



**OPTİK VE SAR TABANLI UZAKTAN ALGILAMA  
SİSTEMLERİ: KURUMSAL YAKLAŞIMLAR,  
ÇÖZÜNÜRLÜK OPTİMİZASYONU VE  
ZAMAN SERİSİ UYGULAMALARI**

**– UZMANLIK TEZİ –**

HAZIRLAYAN: BERKE KARAPAÇA

ANKARA – 2025



**OPTİK VE SAR TABANLI UZAKTAN ALGILAMA  
SİSTEMLERİ: KURUMSAL YAKLAŞIMLAR,  
ÇÖZÜNÜRLÜK OPTİMİZASYONU VE  
ZAMAN SERİSİ UYGULAMALARI**

Tezi Hazırlayan : Berke KARAPAÇA

Tez Danışmanı : Dr. Ahmet DELEN

Birim Amiri : Ömer ALAN

Berke KARAPAÇA tarafından hazırlanan **Optik ve SAR Tabanlı Uzaktan Algılama Sistemleri: Kurumsal Yaklaşımlar, Çözünürlük Optimizasyonu ve Zaman Serisi Uygulamaları** adlı bu tezin Coğrafi Bilgi Sistemi Uzmanlık tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Öğretim Üyesi  
Dr. Ahmet DELEN  
Tez Danışmanı

Bu çalışma, tez savunma komisyonumuz tarafından Coğrafi Bilgi Sistemi Uzmanlık tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Ömer ALAN  
Genel Müdür

Üye: Mustafa Yavuz TORUN  
Genel Müdür Yardımcısı

Üye: Emra SERT  
Daire Başkanı

Üye: Sibel SÜER TOYBIYIK  
Çevre ve Şehircilik Uzmanı

Üye: Dr. Ahmet DELEN  
Öğretim Üyesi

Bu tez, Coğrafi Bilgi Sistemi Uzmanlığı Tez Hazırlama Yönergesi'ne uygundur.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vii
ABSTRACT .....	viii
TEŞEKKÜR .....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ .....	xiv
KISALTMALAR .....	xv
GİRİŞ .....	1

### BÖLÜM 1

<b>UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ VE ZAMAN SERİSİ GÖRÜNTÜ ANALİZLERİ .....</b>	<b>4</b>
1.1. Uzaktan Algılama Sistemleri.....	4
1.2. Çözünürlük Türleri .....	6
1.3. Spektral Özelliklerine Göre Görüntüler.....	9
1.4. Spektral Bantlar .....	11
1.5. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) Görüntüleri .....	13
1.6. Zaman Serisi Görüntüler ve Analizleri.....	15

### BÖLÜM 2

<b>TÜRKİYE'DE UZAKTAN ALGILAMA FAALİYETLERİ: KAMU KURUMLARININ ROLÜ VE ÇALIŞMALARI.....</b>	<b>18</b>
2.1. Türkiye Uzay Ajansı (TUA).....	18
2.2. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü (TUBİTAK UZAY) .....	20
2.3. Türk Havacılık ve Uzay Sanayii (TUSAŞ) .....	22
2.4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü (CBSGM).....	22
2.5. Harita Genel Müdürlüğü (HGM).....	26

2.6.	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM).....	30
2.7.	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ).....	31
2.8.	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD).....	32
2.9.	Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü (MTA).....	33
2.10.	Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü (ÇYGM).....	34
2.11.	Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü .....	35
2.12.	Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM).....	36
2.13.	Orman Genel Müdürlüğü (OGM).....	37

### **BÖLÜM 3**

#### **ULUSLARARASI UZAKTAN ALGILAMA FAALİYETLERİ ..... 39**

3.1.	Uzaktan Algılamada Kurumsal Yapılar, Stratejik Yaklaşımlar ve Projeler .....	39
3.1.1.	<i>Amerika Birleşik Devletleri (ABD)</i> .....	39
3.1.2.	<i>Avrupa Birliği ve Avrupa Ülkeleri</i> .....	45
3.1.3.	<i>Kanada</i> .....	54
3.1.4.	<i>Çin</i> .....	57
3.1.5.	<i>Japonya</i> .....	60
3.1.6.	<i>Güney Kore</i> .....	62
3.1.7.	<i>Uluslararası İş Birliği Platformları ve Girişimler</i> .....	65
3.2.	Optik ve SAR Uydu Sistemleri: Teknik Özellikler ve Güncel Durum.....	68

### **BÖLÜM 4**

#### **GÖRÜNTÜ ÇÖZÜNÜRLÜK OPTİMİZASYONU..... 82**

4.1.	Optimizasyon Uygulamasının Geliştirilmesi ve Yöntemsel Altyapı.....	83
4.1.1.	<i>Google Earth Engine (GEE) Platformu ve Kullanım Avantajları</i> .....	83
4.1.2.	<i>Dynamic World ve Diğer Küresel Arazi Örtüsü Veri Setleri</i> .....	84
4.1.3.	<i>Altıgen Grid Tabanlı Yaklaşım</i> .....	86
4.1.4.	<i>Arazi Sınıflarının Özelleştirilmesi ve Baskın Sınıfların Belirlenmesi</i> .....	87
4.1.5.	<i>Tavsiye Edilen Çözünürlüklerin Belirlenmesi</i> .....	89

4.2.	Uygulama Sonuçları .....	94
4.2.1.	<i>Ulusal Analiz Modu</i> .....	95
4.2.2.	<i>Altıgen Grid Seçimi Analiz Modu</i> .....	98
4.2.3.	<i>Sonuçlar</i> .....	104

## **BÖLÜM 5**

### **UYGULAMA-1**

<b>2021 Yılı Bodrum – Milas Yangını Sonrası Bitki Örtüsü Yenilenmesinde Yanma Şiddeti Etkilerinin Değerlendirilmesi .....</b>		<b>106</b>
5.1.	Giriş .....	106
5.2.	Materyal.....	107
5.2.1.	<i>Çalışma Alanı</i> .....	107
5.2.2.	<i>Veriler ve Uygulamalar</i> .....	108
5.3.	Metodoloji .....	109
5.4.	Bulgular .....	111
5.4.1.	<i>Zaman Serisi Veri Seti Oluşturulması</i> .....	111
5.4.2.	<i>Bitki Örtüsü ve Yanma Şiddetinin Sınıflandırılması</i> .....	112
5.4.3.	<i>Yanma Şiddeti ve Bitki Örtüsü Yenilenmesi Arasındaki İlişki</i> .....	116
5.5.	Sonuçlar .....	119

## **BÖLÜM 6**

### **UYGULAMA-2**

<b>Erzincan İliç Madeni’nde Toprak Kayması Olayı Öncesi Deformasyonların Sentinel-1 ile PS-InSAR Zaman Serisi Analizi.....</b>		<b>121</b>
6.1.	Giriş .....	121
6.2.	Materyal.....	122
6.2.1.	<i>Çalışma Alanı</i> .....	122
6.2.2.	<i>Veriler ve Uygulamalar</i> .....	123
6.3.	Metodoloji .....	125
6.4.	Bulgular .....	130

6.5.	Sayısal Yükseklik Modelleri Oluşturarak Toprak Kaymasının Tespiti.....	135
6.6.	Sonuçlar.....	139

## **BÖLÜM 7**

### **UYGULAMA-3**

<b>Google Earth Engine ile Marmara Denizi'ndeki Müsilajın İzlenmesi.....</b>	<b>141</b>
7.1. Giriş .....	141
7.2. Materyal.....	145
7.2.1. Çalışma Alanı .....	145
7.2.2. Veriler ve Uygulamalar.....	146
7.3. Metodoloji .....	146
7.3.1. Çalışma Alanı Seçimi .....	147
7.3.2. Tarih Aralığı Seçimi ve Görüntülerin Filtrelenmesi .....	147
7.3.3. İndeks Seçimi.....	148
7.3.4. Analiz ve Görselleştirme .....	149
7.4. Bulgular .....	149
7.5. Sonuçlar .....	157
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>158</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>163</b>
<b>ETİK KURALLARINA UYGUNLUK BEYANI.....</b>	<b>181</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>182</b>

## ÖZET

<b>ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI</b>	
Tezin Adı	Optik ve SAR Tabanlı Uzaktan Algılama Sistemleri: Kurumsal Yaklaşımlar, Çözünürlük Optimizasyonu ve Zaman Serisi Uygulamaları
Türü	Coğrafi Bilgi Sistemi Uzmanlık Tezi
Yazar	Berke KARAPAÇA
Teslim Tarihi	21.08.2025
Anahtar Kelimeler	Uzaktan Algılama, Çözünürlük Optimizasyonu, Zaman Serisi, Bulut Tabanlı Analiz
Tez Danışmanı	Dr. Ahmet DELEN
Sayfa Adedi	182
<p>Hızla gelişen uzaktan algılama teknolojileri, coğrafi veriye erişimi kolaylaştırarak şehir planlama, tarım, afet yönetimi, çevre ve iklim değişikliği çalışmalarında önemli rol oynamaktadır. Türkiye ve dünyada bu alanda kurumsal çalışmaların artmasıyla birlikte veri üretimi, paylaşımı ve analizi kullanıcı ihtiyaçlarıyla daha uyumlu hale gelmiş, uzaktan algılama süreçlerinde kullanılacak görüntülerin hangi teknik özellikleri taşıması gerektiği daha da önem kazanmıştır. Bu bağlamda, tez kapsamında Türkiye coğrafyasının öne çıkan arazi örtüsü sınıfları özellikleri dikkate alınarak bölgesel görüntü çözünürlük gereksinimlerini belirlemeye yönelik yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde ülke sınırları içerisindeki arazi örtüsü bölütlenerek Google Earth Engine (GEE) platformunda uygulama haline getirilmiştir.</p> <p>Tez çalışmasının devamında farklı yeryüzü olaylarının mekânsal ve zamansal değişimini incelemek amacıyla uzaktan algılama tabanlı zaman serisi analizleri gerçekleştirilmiştir. Optik veriler kullanılarak 2021 Yılı Bodrum – Milas yangını sonrası bitki örtüsü yenilenmesinde yanma şiddeti etkileri değerlendirilmiş, Erzincan İliç Madeni’nde 2024 yılında yaşanan toprak kayması olayı öncesindeki deformasyonlar PS-InSAR yöntemiyle analiz edilmiş ve Marmara Denizi’nde müsülaj oluşumunun izlenmesi için GEE tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Uydu görüntüleri üzerinden zaman serisi analizleri gerçekleştirilerek bu analizlerin Bakanlık çalışmalarına sağlayabileceği katkıların ve kullanım potansiyellerinin ortaya konulması hedeflenmiştir.</p>	

## ABSTRACT

<b>MINISTRY OF ENVIRONMENT, URBANISATION AND CLIMATE CHANGE</b>	
Thesis	Optical and SAR-Based Remote Sensing Systems: Institutional Approaches, Resolution Optimization and Time Series Applications
Type	Geographic Information System Expertise Thesis
Author	Berke KARAPAÇA
Submission Date	21.08.2025
Key Words	Remote Sensing, Resolution Optimization, Time Series, Cloud-Based Computing
Advisor	Dr. Ahmet DELEN
Total Page	182
<p>Rapidly developing remote sensing technologies facilitate access to geospatial data and play a crucial role in urban planning, agriculture, disaster management, environmental and climate-change operations. With growing institutional efforts in this field in Türkiye and worldwide, production, sharing and analysis of data have become better aligned with user needs and the technical specifications required for imagery used in remote sensing processes have become more important. In this context, a new method is proposed within the scope of this thesis to determine regional image resolution requirements by considering the characteristics of prominent land cover classes in Türkiye. The proposed method grids land cover nationwide and is implemented on the Google Earth Engine (GEE) platform.</p> <p>In the following stages of the thesis, remote sensing-based time series analyses were conducted to examine the spatiotemporal dynamics of different hazards. Using optical data, the effects of burn severity on vegetation regeneration after the 2021 Bodrum–Milas wildfire were assessed, deformations prior to the 2024 landslide at the Erzincan İliç Mine were analyzed using the PS-InSAR method and a GEE-based application was developed to monitor mucilage formation in the Sea of Marmara. Time-series analyses were conducted on satellite images to demonstrate the potential contributions and practical applications of these analyses to the Ministry's operational workflows.</p>	

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübeleriyle bana her aşamada yol gösteren, değerli katkıları ve samimi desteğiyle çalışmalarımı yönlendiren, zamanını ve emeğini esirgemedi her konuda yardımcı olan danışmanım Dr. Ahmet DELEN'e, tezimi baştan sonra dikkatle inceleyerek yapıcı değerlendirmeleriyle şekil ve içerik yönünden katkı sağlayan, ayrıca uygun bir çalışma ortamı sağlayan Tez Jürisi Başkanı Sn. Ömer ALAN'a ve Tez Jürisi üyelerine, çalışmam boyunca her daim yanımda olan başta değerli eşim ve tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Berke KARAPAÇA

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Uzaktan Algılama Sistemi Bileşenleri .....	4
Şekil 1.2 Uzaktan Algılamada Elektromanyetik Spektrum .....	5
Şekil 1.3 Temel Nesnelerin Spektral İmzaları .....	6
Şekil 1.4 Farklı Radyometrik Çözünürlük Değerlerine Sahip Görüntüler.....	7
Şekil 1.5 Farklı Mekânsal Çözünürlük Değerlerine Sahip Görüntüler .....	8
Şekil 1.6 Worldview-1 Pankromatik Uydu Görüntüsü .....	10
Şekil 1.7 GÖKTÜRK-1 Multispektral Uydu Görüntüsü .....	10
Şekil 1.8 EnMAP Hiperspektral Sensörü Spektral Özellikleri .....	11
Şekil 1.9 TerraSAR-X Uydu Görüntüleri ile Kıyı Çizgileri Takibi.....	13
Şekil 1.10 SAR Sistemlerinde Sinyal Saçılma Türleri.....	14
Şekil 1.11 CBSGM 2022 ve 2023 Yılı Adıyaman Merkez Ortogörüntüsü .....	16
Şekil 2.1 Hiperspektral Görüntüler ile Tarım Ürünlerinin İzlenmesi .....	21
Şekil 2.2 Ulusal Coğrafi Bilgi Platformu (UCBP) Harita Görüntüleyici.....	23
Şekil 2.3 2014-2016 Gerçek Ortogörüntü Projesi Kapsama Alanı .....	24
Şekil 2.4 Karadeniz Bölgesi Sel ve Taşkın Modelleme Projesi.....	25
Şekil 2.5 HGM Envanterinde Bulunan Uçak ve Sayısal Hava Kameraları .....	26
Şekil 2.6 2024 Yılı Hava Fotoğrafı Çekimi Durumu.....	27
Şekil 2.7 2022-2024 Yılları Hava Fotoğrafı Çekimi Yapılan Alanlar .....	27
Şekil 2.8 2025 Yılı Hava Fotoğrafı Talep ve Planlama Durumu.....	28
Şekil 2.9 2025 Yılı Hava Fotoğrafı Çekimi ve Ortogörüntü Üretim Planı .....	28
Şekil 2.10 2025 Yılı GÖKTÜRK-1 ve İMECE Uydu Görüntüsü Çekim Planı.....	29
Şekil 2.11 2017-2025 Yılları GÖKTÜRK-1 Uydu Görüntüsü İndeksi .....	29
Şekil 2.12 TKGM Envanterinde Bulunan Uçak ve Sayısal Hava Kameraları.....	30
Şekil 2.13 TKGM'nin Görüntü Alımı Uçuş Alanlarının Yıllara Göre Dağılımı .....	31
Şekil 2.14 RASAT Görüntüleri Kullanılarak 2 Şubat 2015 Edirne Sel Olayı Analizi .....	33
Şekil 2.15 HEY Portalı Temsili Hava Kalitesi Haritası.....	34
Şekil 2.16 NEFES Yazılımı Temsili 3B Harita Görseli.....	35

