reuter, M., Bovensmann, H., & Burrows, J. P. (2020). Severe Californian wildfires in November 2018 observed from space: the carbon monoxide perspective. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3317-3332.

Sentinel-2. 2022. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2 adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 25.01.2022].

Sentinel-3. 2022. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3 adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 25.01.2022].

Sentinel-5P. 2022. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-5p adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 25.01.2022].

Sentinel-5P Datasets. 2022. https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/sentinel-5p adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 26.01.2022].

Singh, S., Singh, H., Sharma, V., Shrivastava, V., Kumar, P., Kanga, S., . . . Singh, S. K. (2022). Impact of forest fires on air quality in Wolgan Valley, New South Wales, Australia- A mapping and monitoring study using Google Earth Engine. *Forests*, 1-17.

Sirimongkonlertkul, N., & Phonekeo, V. (2012). Remote sensing and GIS application analysis of active fire, aerosol optical thickness and estimated PM10 in the north of Thailand and Chiang Rai province. *APCBEE Procedia*, 304-308.

Smiroglia, D., Filipponi, F., Mandrone, S., Tornato, A., & Taramelli, A. (2020). Aggrement Index for burned Area Mapping: Integration of multiple spectral ındices using Sentinel 2 satellite ımages. *Remote Sensing*, 1-17.

Sofowote, U., & Dempsey, F. (2015). Impacts of forest fires on ambient near real time PM2,5 in Ontario Canada: Meteorological analyses and source apportionment of the July 2011-2013 episodes. *Atmospheric Pollution Research*, 1-10.

Sofuoğlu, A., & Sofuoğlu, S. C. (2013). Hava Kirliliği ve Kontrolü. P. Çınar içinde, *Çevre Kirliliği ve Kontrolü* (s. 114-164). Ankara: Nobel Yayın.

Soleimany, A., Grubliauskas, R., & Sereviciene, V. (2021). Application of satellite data and gıs services for studying air pollutants in Lithuania (Case study: Kaunas City). *Air Quality, Atmosphere & Health*, 411-429.

Sourav, M. A. (2017). Impact of flash flood on boro rice production in Taherpur Upazila. *Bangladeş Üniversitesi*, 125. Researchgate: (https://www.researchgate.net/figure/Active-and-passive-remote-sensing_fig5_312190621) adresinden alındı.

Sparks, T. L., & Wagner, J. (2021). Composition of particulate matter during a wildfire smoke episode in an urban area. *Aerosol Science and Technology*, 734-747.

Stein, A. F., Draxler, R. R., Ralph, G. D., Stunder, B. J., Cohen, M. D., & Ngan, F. (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *American Meteorological Society*, 2059-2078.

Stoof, C. R., Ferreira, A. J., Mol, W., Berg, J., Kort , A., Drooger, S., . . . Ritsema, C. J. (2015). Soil surface changes increase runoff and erosion risk after a low–moderate severity fire. *Geoderma*, 58-67.

Stoyanova , J. S., Georgiev, C. G., & Neytchev, P. N. (2022). Satellite observations of fire activity in relation to biophysical forcing effect of land surface temperature in Mediterranean climate. *Remote Sensing*, 1-24.

Sunar, P. (2018). *Uzaktan Algılama.* Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınevi.

Sürekli İzleme Merkezi. 2022. https://sim.csb.gov.tr/Intro/Uhkia adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 06.02.2022].

Szpakowski, D. M., & Jensen, J. L. (2019). A review of the applications of remote sensing in fire ecology. *Remote Sensing* , 1-31.

Tariq, S., ul-Haq, Z., Mariam, A., Mehmood, U., & Ahmed, W. (2021). Assessment of air quality during worst wildfires in Turkey. *Natural Hazards*, 1-16.

Tekin, H., & Özdemir Helvacı, F. (2014). Orman ekosistemleri açısından hava kalitesinin izlenmesi, önemi ve yöntemleri. *II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu,* (s. 343-351). Isparta.

Terra Satellite. 2022. https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/spacecraft/index.html adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 25.06.2022].

The Sentinel Mission. 2022. https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/sentinel-5p adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 26.01.2022].