Şekil 2.17 29 Nisan 2021 Tarihli Su Kalitesi Parametreleri Analizi .....	36
Şekil 2.18 Meşçere Tipleri Haritası Temsili Görseli .....	37
Şekil 2.19 2019 Yılı İzmir Orman Yangın Alanı Sınıflandırılması Çalışması .....	38
Şekil 3.1 Copernicus Sentinel Genişleme Misyonları.....	46
Şekil 3.2 ESA Earth Explorers Programı.....	47
Şekil 3.3 ForstEO Projesi 2017-2023 Güney Thuringa'da Orman Örtüsü Kaybı .....	48
Şekil 3.4 HydroSHEDS-X Projesi Banks Adası Haritası .....	49
Şekil 3.5 OSC GE Arazi Örtüsü Veritabanı Örnek Görsel .....	50
Şekil 3.6 Geoportail Fransa Ulusal Coğrafi Veri Portalı .....	51
Şekil 3.7 OS MasterMap Topografya Katmanı .....	52
Şekil 3.8 PRISMA Uydusu Ağustos 2020 Kaliforniya Yangını Şiddet Analizi.....	53
Şekil 3.9 GeoAI Projesi, Quebec Şehri 2006-2022 Yılları Arası Değişimi.....	55
Şekil 3.10 Kanada Ulusal Ormansızlaşma İzleme Sistemi 2015 Haritası.....	56
Şekil 3.11 Anxi Tieguanyin-2 Uydusu Mayıs 2022 Çay Bahçeleri Görüntüsü.....	58
Şekil 3.12 SinoLC-1 Projesi, Çin Arazi Örtüsü Haritası .....	59
Şekil 3.13 Pirinç Tarlalarının Mevsimsel Analizlerle Haritalanması .....	61
Şekil 3.14 Tokyo Körfezi Yıllık Arazi Deformasyonu.....	62
Şekil 3.15 Güney Kore Ulusal Arazi Örtüsü Haritası Örnek Görüntüsü .....	63
Şekil 3.16 2023 Yılı Hongseong-gun Orman Yangını Analizi .....	64
Şekil 3.17 Heyelandan Etkilenen Alanın Tahmini, 2023 yılı, Yecheon-gun.....	65
Şekil 3.18 International Charter Kapsamında Üretilmiş Deprem Hasar Haritası .....	66
Şekil 3.19 Yıllara Göre Fırlatılan Yer Gözlem Uydusu Sayıları .....	68
Şekil 3.20 Ülkelere Göre Yer Gözlem Uydusu Sayıları .....	69
Şekil 4.1 100 km <sup>2</sup> Alana Sahip Hücrelerden Oluşan Altıgen Grid Sistemi .....	87
Şekil 4.2 Dynamic World Arazi Örtüsü Sınıflarının Özelleştirilmesi .....	88
Şekil 4.3 Nüfus Yoğunluğuna göre Belirlenen Dinamik Kentsel Alanlar .....	93
Şekil 4.4 Görüntü Optimizasyonu Analiz Uygulaması Arayüzü .....	94
Şekil 4.5 Türkiye Geneli Arazi Örtüsü Sınıflandırması.....	95
Şekil 4.6 Baskın Arazi Örtüsü Haritası.....	96

Şekil 4.7 Baskın Arazi Örtüsü Sınıfları ve Tavsiye Edilen Görüntü Özellikleri .....	97
Şekil 4.8 50 km <sup>2</sup> Altıgen Grid Seçimi.....	98
Şekil 4.9 Seçilen 50 km <sup>2</sup> Altıgen Grid için Analiz Sonuçları .....	99
Şekil 4.10 100 km <sup>2</sup> Altıgen Grid Seçimi.....	100
Şekil 4.11 Seçilen 100 km <sup>2</sup> Altıgen Grid için Analiz Sonuçları .....	101
Şekil 4.12 200 km <sup>2</sup> Altıgen Grid Seçimi.....	102
Şekil 4.13 Seçilen 200 km <sup>2</sup> Altıgen Grid için Analiz Sonuçları .....	103
Şekil 5.1 Yangın Bölgesi – Çalışma Alanı .....	107
Şekil 5.2 Yangın Uygulaması – İş Akış Şeması .....	109
Şekil 5.3 NDVI Zaman Serisi Haritaları.....	111
Şekil 5.4 NDVI ve NBR Ortalama Değerler Zaman Serisi Grafikleri.....	112
Şekil 5.5 Bitki Örtüsü Sınıflandırması Zaman Serisi Haritaları .....	113
Şekil 5.6 Bitki Örtüsü Sınıflandırması Zaman Serisi Grafiği .....	114
Şekil 5.7 Yanma Şiddeti Analizi Haritası .....	115
Şekil 5.8 Yanma Şiddeti Sınıflarında NDVI Ortalama Değerler Zaman Serisi Grafiği .....	116
Şekil 5.9 Yanma Şiddeti Sınıflarında NBR Ortalama Değerler Zaman Serisi Grafiği.....	116
Şekil 5.10 Yanma Şiddeti Sınıflarında Bitki Örtüsü Sınıflandırma Zaman Serisi Grafikler	117
Şekil 6.1 İliç Maden Sahası – Uygulama Çalışma Alanı .....	123
Şekil 6.2 PS-InSAR Analizinde Kullanılan Görüntüler.....	124
Şekil 6.3 PS-InSAR Analizi İş Akış Şeması.....	125
Şekil 6.4 PS-InSAR Analizinde Kullanılan Görüntülerin İz Düşümleri.....	126
Şekil 6.5 Yansıtıcılık ve 28.07.2023 tarihli Genlik Stabilite Haritası.....	127
Şekil 6.6 28.07.2023 – 16.07.2023 Tarihli İnterferogram ve Uyumluluk Haritası.....	127
Şekil 6.7 Atmosferik Faz Bileşeni Haritası 05.01.2023.....	128
Şekil 6.8 Ağdaki Bağlantıların Zamansal Uyumluluğu .....	129
Şekil 6.9 PS Noktalarının Zamansal Uyumluluk Histogramı .....	130
Şekil 6.10 Yığın Liçi Alanındaki Yıllık Deformasyon Haritası .....	131
Şekil 6.11 P1 PS noktasının Deformasyon Zaman Serisi Grafiği.....	132
Şekil 6.12 P2 PS noktasının Deformasyon Zaman Serisi Grafiği.....	133

Şekil 6.13 P3 PS noktasının Deformasyon Zaman Serisi Grafiği.....	133
Şekil 6.14 P4 PS noktasının Deformasyon Zaman Serisi Grafiği.....	134
Şekil 6.15 P5 PS noktasının Deformasyon Zaman Serisi Grafiği.....	134
Şekil 6.16 GraphBuilder – SYM Üretim Süreci İş Akış Şeması .....	136
Şekil 6.17 Toprak Kayması Olayı Öncesi ve Sonrası Tarihli İnterferogramlar.....	138
Şekil 6.18 Toprak Kayması Olayı Öncesi ve Sonrası Tarihli SYM'ler .....	138
Şekil 7.1 2021 Yılı Marmara Denizi Müsilaj Görüntüsü.....	141
Şekil 7.2 Marmara Denizi Yıllık Ortalama Deniz Suyu Sıcaklık Değerleri .....	142
Şekil 7.3 İzmit Körfezi Müsilaj Öncesi ve Sonrası Klorofil-a Konsantrasyonu.....	143
Şekil 7.4 Marmara Denizi Müsilaj Uygulaması Çalışma Alanı.....	145
Şekil 7.5 Müsilaj Uygulaması İş Akış Şeması.....	147
Şekil 7.6 Müsilaj Analizi Uygulaması Arayüzü .....	149
Şekil 7.7 Marmara Denizi 19-05-2021 RGB (üstte) ve AMEI Analizi (altta).....	150
Şekil 7.8 İzmit Körfezi 19-05-2021 RGB (üstte) ve NDTI Analizi (altta) .....	151
Şekil 7.9 İstanbul Boğazı ve Adalar 19-05-2021 RGB (üstte) ve AMEI Analizi (altta) .....	151
Şekil 7.10 Gemlik Körfezi 19-05-2021 RGB (üstte) ve AMEI Analizi (altta).....	152
Şekil 7.11 Erdek Körfezi 17-05-2021 RGB (üstte) ve AFAI Analizi (altta) .....	153
Şekil 7.12 Bandırma Körfezi 17-05-2021 RGB (üstte) ve AMEI Analizi (altta) .....	154
Şekil 7.13 Çanakkale Boğazı 17-05-2021 RGB (üstte) ve AMEI Analizi (altta).....	155
Şekil 7.14 Gemlik Körfezi 19-05-2021 NDCI İndeksi Zaman Serisi Grafiği .....	156
Şekil 7.15 Bandırma Körfezi 17-05-2021 NDCI İndeksi Zaman Serisi Grafiği.....	156

## TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Spektral Bantlar ve Kullanım Alanları .....	12
Tablo 1.2 SAR Sistemlerinde Yaygın Kullanılan Bantların Özellikleri .....	14
Tablo 2.1 Milli Uzay Programı Stratejik Hedefler .....	19
Tablo 3.1 ABD'nin Uzaktan Algılama Verileri Kullanarak Yürüttüğü Proje ve Programlar	42
Tablo 3.2 Faaliyette Olan Yaygın Optik Uydular ve Özellikleri .....	70
Tablo 3.3 Faaliyet Süresi Tamamlanmış Yaygın Optik Uydular ve Özellikleri .....	73
Tablo 3.4 Yakın Gelecekte Fırlatılması Planlanan Öne Çıkan Optik Uydular ve Özellikleri	75
Tablo 3.5 Faaliyette Olan Yaygın SAR Uyduları ve Özellikleri .....	76
Tablo 3.6 Faaliyet Süresi Tamamlanmış Yaygın SAR Uyduları ve Özellikleri .....	80
Tablo 3.7 Yakın Gelecekte Fırlatılması Planlanan Öne Çıkan SAR Uyduları ve Özellikleri	81
Tablo 4.1 Küresel Arazi Örtüsü Veri Seti Örnekleri.....	84
Tablo 4.2 Dynamic World Karşılaştırmalı Genel Doğruluk Çalışmaları.....	85
Tablo 4.3 Uzaktan Algılama Tabanlı Analizlerde Kullanılan Görüntü Çözünürlük Değerleri: Literatür Örnekleri .....	90
Tablo 4.4 Tavsiye Edilen Görüntü Çözünürlük Değerleri .....	92
Tablo 4.5 Dinamik Kentsel Alanlar Tavsiye Edilen Çözünürlük Değerleri .....	94
Tablo 5.1 Sentinel-2 Bantlar ve Mekansal Çözünürlük Değerleri .....	108
Tablo 5.2 Yangın Çalışmasında Kullanılan Görüntülerin Tarihleri.....	109
Tablo 5.3 Yangın Çalışmasında Kullanılan İndekslerin Formülleri .....	110
Tablo 5.4 EFFIS Tarafından Önerilen dNBR Sınıflandırma Eşik Değerleri .....	110
Tablo 6.1 Sentinel-1 Uydusu Görüntüleme Modları.....	123
Tablo 6.2 SYM Oluşturulması Çalışmasında Kullanılan Görüntülerin Tarihleri .....	135
Tablo 6.3 SYM Üretim Sürecinde Gerçekleştirilen Adımlar ve Açıklamaları .....	137
Tablo 7.1 Sentinel-2 Bantları Dalga Boyu Aralıkları .....	146
Tablo 7.2 Müsilaj Çalışmasında Kullanılan İndekslerin Formülleri.....	148

**KISALTMALAR**

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AFAI	: Alternatif Yüzen Alg İndeksi
AMEI	: Otomatik Müsilaj Çıkarım İndeksi
APGB	: Büyük Britanya için Hava Fotoğrafçılığı
ASI	: İtalyan Uzay Ajansı
AYDES	: Afet Yönetimi ve Karar Destek Sistemi
BGS	: İngiliz Jeoloji Araştırmaları Kurumu
CA	: Kıyı Aerosolü
CAS	: Çin Bilimler Akademisi
CASC	: Çin Havacılık Bilim ve Teknoloji Şirketi
CBSGM	: Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü
CCMEO	: Kanada Haritalama ve Yer Gözlem Merkezi
CCRS	: Kanda Uzaktan Algılama Merkezi
CDL	: Amerika Birleşik Devletleri Tarım Arazisi Veri Katmanı
CDTI	: İspanya Endüstriyel Teknolojik Gelişim Merkezi
CEMS	: Copernicus Acil Durum Yönetim Servisi
CEOS	: Yer Gözlemi Uyduları Komitesi
CNES	: Fransız Ulusal Uzay Araştırmaları Merkezi
CNRS	: Fransa Ulusal Bilimsel Araştırma Merkezi
CNSA	: Çin Ulusal Uzay İdaresi
CONAE	: Arjantin Ulusal Uzay Faaliyetleri Komisyonu
CSA	: Kanada Uzay Ajansı
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
ÇYGM	: Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
DEN-İZ	: Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı
DINAMIS	: Uydu Görüntülerine Ortak Erişim için Ulusal Kurumsal Yapı

DInSAR	: Diferansiyel İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar
DLR	: Alman Havacılık ve Uzay Merkezi
dNBR	: Normalize Edilmiş Fark Yanma Oranı İndeksi
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
ECCE	: Kanada Çevre ve İklim Değişikliği Bakanlığı
EFFIS	: Avrupa Orman Yangın Bilgi Servisi
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
FIREHARM	: Yangın Tehlikesi ve Risk Modeli
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GEE	: Google Earth Engine
GEO	: Küresel Yer Gözlem Grubu
HEY	: Hava Emisyon Yönetim
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
IGM	: İtalya Askeri Coğrafya Enstitüsü
IGN	: Fransa Ulusal Coğrafya ve Ormancılık Bilgi Enstitüsü
InSAR	: İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar
IRD	: Fransa Kalkın Araştırma Enstitüsü
ISPRA	: İtalya Çevre Koruma ve Araştırma Enstitüsü
ISRO	: Hindistan Uzay Araştırmaları Kurumu
IW	: İnterferometrik Geniş Alan
İHA	: İnsansız Hava Aracı
JACIE	: Kurumlar Arası Ticari Görüntüleme Değerlendirme Platformu
JAXA	: Japonya Uzay Araştırma Ajansı
KARI	: Kore Uzay Araştırmaları Enstitüsü
KASA	: Kore Havacılık ve Uzay İdaresi
LANDFIRE	: Yangın ve Kaynak Yönetimi Planlama Araçları
LOS	: Radarın Bakış Doğrultusu
LIDAR	: Işık Algılama ve Mesafe Belirleme
LPIS	: Arazi Parsel Tanımlama Sistemi

MNR	: Çin Doğal Kaynaklar Bakanlığı
MOLIT	: Kore Arazi, Altyapı ve Ulaşım Bakanlığı
MTA	: Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü
MWIR	: Orta Dalga Kızılötesi
NAIP	: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Tarım Görüntüleme Programı
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NBR	: Normalize Edilmiş Yanma Oranı İndeksi
NDCI	: Normalize Edilmiş Klorofil İndeksi
NDMI	: Kore Ulusal Afet Yönetimi Araştırma Enstitüsü
NDTI	: Normalize Edilmiş Bulanıklık İndeksi
NDVI	: Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
NDWI	: Normalize Edilmiş Su Farkı İndeksi
NEFES	: Yeni Emisyon Tahmin ve Değerlendirme Sistemi
NGII	: Kore Ulusal Coğrafi Bilgi Enstitüsü
NIR	: Yakın Kızılötesi
NLCD	: Amerika Birleşik Devletleri Yıllık Ulusal Arazi Örtüsü Veritabanı
NOAA	: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi
NRCAN	: Kanada Doğal Kaynaklar Bakanlığı
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OS	: Büyük Britanya Ulusal Haritalama Ajansı
OSC GE	: Büyük Ölçekli Arazi Kullanımı
OSCAR	: Gözlem Sistemleri Yetenek Analizi ve İncelemesi
PAN	: Pankromatik
PolSAR	: Polarimetrik Sentetik Açıklıklı Radar
PS	: Kalıcı Saçıcı Nokta
PS-InSAR	: Kalıcı Saçıcı İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar
RE	: Kırmızı Kenar
RESTEC	: Japonya Uzaktan Algılama Teknolojisi Merkezi
RF	: Rastgele Orman

RGB	: Kırmızı-Yeşil-Mavi
SAR	: Sentetik Açıklıklı Radar
SBAS	: Küçük Baz Mesafesi Alt Kümesi
SLC	: Single Look Complex
SVM	: Destek Vektör Makineleri
SWIR	: Kısa Dalga Kızılötesi
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TIR	: Termal Kızılötesi
TKGM	: Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TRGM	: Tarım Reformu Genel Müdürlüğü
TUA	: Türkiye Uzay Ajansı
TUBİTAK UZAY:	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü
TUCBS	: Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri
TUSAŞ	: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
UASİS	: Ulusal Arazi Örtüsü Sınıflandırma ve İzleme Sistemi
UCBP	: Ulusal Coğrafi Bilgi Platformu
UKSA	: Birleşik Krallık Uzay Ajansı
UN-GGIM	: Birleşmiş Milletler Küresel Coğrafi Bilgi Yönetimi Uzmanlar Komitesi
UN-SPIDER	: Birleşmiş Milletler Afet Yönetimi ve Olağanüstü Hallerde Müdahale Amaçlı Uzay Kaynaklı Bilgi Platformu
USCC	: ABD-Çin Ekonomik ve Güvenlik Değerlendirme Komisyonu
USDA	: Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
USGEO	: Amerika Birleşik Devletleri Yer Gözlemleri Grubu
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu
VNIR	: Kırmızı, Yeşil, Mavi ve Yakın Kızılötesi
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü
3DEP	: 3 Boyutlu Yükseklik Programı

## GİRİŞ

Günümüzde uzaktan algılama sistemleri çevresel değişimlerin takibi, afet yönetimi, arazi kullanım analizleri ve doğal kaynakların izlenmesi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Optik ve sentetik açıklıklı radar (SAR) tabanlı görüntüleme teknolojileri, bu uygulamalarda temel veri kaynağı olarak geniş analiz olanakları sunmaktadır. Son yıllarda sensör teknolojilerindeki ilerlemeler, veri toplama maliyetlerinin azalması ve mikro uydular ile insansız hava araçlarının yaygınlaşması, uzaktan algılama yoluyla coğrafi verilere erişimi daha kolay hâle getirmiştir. Yapay zekâ destekli sınıflandırma algoritmaları, bulut tabanlı analiz platformları ve çoklu veri kaynaklarının entegrasyonu alanında gerçekleşen ilerlemeler, uzaktan algılamanın uygulama alanlarını genişletmekte ve karar alma süreçlerinde daha kapsamlı çözümler sunmasını sağlamaktadır.

Uzaktan algılama görüntülerinde kullanılan mekânsal, radyometrik, spektral ve zamansal çözünürlük türleri, verinin niteliği ve analiz için uygunluğunu doğrudan etkiler. Her çalışma alanı ve analiz türü farklı çözünürlük ihtiyaçları doğurabilir. Çözünürlük değerlerinin uygun şekilde belirlenmesi, elde edilecek sonuçların güvenilirliğini artırır ve analiz süreçlerinde harcanacak zaman, kaynak ve işlem gücünün daha verimli kullanılmasını sağlar. Bu yüzden uygun çözünürlük değerlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Uzaktan algılama analiz süreçlerinde zaman serisi yöntemi, bir bölgeye ait farklı tarihlerde elde edilen verilerin karşılaştırılması yoluyla değişimlerin zamansal boyutta izlenmesini sağlar. Son yıllarda görüntü arşivlerinin zenginleşmesi, bulut tabanlı platformların yaygınlaşması ve analiz araçlarının gelişmesiyle birlikte zaman serisi analizleri uzaktan algılama alanında daha fazla önem kazanmış ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çevresel değişimlerin takibi ve afet yönetimi gibi konularda öne çıkan uzaktan algılama tabanlı zaman serisi analizleri, karar vericilere güçlü bir destek sunmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, Türkiye'nin farklı arazi örtüsü özelliklerine uygun olarak görüntü çözünürlük gereksinimlerinin belirlenmesi ve zaman serisi görüntü analizlerini inceleyerek, Bakanlık (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı)

faaliyetlerine yönelik örnekler üzerinden bu analizlerin faydalarını ve kullanım potansiyellerini ortaya koymaktır. Ayrıca yurt içi ve yurt dışındaki kurumsal çalışmalar, stratejik yaklaşımlar ve uygulama örnekleri incelenerek uzaktan algılama teknolojilerinin planlama ve karar destek süreçlerindeki rolünün daha iyi anlaşılması hedeflenmiştir.

Tezin birinci bölümünde, uzaktan algılama sistemlerinin temel kavramları ve çalışma prensipleri ele alınmaktadır. Uzaktan algılama sistemlerinin genel yapısı, çözünürlük türleri, spektral özelliklerine göre görüntü türleri, spektral bantların karakteristikleri, SAR görüntülerinin özellikleri ve zaman serisi kavramları detaylı şekilde incelenmektedir.

Tezin ikinci bölümünde, Türkiye’de uzaktan algılama alanında faaliyet gösteren kamu kurumlarının rolleri ve çalışmaları ele alınmaktadır. Türkiye Uzay Ajansı, TÜBİTAK UZAY, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Harita Genel Müdürlüğü ve ilgili diğer paydaşların yürüttükleri projeler ve sahip oldukları kurumsal kapasite özetlenerek, kurumların uzaktan algılama alanındaki katkılarının açıklanması hedeflenmektedir.

Tezin üçüncü bölümünde, farklı ülkelerin uzaktan algılama faaliyetleri ve kurumsal yaklaşımları incelenmektedir. Amerika, Kanada, Avrupa Birliği ve Uzak Doğu ülkelerinde uzaktan algılama alanında görev yapan kamu kurumlarının çalışmaları, stratejik hedefleri ve uzaktan algılama verilerinin kullanıldığı ulusal/bölgesel ölçekteki projeler analiz edilmektedir. Ayrıca uluslararası iş birliği platformları ve güncel durumda faaliyette olan, faaliyet süresi bitmiş ve planlanan optik ile SAR uydu sistemlerinin teknik özelliklerini içeren kapsamlı tablolar sunulmaktadır.

Tezin dördüncü bölümünde, Türkiye’nin arazi örtüsü özellikleri dikkate alınarak uzaktan algılama görüntülerinde çözünürlük optimizasyonuna yönelik yeni bir yöntem geliştirilmekte ve bu yöntemin Google Earth Engine platformunda uygulaması gerçekleştirilmektedir. Farklı arazi örtüsü sınıfları ve analiz türleri için görüntü çözünürlük gereksinimlerinin belirlenmesine dayanan bu yöntem hem analizlerin doğruluğunu artırmayı hem de kaynak kullanımını daha verimli hale

getirmeyi hedeflemektedir. Geliştirilen uygulamanın yöntemsel altyapısı ve uygulama çıktıları, bölümde detaylı şekilde sunulmaktadır.

Tezin beşinci, altıncı ve yedinci bölümünde, uzaktan algılama tabanlı zaman serisi analizlerinin Bakanlık faaliyetlerine yönelik örnekler üzerinden faydaları ve kullanım potansiyelleri ortaya konulmaktadır. Bu kapsamda, 2021 yılı Bodrum-Milas yangını sonrası bitki örtüsü yenilenmesinde yanma şiddeti etkilerinin değerlendirilmesi, Erzincan İliç maden toprak kayması olayı öncesi deformasyonların SAR görüntüleri ile incelenmesi ve Marmara Denizi'ndeki müsilajın izlenmesi konularında detaylı vaka çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

Tezin sonuç ve öneriler bölümünde, yapılan araştırmalar ve gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen bulgular değerlendirilerek Türkiye'deki ve dünyada uzaktan algılama faaliyetlerinin mevcut durumu, geliştirilen çözünürlük optimizasyon yönteminin etkinliği ve zaman serisi analizlerinin Bakanlık çalışmalarına sağladığı katkılar özetlenmektedir. Ayrıca, uzaktan algılama teknolojilerinin daha etkin kullanımına yönelik öneriler ve gelecekteki araştırma yönleri ortaya konulmaktadır.

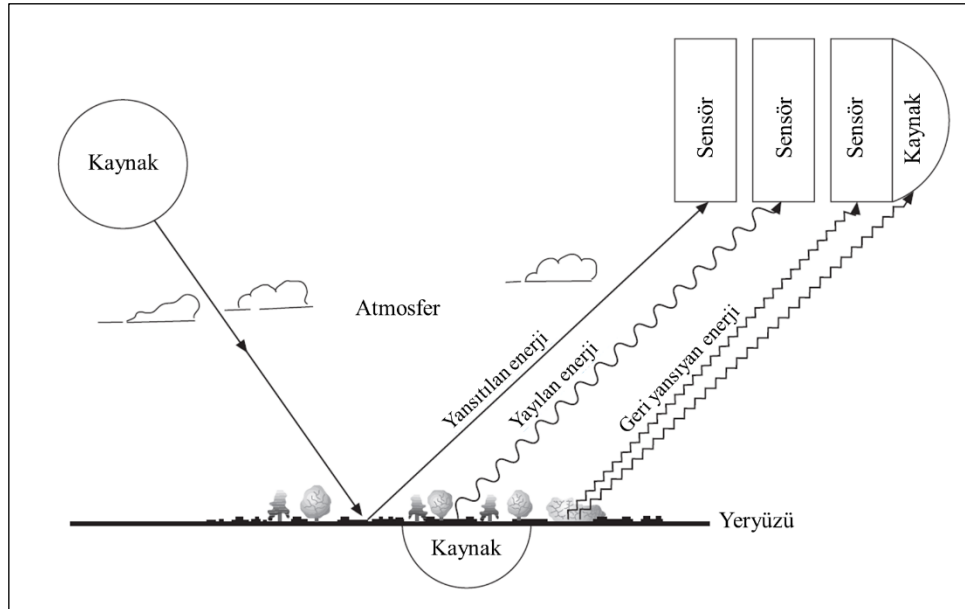
# BÖLÜM 1

## UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ VE ZAMAN SERİSİ GÖRÜNTÜ ANALİZLERİ

### 1.1. Uzaktan Algılama Sistemleri

*Uzaktan algılama*, herhangi bir temas olmadan cisimlerden yayılan veya yansıtılan elektromanyetik enerjinin değerlendirilmesi ve sensörler aracılığıyla elde edilen verilerin işlenmesi yoluyla cisimlere ait özelliklerin belirlenmesidir [1] (Şekil 1.1)

Şekil 1.1 Uzaktan Algılama Sistemi Bileşenleri [2]

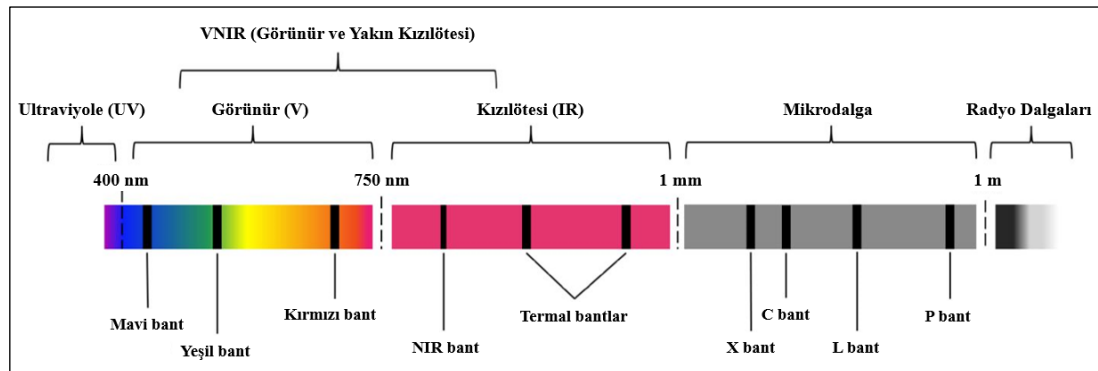


19. yüzyılda bir balondan Paris'in fotoğraflarını çekilmesiyle başladığı kabul edilen uzaktan algılama teknolojileri geçmişten günümüze gelişerek devam etmiştir. 20. yüzyılın ortalarında özellikle İkinci Dünya Savaşı'nda ve sonrasında hava fotoğrafçılığı teknolojilerindeki gelişmeler uzaktan algılamanın temellerini atmıştır [3]. 1957 yılında Sovyetler Birliği'nin ilk araştırma uydusu Sputnik'i fırlatmasının ardından, 1958'de Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA) kurulmuş ve bu alanda rekabet başlamıştır. 1972 yılında fırlatılan Landsat-1 uydusu, uzaktan algılama teknolojisinin gelişimine önemli bir katkı yapmış ve bu alandaki uygulamaların yaygınlaşmasını sağlamıştır [4].