Torgersen, C. E., Faux, R. N., McIntosh, B. A., Poage, N. J., & Norton, D. J. (2001, 01 20). Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. *Remote Sensing of Environment*, 386-398. Science Direct: (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425701001869) adresinden alındı

Tropomi. 2022. ESA. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Tropomi adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 26.04.2022].

Velde, I. R., Werf, G. R., Houveling, S., Moasakkers, J. D., Borsdorff, T., Landgraf, J., . . . Aben, I. (2021). Vast CO2 release from Australian fires in 2019-2020 constrained by Satellite. *Nature*, 366-374.

Vicente, F. B., Carbajal, N., & Martínez, L. F. (2014). Estimation of total yearly CO2 emissions by wildfires in Mexico during the period 1999–2010. *Advances in Meteorology*, 1-9.

Vlassova, L., Perez-Cabello, F., Mimbrero, M. R., Lloveria, R. M., & Garcia-Martin, A. (2014). Analysis of the relationship between land surface temperature and wildfire severity in a series of Landsat ımages. *Remote Sensing*, 6136-6162.

Witham, C., & Manning, A. (2007). Impacts of Russian biomass burning on UK air quality. *Atmospheric Environment*, 8075–8090.

Wu, J., Winer, A., & Delfino, R. (2006). Exposure assessment of particulate matter air pollution before, during, and after the 2003 Southern California wildfires. *Atmospheric Environment*, 3333–3348.

Wu, Y., Arapi, A., Huang, J., Gross, B., & Moshary, F. (2018). Intra-continential wildfire smoke transport and ımpact on localair quality observed by ground-base and satellite remote sensing in new york city. *Atmospheric Environment*, 266-281.

Yadav, I. C., Devi, N. L., Li, J., Syed, J. H., Zhang, G., & Watanabe, H. (2017). Biomass burning in Indo-China peninsula and its impacts on regional air quality and global climate change-a review. *Environmental Pollution*, 414-427.

Yao, J., & Henderson, S. B. (2014). An empricial model to estimate daily forest fire smoke exposure over a large geographic area, using air quality, meteorological, and remote sensing data. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* , 328-335.

Yeni Asır Gazetesi. 2022. https://www.yeniasir.com.tr/ege/mugla/2021/07/29/son-dakika-marmariste-orman-yangini-1-kisi-hayatini-kaybetti adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 20.01.2022].

Yin, S., Wang, X., Zhang, X., Zhang, Z., Xiao, Y., Tani, H., & Sun, Z. (2019). Exploring the effects of crop residue burning on local haze pollution in Northeast China using ground and satellite data. *Atmospheric Environment*, 189-201.

YK Enerji. 2022. https://www.ykenerji.com.tr/tr/yenikoy-termik-santrali-1 adresinden alındı [Son Erişim Tarihi: 26.01.2022].

Zafer, N., Tuygun, G. T., & Elbir, T. (2019). Türkiye'de 1988-2017 yılları arasında gerçekleşen orman yangınlarından kaynaklanan hava kirletici emisyonların envanteri. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 23-31.

Zhang, W., Yu, M., He, Q., Wang, T., Lin, L., Cao, K., . . . Chan, J. (2020). The spatial and temporal impact of agricultural crop residual burning on local land surface temperature in three provinces across China from 2015 to 2017. *Journal of Cleaner Production*, 1-11.

Zhang, X., & Kondragunta, S. (2008). Temporal and spatial variability in biomass burned areas across the USA derived from the GOES fire products. *Remote Sensing of Environment*, 2886-2897.

Zheleva, I., Popov, G., Rusev, P., Tujarov, K., Klimentov, K., & Nikolaev, I. (2014). *Guideline: Air quality assessment based on road traffic.* Ruse: Primax. Researchgate: (https://www.researchgate.net/figure/Types-and-sources-of-air-pollutants_fig2_261994696) adresinden alındı. [Son Erişim Tarihi: 20.03.2022]

2020 Türkiye Orman Varlığı. 2021. Ankara. OGM Ofset.

# ÖZGEÇMİŞ

**Mine Nur MESUT**

## ÖĞRENİM BİLGİLERİ

| | |
|---|---|
| Yüksek Lisans<br><br>2019-2022 | Akdeniz Üniversitesi<br><br>Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ABD, Antalya |
| Lisans<br><br>2012-2018 | Türk Hava Kurumu Üniversitesi<br><br>Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uzay Mühendisliği Bölümü, Ankara |