Son yıllarda uzaktan algılama teknolojileri önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Uçak, insansız hava aracı (İHA) ve uydu tabanlı sistemlerin yaygınlaşmasıyla yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir. İHA'lar esnek kullanım avantajı ve yüksek mekânsal çözünürlükleri nedeniyle tercih edilirken uydular geniş alanlarda veri sağlama kapasitesi ile öne çıkmaktadır [5]. Ticari uydu şirketlerinin artması ve mikro uydu gibi küçük uyduların sayısının çoğalması uzaktan algılama hizmetlerine erişimi kolaylaştırmış ve maliyetleri düşürmüştür. Ayrıca Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) ve Işık Algılama ve Mesafe Belirleme (LIDAR) gibi görüntüleme yöntemleri son yıllarda sıkça kullanılmaktadır. SAR, yüzey özelliklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanırken LIDAR teknolojisi genellikle arazinin üç boyutlu profilinin oluşturulması için kullanılır [6]. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin de uzaktan algılama alanında kullanımının artması ile otomatik ve daha hızlı analizler yapılabilmektedir. Yaşanan gelişmelerle beraber uzaktan algılama sistemleri tarım, ormancılık, afet yönetimi, şehir planlama, jeoloji, su yönetimi, madencilik gibi birçok alanda kullanılmaktadır [2].

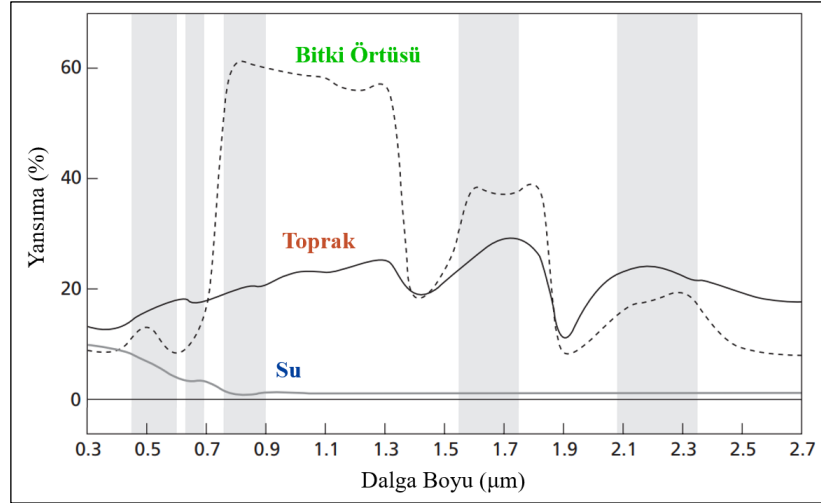
Uzaktan algılama sistemleri, yeryüzü nesnelere tarafından yayılan veya yansıtılan elektromanyetik enerjiyi ölçer ve nesne hakkında bilgiye veya nesneyle ilgili süreçlere dönüştürür. Bu kapsamda uzaktan algılama şu temel bileşenlerden oluşur: enerji kaynağı, atmosferdeki yol, nesneyle etkileşim, enerjinin sensör tarafından kaydedilmesi, verilerin yorumlanması ve analizi, sonuç ürünün oluşturulması [2]. Uzaktan algılamada elektromanyetik enerjinin, dalga boyu ve/veya frekansa göre düzenlenerek gösterildiği sürekli enerji ortamına elektromanyetik spektrum (Şekil 1.2) denir [7].

Şekil 1.2 Uzaktan Algılamada Elektromanyetik Spektrum [8]



Uzaktan algılamada, yansıyan elektromanyetik enerjinin miktarını dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ölçülmesi spektral imza olarak tanımlanmaktadır. Spektral imzalar nesne özelliklerinin daha iyi ayırt edilmesini sağlar [2]. Şekil 1.3'te, bazı temel nesnelerin spektral imzaları gösterilmektedir.

Şekil 1.3 Temel Nesnelerin Spektral İmzaları [2]



Uzaktan algılama sistemleri kullandığı enerji kaynağına göre pasif ve aktif olmak üzere ikiye ayrılır. Pasif uzaktan algılama sistemlerinde enerji kaynağı kullanılmadan, hedeflerin kendisinden veya çevresindeki doğal enerji kaynaklarından gelen elektromanyetik enerji ölçülmektedir. Optik kameralar, multispektral sensörler, hiperspektral sensörler ve termal sensörler pasif algılayıcılara örnek olarak verilebilir. Aktif uzaktan algılama sistemlerinde ise algılayıcılar nesnelere kendi enerjisini iletir ve hedeften geri yansıyan enerjiyi kaydeder. Aktif sistemler kendi enerji kaynağını kullandığı, dolayısıyla güneş enerjisine ihtiyaç duymadıkları için gece ve gündüz koşullarında çalışabilmektedir. SAR ve LIDAR aktif algılayıcılara örnek olarak verilebilir [2].

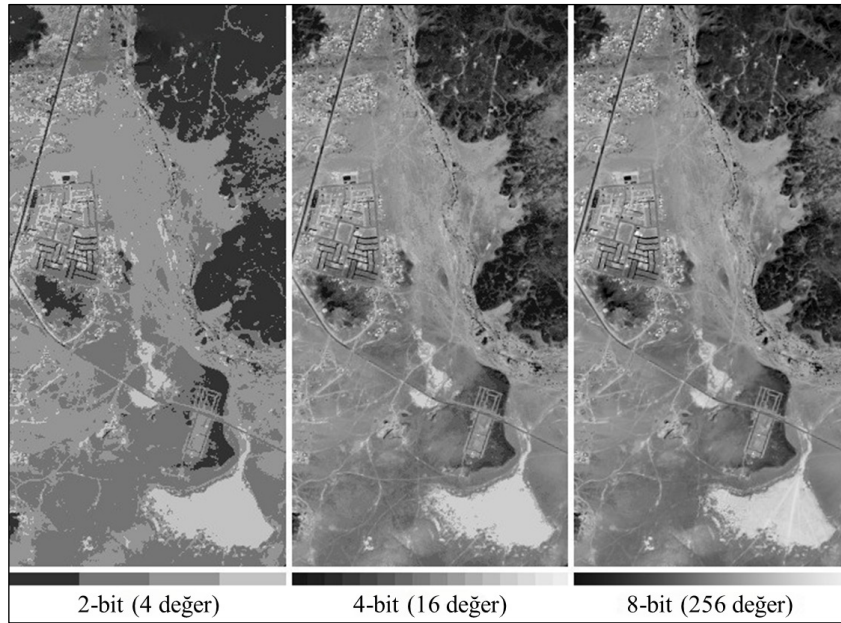
## 1.2. Çözünürlük Türleri

Uzaktan algılamada çözünürlük, algılanan görüntülerin doğruluğunu ve detayını belirleyen önemli bir kavramdır. Çözünürlük değerleri görüntü alımı yapan uydunun yörüngesine, İHA'nın uçuş yüksekliğine, kullanılan sensörün özelliklerine vb. birçok faktöre bağlı olarak değişebilir. Uzaktan algılama görüntülerinde kullanılan

dört çözünürlük türü vardır: radyometrik çözünürlük, mekânsal çözünürlük, spektral çözünürlük ve zamansal çözünürlük.

*Radyometrik çözünürlük*, her bir pikselde kaydedilen enerjinin bit cinsinden değerini ifade eder. Bit değerinin 2'nin kuvveti olarak gösterilmesiyle veride kaydedilen parlaklık değeri bulunabilir. Örneğin, 8 bitlik radyometrik çözünürlük  $2^8$  parlaklık değerine sahiptir ve sensörün bilgiyi depolamak için 256 potansiyel dijital değere (0-255) sahip olduğunu gösterir [9].

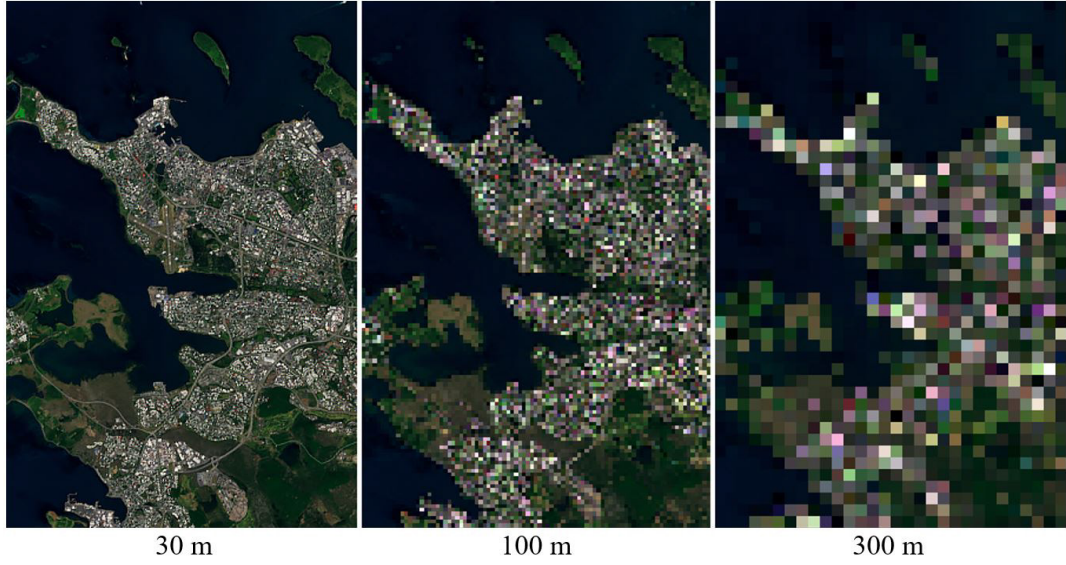
Şekil 1.4 Farklı Radyometrik Çözünürlük Değerlerine Sahip Görüntüler [9]



Radyometrik çözünürlük ne kadar yüksek olursa, bilgi depolamak için o kadar fazla değer kullanılabilir hale gelir ve enerjideki en küçük farklar arasında bile daha iyi bir ayırım sağlanır (Şekil 1.4). Örneğin su kalitesi değerlendirilirken, su kütlesi rengindeki hassas detayların ayırt edilebilmesi için radyometrik çözünürlük önemli bir faktördür [9].

*Mekânsal çözünürlük*, bir görüntüde tespit edilebilen en küçük özelliğin ayrıntı düzeyi veya boyutu anlamına gelir. Diğer bir ifade ile mekânsal çözünürlük, bir pikselin zeminde karşılık geldiği boyutu ifade eder. Mekânsal çözünürlüğün yüksek olması, görüntünün daha ayrıntılı olmasını sağlar ve nesnelerin birbirinden ayırt edilmesine yardımcı olur [1] (Şekil 1.5).

Şekil 1.5 Farklı Mekânsal Çözünürlük Değerlerine Sahip Görüntüler [9]



Mekânsal çözünürlük kentsel alanların haritalanması, afet yönetimi, arazi örtüsü sınıflandırması gibi birçok uygulama için son derece önemlidir. Ayrıca uzaktan algılama analizlerinde uygun mekânsal çözünürlüğün belirlenmesi, doğru sonuçlara ulaşmak ve kaynak kullanımını optimize etme açısından kritik rol oynamaktadır.

*Spektral çözünürlük*, bir sensörün elektromanyetik spektrumda algılayabildiği dalga boyu aralıklarını ve bu aralıkların sayısını ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile spektral çözünürlük, kullanılan bantların sayısını ve genişliğini belirtir. Her spektral bant elektromanyetik spektrumun belirli bir bölümüne duyarlıdır. Spektral bantlar, başlangıç ve bitiş dalga boyları ya da merkez frekansı ve bant genişliği ile tanımlanır [10].

Yeryüzündeki nesnelerin spektral özellikleri ile kendilerine özgü fiziksel özellikleri arasında güçlü bir ilişki vardır. Spektral özellikler nesnelerin yansımaya, yayılma, geçirgenlik ve soğurma özellikleri olarak tanımlanabilir. Sensörler bu spektral özelliklerdeki farklılıkları kaydedebilecek şekilde tasarlanmıştır. Uzaktan algılama sensörlerinin spektral ayırma gücü, kullanılan bant genişliği ile belirlenir. Örneğin yüksek spektral çözünürlüğe sahip bir sensör, benzersiz spektral imzalarına dayanarak farklı bitki örtüsü veya maden türlerini ayırt edebilir [10].

*Zamansal çözünürlük*, aynı konum için veri elde etme sıklığını ifade eder. Görüntülerin veya diğer verilerin ardışık elde edilmesi arasındaki zaman aralığına bağlı olarak belirlenir. Aynı bölgenin izlenmesi ve değişimlerin tespit edilmesi gibi analizlerde zamansal çözünürlük büyük önem taşır. Veri elde etme sıklığının önemi yapılacak uygulamaya göre değişir. Örneğin, afet müdahalesi gibi acil durumlarda zamansal çözünürlük çok daha kritik bir hale gelebilir [11].

Zamansal çözünürlük, arazi örtüsü değişikliklerinin izlenmesi, doğal afetlerin takip edilmesi ve bitki örtüsü büyümesindeki mevsimsel eğilimlerin analiz edilmesi gibi uygulamalar için son derece önemlidir. Farklı zamanlarda elde edilecek görüntüler sayesinde orman tahribatının takibi, su kaynaklarının izlenmesi, kentsel alanların gelişimi gibi birçok analiz yapılabilmektedir.

### 1.3. Spektral Özelliklerine Göre Görüntüler

Uzaktan algılamada görüntüler spektral özelliklerine göre pankromatik, multispektral ve hiperspektral gibi farklı türlerde incelenmektedir. Her biri farklı spektral çözünürlük ve uygulama alanlarına sahiptir.

*Pankromatik görüntüler*, geniş bir spektral aralığı kapsayan tek bantlı gri tonlamalı görüntülerdir. Pankromatik sensörler, nesnelerin yansıttığı enerjiyi daha geniş bir spektral bant aralığı boyunca daha dar bir görüş alanı ile toplar. Sensörün görüş alanı ne kadar dar olursa mekânsal çözünürlük o kadar yüksek olur; bu nedenle pankromatik görüntüler, aynı sensörün multispektral görüntülerine göre daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahiptir [12].

Pankromatik görüntüler (Şekil 1.6) haritalama, askeri ve afet yönetimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca çok bantlı görüntüler ile birleştirilerek pan-keskinleştirme işlemi de sıkça kullanılır. Pan-keskinleştirme yüksek mekânsal çözünürlüklü pankromatik görüntüler kullanılarak düşük mekânsal çözünürlüklü çok bantlı görüntülerin mekânsal çözünürlüğünü artırmak üzere uygulanan bir tekniktir [13].

Şekil 1.6 Worldview-1 Pankromatik Uydu Görüntüsü [14]



*Multispektral görüntüler*, elektromanyetik spektrumun çoklu spektral bantlarından oluşan görüntülerdir. Multispektral görüntüler, hiperspektral görüntülere göre daha büyük bant genişliklerine sahip daha az sayıda banttan oluşur [15,16].

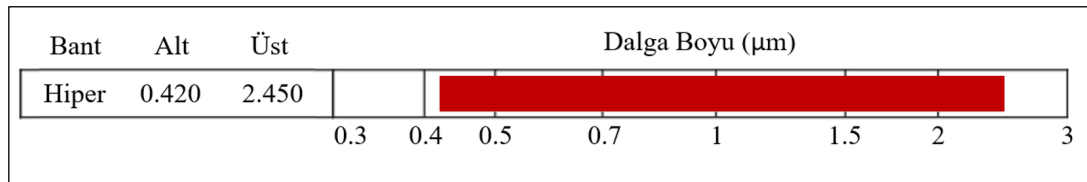
Multispektral görüntüleme sistemleri, elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi bölümlerini kullanarak görüntü elde eder ve her pikselin spektral bilgisi sayesinde nesnenin özellikleri hakkında bilgi sağlar [16]. Multispektral görüntüler (Şekil 1.7), kentsel planlama, doğal kaynak yönetimi, tarım, ormancılık ve jeoloji gibi birçok alanda kullanılmaktadır [17].

Şekil 1.7 GÖKTÜRK-1 Multispektral Uydu Görüntüsü



*Hiperspektral görüntüler*, elektromanyetik spektrum boyunca çok sayıda dar ve sürekli spektral banttandır oluşur. Hiperspektral görüntüler multispektral görüntülerin aksine, ayrı ve belirli dalga boylarında ölçüm yerine bir dalga boyu aralığı boyunca sürekli bilgi içerir ve kullanılan sensörün özelliklerine bağlı olarak yüzlerce spektral bant içerebilir [15,18]. Örneğin EnMAP uydusu yaklaşık 2 mikrometre dalga boyu aralığı boyunca 228 spektral bantı içeren hiperspektral görüntüler sağlar (Şekil 1.8). Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS), 37 ve üzeri bantta sahip görüntüleri hiperspektral olarak değerlendirmektedir [19].

Şekil 1.8 EnMAP Hiperspektral Sensörü Spektral Özellikleri



Hiperspektral görüntüleme sistemleri, nesnelerin yüzlerce farklı spektral bantta yansıma değerlerinden oluşan spektral imzasını üretebilmektedir. Spektral imzalar nesne özelliklerinin daha iyi ayırt edilmesini sağladığı için hiperspektral görüntüler hassas tarım, ormancılık, mineraloji, toprak, bitki örtüsü ve kentsel planlama gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir [20].

#### 1.4. Spektral Bantlar

Uzaktan algılamada görüntüler, farklı özelliklere sahip spektral bantlardan oluşur. Spektral bantlar, elektromanyetik spektrumun belirli dalga boylarını temsil eder ve her biri yüzeyden yansıyan veya yayılan enerjinin farklı bir bölümünü ölçer. Uzaktan algılama sistemlerinde sıklıkla kullanılan spektral bantların yaklaşık dalga boyu aralıkları ve kullanım alanları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Tablo 1.1).

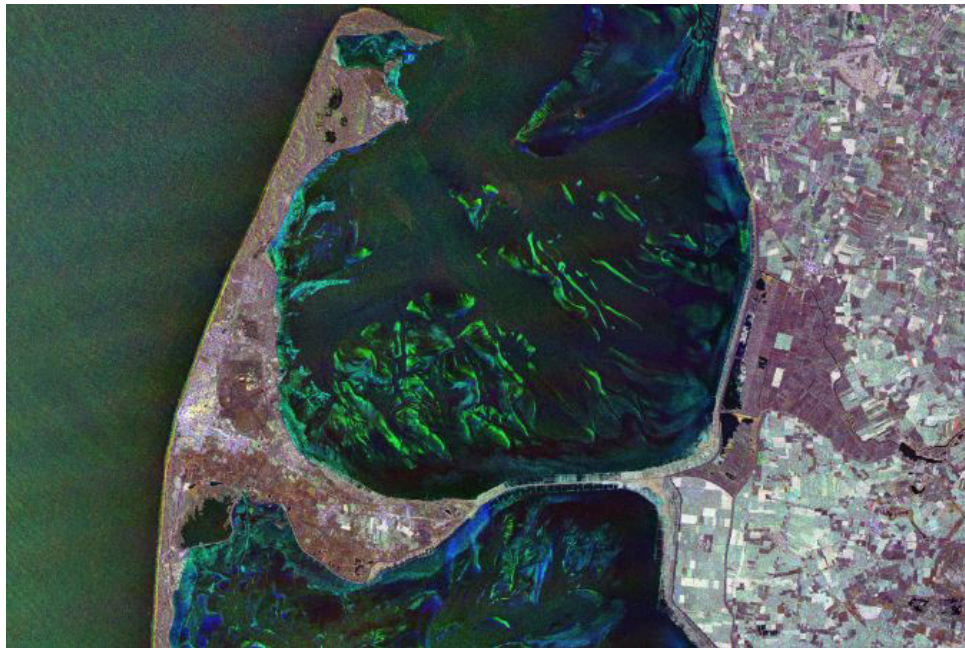
Tablo 1.1 Spektral Bantlar ve Kullanım Alanları

<b>Bant Adı</b>	<b>Kullanım Alanları</b>
Pankromatik (PAN) (0,4 – 0,8 $\mu$ m)	Haritalama, askeri ve güvenlik, doğal afet yönetimi, pan-keskinleştirme [21-23]
Kıyı Aerosolü (CA) (0,4 – 0,45 $\mu$ m)	Kıyı ve sığ suların izlenmesi, görüntüdeki atmosferik aerosol etkilerini azaltılması [24]
Görünür (RGB) (0,4 – 0,7 $\mu$ m)	Tarım ürünleri izleme, arazi ve bitki örtüsü takibi, ormancılık, kentsel ve altyapı izleme, afet yönetimi, değişiklik tespiti, haritalama ve kartografya vb. [25-30]
Kırmızı Kenar (RE) (0,69 – 0,75 $\mu$ m)	Bitki ve orman sağlığının izlenmesi, vejetasyon indekslerinin hesaplanması, arazi örtüsü ve tarım ürünlerinin sınıflandırması vb. [31-33]
Yakın Kıızılötesi (NIR) (0,75 – 1,5 $\mu$ m)	Bitki örtüsü ve orman türlerinin ayırt edilmesi, arazi örtüsü sınıflandırması, toprak bileşenlerinin analizi, su yüzeylerinin ayırt edilmesi, spektral indekslerin hesaplanması vb. [34-38]
Sirüs (Cirrus) (1,36 – 1,45 $\mu$ m)	İnce bulutları tespit ederek yüzey gözlemlerinde neden olduğu bozulmaları azaltılması vb. [39]
Kısa Dalga Kıızılötesi (SWIR) (1,5 – 2,5 $\mu$ m)	Toprak ve mineral analizleri, yangın ve ısı izleme, bitki stresi ve nem tespiti vb. [40-42]
Orta Dalga Kıızılötesi (MWIR) (2,5 – 5 $\mu$ m)	Toprak ve mineral analizleri, arazi yüzey sıcaklığı izleme, yangın tespiti ve takibi [43-45]
Termal Kıızılötesi (TIR) (8 – 14,5 $\mu$ m)	Toprak ve mineral analizleri, arazi yüzey sıcaklığı izleme, yangın tespiti ve takibi [46-48]

### 1.5. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) Görüntüleri

Sentetik açıklıklı radar veya SAR, elektromanyetik dalgaların anten tarafından yeryüzüne gönderilip geri yansıyan sinyallerin kaydedildiği, aktif bir görüntüleme sistemidir. SAR sistemleri, gece ve gündüz koşullarından bağımsız olarak yüksek çözünürlüklü görüntüler sağladıkları için askeri ve sivil haritalama, afet ve çevre yönetimi (Şekil 1.9), tarım, kentsel planlama gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [49].

Şekil 1.9 TerraSAR-X Uydu Görüntüleri ile Kıyı Çizgileri Takibi [50]



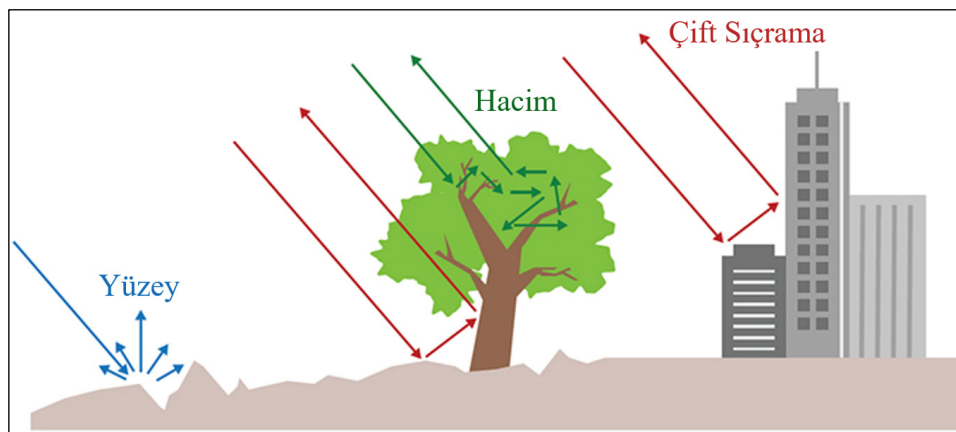
SAR sistemleri, elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde çalışır ve X, C, S, L, P gibi bantlar kullanarak farklı nesne özelliklerini algılayabilir. Kullanılan bantın frekans ve dalga boyu aralığı SAR sinyalinin yüzeyle etkileşimini ve nüfuz etme derinliğini belirler. Örneğin yüksek frekanslı radar dalgaları kısa dalga boyuna sahiptir. Bu tür dalgalar yüksek çözünürlük sağlarken küçük nesnelere tespit edebilir ancak atmosferik koşullardan daha fazla etkilenirler ve yüzeyden derinlere nüfuz etme yetenekleri düşüktür. SAR sistemlerinde en yaygın kullanılan bantlar ve özellikleri Tablo 1.2'de listelenmiştir [49, 51].

Tablo 1.2 SAR Sistemlerinde Yaygın Kullanılan Bantların Özellikleri [49, 51]

Bant Adı	Frekans (GHz)	Dalga Boyu Aralığı (cm)	Kullanım Alanları
X	8-12	3,8-2,4	Kentsel ve altyapı takibi, askeri ve güvenlik
C	4-8	7,5-3,8	Değişim tespiti, şehir ve altyapı izleme, tarım, deniz navigasyonu
S	2-4	15-7,5	Tarım izleme, buz, deniz radarı
L	1-2	30-15	Jeofizik izleme, ormancılık ve bitki örtüsü haritalaması
P	0,3-1	100-30	Biyokütle, toprak nemi

SAR sensörleri, sinyal polarizasyonunu hem iletim hem de alımda hassas bir şekilde kontrol edebilmektedir. Polarizasyon, elektromanyetik dalganın yayılma yönünü ifade eder. SAR sistemlerinde doğrusal polarizasyon kullanılır. Yatay polarizasyon "H (İng. *Horizontal*)" harfiyle, dikey polarizasyon ise "V (İng. *Vertical*)" harfiyle gösterilir. Örneğin dikey olarak iletilip yatay polarizasyonda alınan sinyaller "VH" ile gösterilmektedir. Her polarizasyon, sinyal saçılma türlerine (Şekil 1.10) bağlı olarak nesne özelliklerinin daha kolay yorumlanmasına yardımcı olabilecek bilgiler sağlar. Yüzey saçılmalarında (örneğin çıplak toprak veya su yüzeylerinde) VV polarizasyonu daha hassastır. Hacim saçılmalarında (örneğin yaprak ve dallardan oluşan ormanlık alanlarda) çapraz polarizasyon (VH ya da HV) daha etkilidir. Çift sıçrama saçılmalarında ise (bina veya ağaç gövdesi gibi) HH polarizasyonu daha hassas sonuçlar vermektedir [49,51].

Şekil 1.10 SAR Sistemlerinde Sinyal Saçılma Türleri [51]



SAR sistemlerinde farklı amaçlara yönelik görüntüleme ve analiz yöntemleri kullanılmaktadır. *Spotlight modu*, SAR anteni belirli bir hedef alan üzerine odaklanarak yüksek çözünürlükte görüntüler elde eder ve dar bir alanı tarar. *Stripmap modu*, SAR anteninin sabit bir açıyla geniş bir alanı sürekli taradığı yöntemdir. Stripmap modu, spotlight moduna göre daha geniş bir alanı tarar ve çözünürlüğü düşüktür. *Scan modu*, daha geniş alanları daha hızlı biçimde taramak için kullanılır ancak çözünürlük diğer modlara göre daha düşüktür. *Polarimetrik SAR (PolSAR)*, farklı polarizasyon durumlarında (HH, HV, VH, VV) veri toplar. Elde edilen polarimetrik bilgiler hedeflerin fiziksel ve geometrik özelliklerini daha iyi anlamak için kullanılır. *İnterferometrik SAR (InSAR)*, aynı bölgenin iki farklı zaman diliminde veya iki farklı açıda çekilen görüntülerini kullanarak topografik bilgi veya yüzey yer değiştirmelerini ölçer. InSAR genellikle yer deformasyonları ve yükseklik modellerinin oluşturulması için kullanılır [50].

#### 1.6. Zaman Serisi Görüntüler ve Analizleri

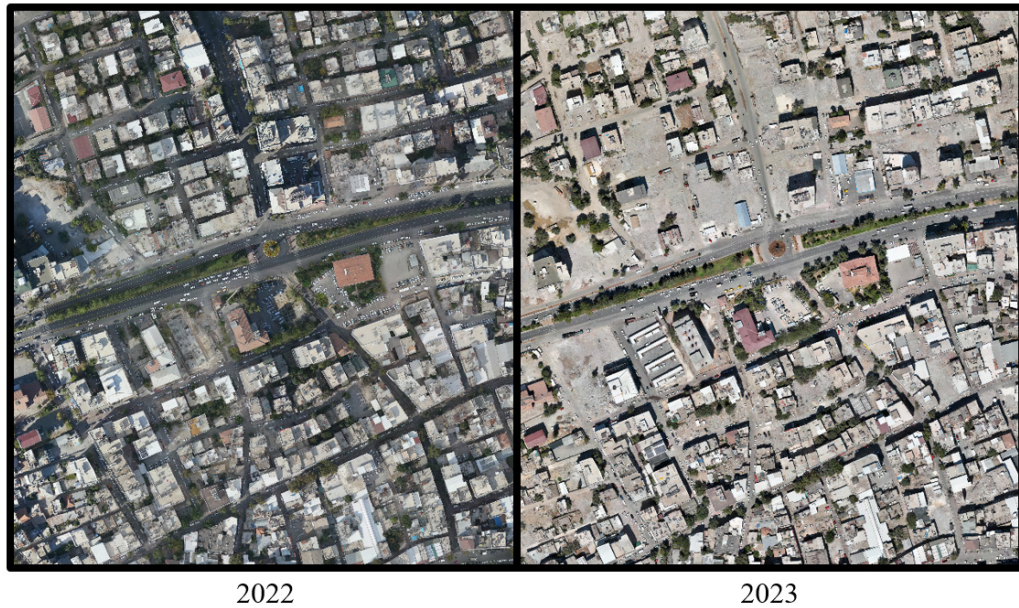
Son yıllarda yeryüzündeki değişimler, geçmiş dönemlere kıyasla daha hızlı ve geniş kapsamlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Uzaktan algılama sistemleri Dünya yüzeyini düzenli bir şekilde görüntüleme imkânı sunarak insan faaliyetleri ve doğal faktörlerin neden olduğu yeryüzü değişikliklerini izlemek için uzun süredir kullanılmaktadır. Belirli bir bölgenin farklı zamanlarda elde edilmiş görüntülerinin ardışık bir dizisi, zaman serisi görüntüler olarak tanımlanırken; zaman serisi görüntüler kullanılarak yeryüzündeki değişikliklerin takip edilmesi süreci ise zaman serisi analizi olarak adlandırılmaktadır [52].

Tarihsel olarak, uzaktan algılama teknolojilerinin düşük çözünürlüğü, yeryüzü değişim süreçlerinin izlenmesi için yeterli zaman serisi veri kümelerinin elde edilmesini zorlaştırmıştır. Ancak uzaktan algılama sensörlerindeki teknolojik ilerlemeler, veri depolama ve dağıtımında yaşanan gelişmeler ve veri işlemede kullanılan yeni metodolojiler sayesinde, zaman serisi tekniklerinin kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır. Ayrıca bulut tabanlı sistemlerin gelişimi, büyük veri kümelerinin işlenmesini kolaylaştırarak bu süreçleri daha erişilebilir hale getirmiştir. Gelecekte yapay zekâ, bulut bilişim ve gelişmiş veri işleme kapasitesinin daha geniş

bir şekilde benimsenmesi, uzaktan algılama tabanlı zaman serisi analizlerinin kullanımını ve doğruluğunu artıracak, bilim insanlarının çevresel süreçleri daha derinlemesine incelemesine olanak tanıyacaktır. Bu bağlamda, uzaktan algılamada zaman serisi analizleri gelişmekte olan bir alan olup önemli bir büyüme, yenilik ve keşif potansiyeline sahiptir [52, 53].

Uzaktan algılamada zaman serisi görüntüler, çeşitli disiplinlerde detaylı analiz ve gözlemler yapılmasını sağlar. Tarım alanında ürün sınıflandırması [54], ürün gelişiminin ve sağlığının izlenmesi [55], ekili ürün tespiti [56]; ormancılık alanında ağaç türü sınıflandırma [57], orman büyümesinin ve sağlığının izlenmesi [58], orman tahribatının takibi [59]; şehircilik alanında kentsel gelişimin izlenmesi [60]; çevre alanında arazi örtüsü değişikliklerinin izlenmesi [61], su kaynakları yönetimi [62]; afet yönetimi alanında hasar tespiti [63] (Şekil 1.11), afetlerin takibi [64] risk yönetimi [65] gibi uygulamalarda zaman serisi görüntüler sıklıkla kullanılmaktadır.

Şekil 1.11 CBSGM 2022 ve 2023 Yılı Adıyaman Merkez Ortogörüntüsü



Uzaktan algılamada yaşanan gelişmelerle beraber zaman serisi görüntüler değişim tespiti ve izleme, sınıflandırma, dizi ve anomali tespiti, özellik (parametre) tahmini gibi uygulama alanlarına sahip olmuştur. [66].

*Değişim tespiti ve izleme*, aynı coğrafi alanın farklı zaman dilimlerinde çekilen görüntülerini analiz ederek meydana gelen değişiklikleri belirleme sürecidir. Kentsel gelişim, tarımsal araştırmalar, arazi örtüsü izleme ve afet değerlendirmesi gibi alanlarda kullanılan yöntem, son yıllarda büyük veri miktarlarının elde edilebilirliği ve derin öğrenme teknolojilerinin gelişimi ile daha da önem kazanmıştır. Geleneksel yöntemlere kıyasla derin öğrenme teknolojileri, değişiklik tespitinde daha yüksek doğruluk sunarak daha iyi performans göstermektedir [67].

*Sınıflandırma*, zaman serisi görüntüler zaman içinde bir nesnenin veya bölgenin değişimini yakalayıp sınıflandırma analizlerinde önemli avantajlar sunar. Hedeflenen nesnelerin dinamik özellikleri nedeniyle zaman serisi veriler, tek zamanlı görüntülerden daha fazla bilgi taşıyabilir. Örneğin tarım ürünü türlerinin tanımlanmasında sezonluk değişimlerin ve büyüme döngülerinin izlenmesi, ürünlerin doğru bir şekilde sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca arazi örtüsü haritalamasında, arazi örtüsündeki değişimlerin zaman içinde nasıl gerçekleştiğini izleyerek daha hassas ve güncel haritalar oluşturulabilmektedir [68]. Bu tür uygulamalarda zaman serisi görüntüler, zamansal değişimleri yakalayıp daha doğru analizler yapılmasını sağlamaktadır.

*Dizi ve anomali tespiti*, özellikle çevresel değişikliklerin izlenmesi ve erken uyarı sistemlerinin oluşturulmasında önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Dizi tespiti, belirli mekânsal ve zamansal düzenlerin veya trendlerin tanımlanmasını sağlayarak [69] tarım, ormancılık ve şehir planlaması gibi alanlarda değişimlerin izlenmesine yardımcı olur. Anomali tespiti ise normal dizilerin dışındaki anormal olayları veya değişimleri belirleyerek doğal afetler, kirlilik artışları veya diğer acil durumların erken saptanmasına olanak tanır.

*Özellik tahmini*, geçmiş gözlemlerden yararlanarak gelecekteki olayları öngörmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Özellik tahmini yöntemi, genellikle belirgin görüntü özelliklerinin analizini içeren tahmin modelleri geliştirmek için kullanılır. Tahminlerin doğruluğu verilerin kalitesine bağlıdır. Bu yaklaşım yenilenebilir enerji, sürdürülebilir şehirler, tarım ve gıda güvenliği gibi insan refahını artırmaya yönelik çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca afetler gibi büyük kayıplara yol açan doğal olayların olumsuz etkilerini azaltma hedefiyle de uygulanmaktadır [66].

## BÖLÜM 2

### TÜRKİYE’DE UZAKTAN ALGILAMA FAALİYETLERİ: KAMU KURUMLARININ ROLÜ VE ÇALIŞMALARI

Türkiye geniş coğrafi yapısı, değişken iklim koşulları ve dinamik arazi kullanımı nedeniyle uzaktan algılama teknolojilerinin kullanımına büyük gereksinim duymaktadır. Ülkemizde uzaktan algılama verilerinin elde edilmesi, kullanımı, paylaşımı ve analizi gibi süreçler başta kamu kurumları olmak üzere birçok kurum ve kuruluş tarafından yürütülmektedir. Kamu kurumları uzaktan algılama faaliyetlerinin planlanması, uygulanması ve sonuçlarının değerlendirilmesi aşamalarında merkezi bir role sahip olup elde edilen verileri kullanarak ülkenin ihtiyaçları doğrultusunda hem ulusal hem de uluslararası düzeyde stratejik kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır.

#### 2.1. Türkiye Uzay Ajansı (TUA)

TUA, 13 Aralık 2018 tarihinde yayımlanan 23 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile uzay ve havacılık alanında orta ve uzun hedeflerin belirlenmesi, temel ilke ve yaklaşımların oluşturulması, performans kriterlerinin tamamlanması ve bu doğrultuda gerekli uygulamaların hayata geçirilmesi amacıyla kurulan bir devlet kuruluşudur. Ajans, uzay bilimleri ve teknolojileri alanında stratejik planlamalar yürüterek kaynakların verimli kullanımını sağlamayı amaçlamaktadır. Nitelikli insan gücünün yetiştirilmesi ve ulusal uzay ekosisteminin güçlendirilmesi kurumun temel öncelikleri arasında yer alırken uluslararası iş birlikleriyle desteklenen çalışmalar aracılığıyla uzay stratejisinin verimli, güvenli ve sürdürülebilir şekilde uygulanması hedeflenmektedir. Kurumun vizyonu, Yeni Uzay Çağının dinamiklerine uygun şekilde hareket eden, ulusal ve küresel ölçekte insanlığın yararına çalışmalar yürüten öncü ve lider bir kuruluş olmaktadır [70].

TUA tarafından 2022 yılında hazırlanan Milli Uzay Programı, Türkiye’nin gelecek 10 yıldaki uzay politikalarına yön veren vizyon, strateji, hedef ve projeleri bir bütünlük içerisinde tanımlayan, mevcut ulusal potansiyel ve küresel gelişmeler doğrultusunda hazırlanmış kapsamlı bir strateji belgesidir. Program, uzay teknolojileri alanında öne çıkan ihtiyaçlara ve ulusal yeteneklere uygun şekilde teknolojilerin ve

gerekli altyapıların geliştirilmesini, dışa bağımlılığın azaltılmasını ve uzay çalışmalarının ülkenin kalkınma sürecine stratejik katkı sağlamasını hedeflemektedir. Aynı zamanda mevcut kabiliyetlerin milli teknolojilerle daha ileri düzey taşınması, bilimsel bilgi birikimine katkı sunulması ve özellikle genç nüfus başta olmak üzere toplum genelinde uzay farkındalığının artırılması da öncelikli hedefler arasında yer almaktadır [71]. Türkiye Milli Uzay Programı kapsamında belirlenen 10 stratejik hedef Tablo 2.1’te sunulmaktadır.

Tablo 2.1 Milli Uzay Programı Stratejik Hedefler [71]

Stratejik Hedef	Açıklama
Ay Araştırma Programı	Milli teknolojilerle Ay’a araç göndererek Türkiye’nin derin uzay kapasitesini geliştirmek
Uydu Üretiminin Tek Çatı Altına Toplanması ve Yerli Uydu Geliştirme Programı	Yeni nesil uydu geliştirme alanında dünya ile rekabet edebilecek ticari bir marka ortaya çıkarmak
Bölgesel Konumlama ve Zamanlama Sistemi Programı	Türkiye’ye ait bir bölgesel konumlama ve zamanlama sistemi geliştirmek
Uzaya Erişim ve Uzay Limanı Programı	Türkiye’nin uzaya bağımsız fırlatma yapabilen, sürdürülebilir ve rekabetçi bir altyapıya sahip olması
Uzay Havasına İlişkin Teknolojik Araştırmalar	Türkiye’nin uzay havası izleme, tahmin ve araştırma kapasitesini geliştirmek
Uzay Nesnelerinin Yerden Gözlemi ve Takibi	Uzay çöpleri ve gök cisimlerinin yerden ve gelecekte uzaydan izlenmesine yönelik ulusal takip altyapısının geliştirilmesi
Uzay Sanayi Ekosisteminin Geliştirilmesi	Sürdürülebilir ve yenilikçi bir uzay sanayi yapısı oluşturarak Türkiye’nin uzay alanında teknolojik ve ekonomik katma değer üretmesini sağlamak
Uzay Teknolojileri Geliştirme Bölgesi Kurulması	Uzay alanında çalışan firmaları ve Ar-Ge faaliyetlerini bir araya getirerek uzay sanayi ekosisteminin gelişmesine katkıda bulunmak
Uzay Farkındalığı ve İnsan Kaynağının Geliştirilmesi	Nitelikli iş gücü yetiştirerek ve toplumsal bilinç oluşturarak Türkiye’nin uzay hedeflerine sürdürülebilir insan kaynağıyla ulaşmasını sağlamak
Türk Astronot ve Bilim Misyonu Programı	Bir Türk vatandaşının uzaya gönderilerek bilimsel deneyler gerçekleştirmesini ve Türkiye’nin uzayda görünürlüğünün artırılmasını sağlamak

## 2.2. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü (TUBİTAK UZAY)

TUBİTAK UZAY, Türkiye'nin uzay teknolojileri alanındaki lider araştırma ve geliştirme kuruluşlarından biri olarak ülkenin teknolojik bağımsızlığını güçlendirmeyi ve uluslararası düzeyde rekabet edebilecek çözümler üretmeyi hedeflemektedir. 2001 yılından bu yana yer gözlem uydusu alanında faaliyet gösteren enstitü, uydu ve alt sistemleri, optik ve haberleşme bileşenleri, görüntü işleme ve uzaktan algılama teknolojileri gibi alanlarda çalışmalar yürütmektedir. Ayrıca yazılım, donanım ve algoritmalar geliştirerek uzaktan algılama verilerinin tarım, çevre ve afet yönetimi gibi çeşitli alanlarda etkin kullanımını desteklemektedir.

TUBİTAK UZAY, uzaktan algılama alanındaki ilk uydu çalışmasını 2003 yılında BİLSAT projesiyle gerçekleştirmiştir. BİLSAT 12,6 metre pankromatik, 26,7 metre multispektral çözünürlükte görüntüleme yeteneğine sahip olup arazi kullanımı ve çevresel izleme gibi alanlarda kullanılmak üzere görüntüler üretmiştir. Ardından 2011 yılında fırlatılan RASAT uydusu, tamamen yerli imkanlarla geliştirilmiş ilk yer gözlem uydusu olmasıyla öne çıkmış ve 3 yıl olarak planlanan tasarım ömrüne rağmen 11 yıl boyunca görev yapmıştır. RASAT uydusu 7,5 metre pankromatik, 15 metre multispektral çözünürlüğüyle şehircilik, tarım ve afet yönetimi gibi uygulama alanlarına yönelik görüntüler sağlamıştır [72].

Yerli uydu geliştirme sürecinin devamı niteliğinde olan GÖKTÜRK-2 uydusu 2012 yılında fırlatılmıştır. 2,5 metre pankromatik, 5 metre multispektral çözünürlükle daha hassas görüntüleme kapasitesiyle GÖKTÜRK-2, Türk Silahlı Kuvvetleri başta olmak üzere birçok kamu kurumunun uydu görüntüsü ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. 2023 yılında uzaya gönderilen İMECE uydusu ise 0,99 metre pankromatik ve 3,96 metre multispektral çözünürlüğe sahip ilk yerli ve milli metrealtı çözünürlüklü yer gözlem uydusudur. Görev yükü, haberleşme birimi, uçuş bilgisayarı ve güç sistemi gibi bileşenleri TUBİTAK UZAY tarafından geliştirilen İMECE, GÖKTÜRK-2B adıyla Hava Kuvvetleri Komutanlığı envanterine alınarak operasyonel görevlerde kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca İMECE-2 ve İMECE-3 uydularının geliştirilmesi önümüzdeki yıllarda planlanmaktadır [72].

TUBİTAK UZAY uzaktan algılama verilerinin üretimi yanında erişimi ve uygulamaya dönüşmesi konusunda çalışmalarını sürdürmektedir. Bu doğrultuda RASAT uydu görüntüleri, Türkiye'nin ilk milli uydu görüntüsü portalı GEZGİN üzerinden kullanıcıların erişimine sunulmaktadır. Enstitü ayrıca uzaktan algılama verilerinin sektörel uygulamalarda kullanılmasını teşvik eden projelere de katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda yürütülen GAP Bölgesinde Hassas Tarım ve Sürdürülebilir Uygulamaların Yaygınlaştırılması Projesi doğrultusunda uzaktan algılama algoritmalarına dayalı ürün deseni haritalama, anomali tespiti, yabancı ot tespiti, ürün rekolte tahmini gibi analizler yapılarak hassas tarım alanında çiftçi ve tarım danışmanlarına katkı sağlanması hedeflenmektedir (Şekil 2.1) [72].

Şekil 2.1 Hiperspektral Görüntüler ile Tarım Ürünlerinin İzlenmesi [72]



TUBİTAK 2024-2028 stratejik planı doğrultusunda TUBİTAK UZAY, Milli Uzay Programı'nın öncelikleriyle uyumlu şekilde uydu teknolojileri alanındaki kapasitesini genişletmeyi hedeflemektedir. Bu kapsamda uydu geliştirme ve pazarlama faaliyetlerinin bütüncül bir şekilde yürütülmesi; nano, mikro ve mega takım uydular gibi yeni nesil teknolojilere odaklanan AR-GE ve ürün geliştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Diğer yandan uzaktan algılama verilerinin daha verimli analiz edilebilmesi için yapay zekâ ve büyük veri temelli analiz altyapılarının kullanılması amaçlanmaktadır [73].

### 2.3. Türk Havacılık ve Uzay Sanayii (TUSAŞ)

TUSAŞ, kamu destekli bir savunma sanayii kuruluşu olarak Türkiye'nin havacılık ve uzay alanındaki yerli teknoloji üretimini artırmayı amaçlayan bir kurumdur. 2012 yılında fırlatılan GÖKTÜRK-2 uydusunun yapısal ve mekanik bileşenlerinin üretiminde görev alan TUSAŞ, 2016 yılında fırlatılan GÖKTÜRK-1 uydusu projesinde ise TELESPAZIO firmasıyla birlikte yüklenici olarak görev alarak uçuş bileşenlerinin üretimine katkı sağlamıştır. GÖKTÜRK-1 uydusu 0,5 metre çözünürlüğe sahip elektro-optik kamerasıyla hem askeri hem sivil amaçlı yüksek hassasiyetli görüntüleme gerçekleştirmektedir [74].

TUSAŞ tarafından geliştirme çalışmaları süren GÖKTÜRK-Y uydusu, daha yüksek çözünürlükte görüntüleme kapasitesine sahip olup 2029 yılında fırlatılarak GÖKTÜRK-1 uydusunun yerini alması planlanmaktadır. Ayrıca 2030 yılında fırlatılması hedeflenen GÖKTÜRK-3 projesi kapsamında geliştirilmekte olan SAR uydusu ile, metre altı çözünürlükte gece ve gündüz koşullarında görüntüleme yeteneği sayesinde uzaktan algılama kabiliyetlerinin artırılması hedeflenmektedir [74].

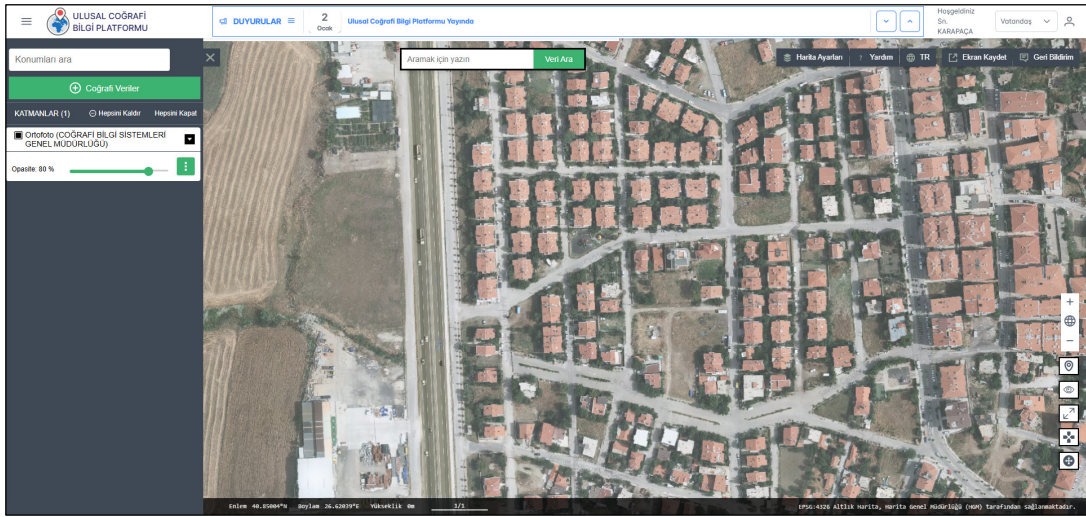
TUSAŞ, yürüttüğü Mikro Uydu Projesi kapsamında 2027 yılında metre altı çözünürlüğe sahip yerli mikro uyduyu uzaya fırlatmayı hedeflemektedir. Diğer yandan TUSAŞ tarafından geliştirilen ANKA ve AKSUNGUR gibi İHA'lar, üzerlerine entegre edilebilen elektro-optik ve kızılötesi sensörler sayesinde deprem, sel, yangın gibi afet durumlarında anlık görüntüleme, arama-kurtarma ve hasar tespit görevlerinde kullanılarak kriz yönetimi ve afet müdahale süreçlerine önemli katkılar sunmaktadır [74].

### 2.4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü (CBSGM)

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı bünyesinde 2011 yılında kurulan CBSGM, ulusal coğrafi bilgi sisteminin kurulması, geliştirilmesi ve standartların belirlenmesi, coğrafi veri üretimi ve paylaşımının koordinasyonu, kurumlar arası veri entegrasyonu, kent bilgi sistemlerinin yaygınlaştırılması, ulusal ve uluslararası düzeyde iş birliği ve temsil, sertifikasyon ve akreditasyon çalışmaları ile

uzaktan algılama teknolojilerinin uygulanması, düzenlenmesi ve geliştirilmesi konularında görevleri yürütmek üzere yapılandırılmış bir kurumdur. Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Stratejisi ve Eylem Planı'nın uygulanmasında aktif bir rol oynayan CBSGM, uzaktan algılama teknolojilerinin kamu hizmetlerinde etkin kullanımını teşvik etmekte ve bu alanda ulusal düzeyde koordinasyon sağlamaktadır. Ayrıca, Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) kapsamında, uzaktan algılama verilerinin kamu kurumları arasında standartlara uygun şekilde paylaşılması ve kullanılmasına yönelik altyapı çalışmaları yürütmektedir (Şekil 2.2).

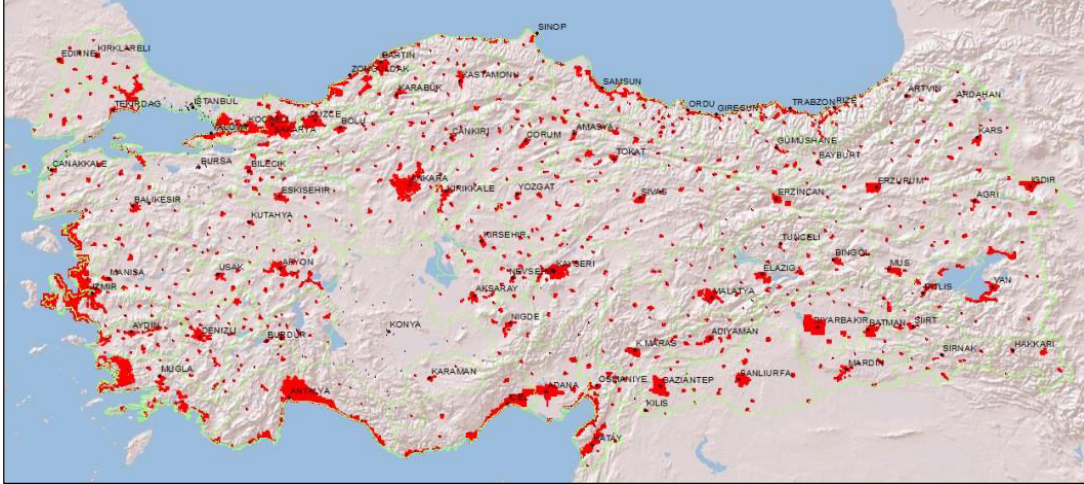
Şekil 2.2 Ulusal Coğrafi Bilgi Platformu (UCBP) Harita Görüntüleyici [75]



CBSGM yayımladığı 2024-2030 Ulusal Coğrafi Bilgi Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında uzaktan algılama faaliyetlerinin kurumsal altyapısını güçlendirmeye yönelik önemli hedefler belirlemiştir. Bu kapsamda, hava fotoğrafları ve uydu görüntülerine ilişkin arşiv altyapısının oluşturulması hedeflenmekte ve arşiv altyapısının yüksek çözünürlüklü verilerin güvenli biçimde depolanması, düzenlenmesi ve kullanıcıların tarih, konum ya da etiket gibi kriterle hızlı erişim sağlayabilmesi için bir sistem sunması planlanmaktadır. Ayrıca uydu, hava fotoğrafı ve İHA görüntülerinin daha verimli kullanılabilmesi için bu tür verilere yönelik standart geliştirme ve güncelleme süreci planlanmaktadır. Geliştirilmesi planlanan standartlar görüntülerin kalibrasyonu, sensörlerden alınan verilerin düzeltilmesi, veri formatlarının uyumlu hale getirilmesi gibi teknik konuların yanı sıra, verilerin güvenli biçimde depolanması, paylaşımı ve erişimi gibi süreçleri de kapsayacaktır [76].

CBSGM bünyesinde 2014-2016 yılları arasında gerçekleştirilen Gerçek (İng. *True*) Ortogörüntü Projesi kapsamında Bakanlık ve diğer kamu kurum ve kuruluşların temel görüntü altlığını oluşturmaya yönelik, 1/1000 ölçekli renkli ve yapay renkli 10 cm yer örnekleme aralığında gerçek ortogörüntü, sayısal yüzey modeli ve nokta bulutu üretilmiştir. Proje, il, ilçe ve büyük beldelerin mevcut ve gelişme alanları, kıyı bölgeleri, sosyal, kültürel, sanayi ve turizm alanları olmak üzere yaklaşık 40.000 km<sup>2</sup>'lik bir alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.3). 2015-2017 yılları arasında gerçekleştirilen diğer bir proje kapsamında baraj, göl ve kıyı kesimlerin izlenmesi amacıyla yaklaşık 1000 km<sup>2</sup>'lik alanda 5-10 cm yer örnekleme aralığında gerçek ortogörüntü, sayısal yüzey modeli ve nokta bulutu üretilmiştir [77].

Şekil 2.3 2014-2016 Gerçek Ortogörüntü Projesi Kapsama Alanı [77]



2021 yılında İklim Değişikliğine Uyum Kapsamında Samsun, Ordu, Giresun, Trabzon, Rize ve Artvin İl ve İlçelerindeki Sel ve Taşkın Alanlarına Etki Eden Bölgelerdeki Yapılaşma Risklerinin Tespiti ve Analizi projesi kapsamında 3500 km<sup>2</sup>'lik alanda fotogrametrik yöntem ile 12 adet havza ve 6 tane dere yatağı boyunca 10 cm yer örnekleme aralığında hava görüntüleri, 50 km<sup>2</sup>'lik alanda ise LIDAR (Hava Lazer Tarama) teknolojisi ile sayısal arazi modeli üretimine yönelik veriler temin edilmiştir. Elde edilen veriler, proje alanındaki sel ve taşkın risklerini değerlendirmek için yapılan modelleme ve simülasyon analizlerinde kullanılmıştır (Şekil 2.4) [77].

Şekil 2.4 Karadeniz Bölgesi Sel ve Taşkın Modelleme Projesi [77]



CBSGM "Coğrafi Bilgi Sistemlerine İlişkin Oluşturulan Kurullar ve Çalışma Heyetleri Hakkında Yönetmelik" doğrultusunda ihtiyaç duyulan konularda teknik görüş oluşturmak ve koordinasyonu sağlamak amacıyla çalışma heyetleri oluşturmaktadır. 2024/1 sayılı Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemi Yürütme Kurulu Toplantısının 14 numaralı kararıyla “Ulusal Uzaktan Algılama Verilerinin Entegre Yönetim Stratejisi Çalışma Heyeti” kurulmuş ve optik, termal, radar gibi görüntü türleri ile kapsama alanı, çözünürlük ve güncelleme periyodu gibi temel hususlarda ulusal bir strateji taslağı oluşturmayı amaçlamıştır. Çalışma Heyeti, CBSGM, Harita Genel Müdürlüğü (HGM) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM)’nin yanı sıra görüntü üretimi yapan veya temin eden diğer kamu kurumlarının temsilcilerinin katılımıyla oluşturulmuştur. Buna ek olarak 2024/2 sayılı toplantının 10 numaralı kararı doğrultusunda “Uzaktan Algılama Verilerinin Ulusal Ölçekte Entegre Yönetim Stratejisi ve Fizibilite Raporunun Oluşturulması Çalışma Heyeti” kurulmuş ve ilk heyetin raporunda sunulan öneriler doğrultusunda CBSGM koordinasyonunda ilgili kurumlarla birlikte strateji ve fizibilite raporunun hazırlanması hedeflenmiştir.

CBSGM, uzaktan algılama verilerini kullanarak kamu kurumlarının ihtiyaçlarına yönelik analizler gerçekleştirmektedir. Bu kapsamda ortogörüntüler, sayısal yükseklik modelleri ve açık kaynaklı ücretsiz uydu görüntüleri gibi farklı uzaktan algılama verileri kullanılarak arazi kullanımı ve değişimi, doğal afet riski değerlendirmesi, şehir planlama ve altyapı yönetimi gibi konularda analizler

yapılmaktadır. Ayrıca 2025 yılında CBSGM bünyesinde Uzaktan Algılama Daire Başkanlığı kurularak bu alandaki kurumsal kapasite güçlendirilmiştir.

## 2.5. Harita Genel Müdürlüğü (HGM)

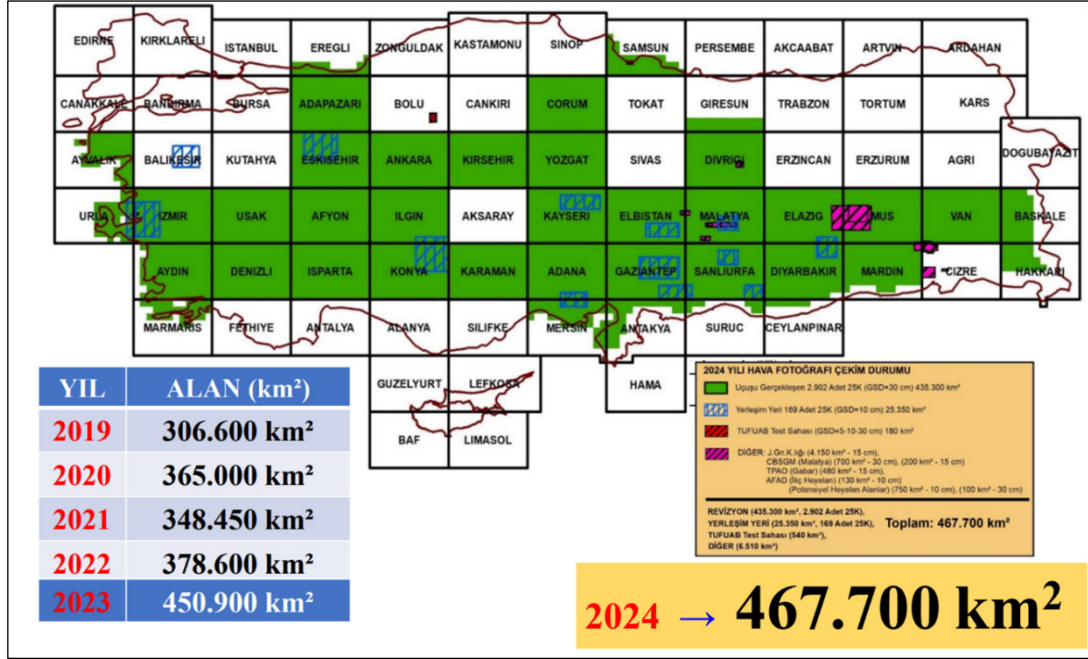
Millî Savunma Bakanlığı'na bağlı HGM, Türkiye'de uzaktan algılama alanında öncü kurumlardan biri olarak coğrafi veri altyapısının geliştirilmesinde önemli bir rol üstlenmektedir. HGM, ulusal düzeyde uzaktan algılama verilerinin üretimi, işlenmesi ve dağıtımında görev almaktadır. Kurum, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri kapsamında gerçekleştirdiği çalışmalarla kamu kurumları, belediyeler, üniversiteler ile gerçek ve tüzel kişilerin taleplerine yönelik hizmetler sunmaktadır.

Şekil 2.5 HGM Envanterinde Bulunan Uçak ve Sayısal Hava Kameraları [78]



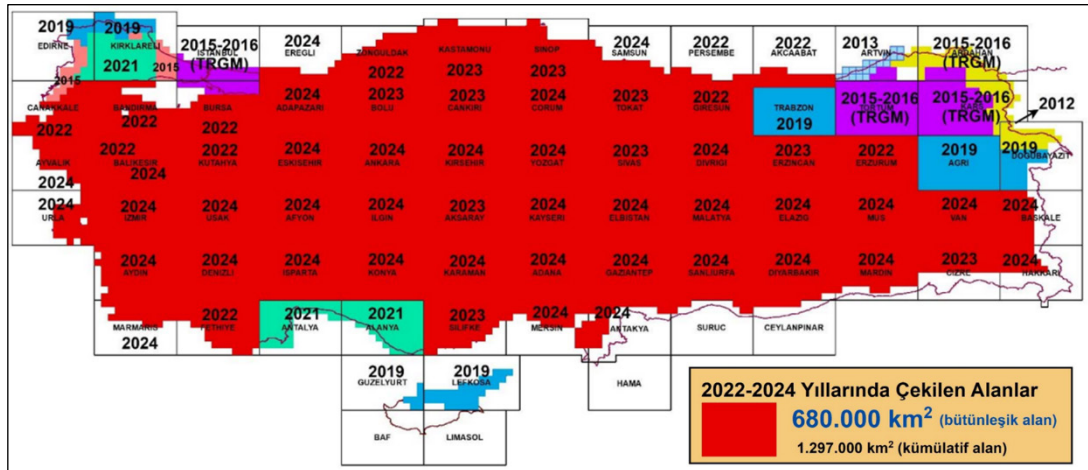
HGM, envanterinde bulunan Şekil 2.5'de sunulan üç adet uçak ve üç adet geniş format sayısal hava kamerası ile yıllık 450.000 km<sup>2</sup>'den fazla bir alanın 30 cm yer örnekleme aralığında hava fotoğrafını çekme kapasitesine sahiptir. HGM tarafından gerçekleştirilen hava fotoğrafı çekimleri, Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemi Kurulu'nun 30 Eylül 2020 tarihli toplantısında almış olduğu; kamu kurum ve kuruluşlarının görüntü ihtiyaçları ve güncelleme sıklığının belirlenmesi amacıyla HGM, TKGM ve CBSGM tarafından çalışma yapılması ve Türkiye'nin görüntü altlıklarının her yıl güncellenmesi için hava fotoğrafları ile GÖKTÜRK-1 ve GÖKTÜRK-2 uydu görüntülerinin kullanılması kararları doğrultusunda planlanmaktadır [78].

Şekil 2.6 2024 Yılı Hava Fotoğrafi Çekimi Durumu [78]

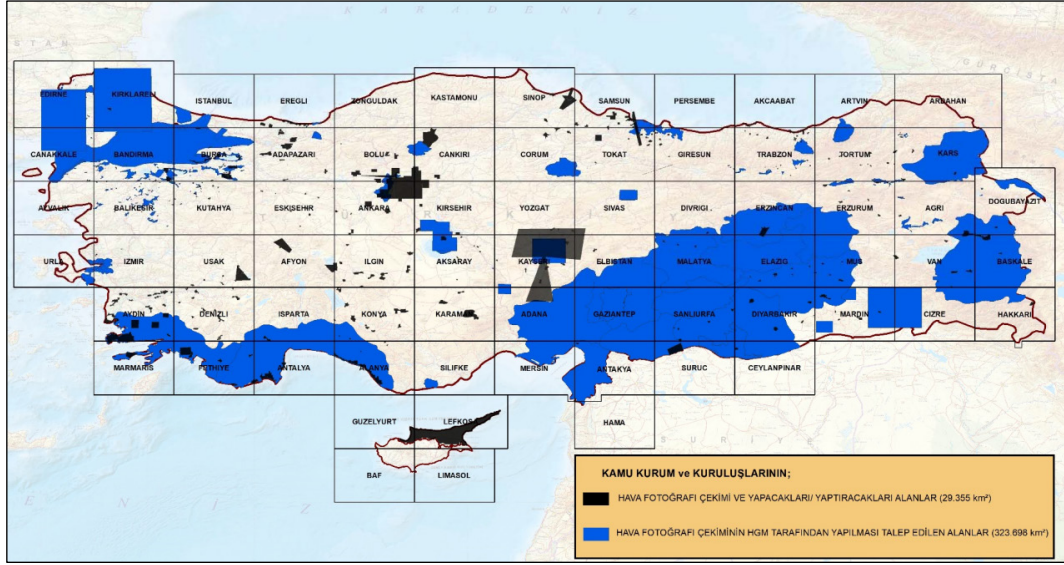


Ortogörüntü, topografik harita, yükseklik modeli üretimi gibi amaçlarla hava fotoğrafı üretimi gerçekleştiren HGM, deprem, sel ve su baskını, orman yangını, heyelan ve büyük çaplı çevre kirliliği gibi afet durumlarında da hava fotoğrafı çekimi gerçekleştirmektedir. 2024 yılında Türkiye sınırları içerisinde toplamda 467.700 km<sup>2</sup> büyüklüğündeki alanın hava fotoğrafı çekilmiş ve ortogörüntüleri üretilmiştir (Şekil 2.6). HGM tarafından son 3 yılda (2022-2024) Türkiye'nin 680.000 km<sup>2</sup>'lik alanının hava fotoğrafları çekilmiştir [78]. HGM tarafından hava fotoğrafları çekilen son 3 yıla ait alanlar kırmızı renk ile Şekil 2.7'de gösterilmektedir.

Şekil 2.7 2022-2024 Yılları Hava Fotoğrafi Çekimi Yapılan Alanlar [78]

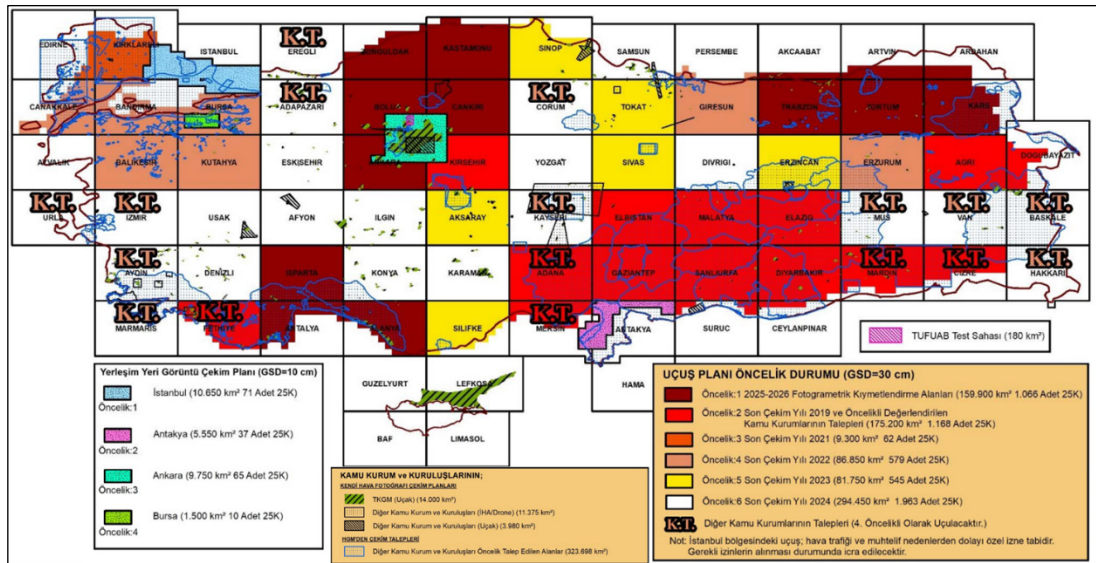


Şekil 2.8 2025 Yılı Hava Fotoğrafi Talep ve Planlama Durumu [78]

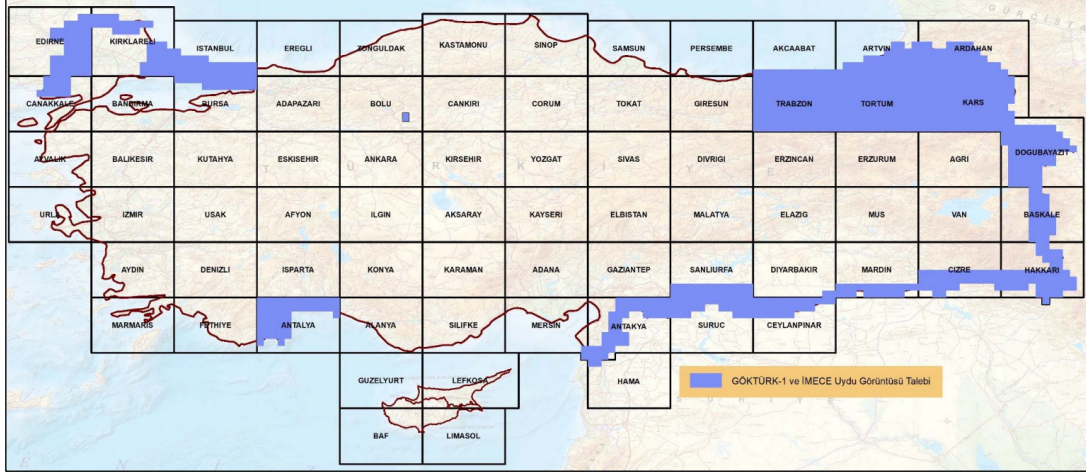


2025 yılı için yapılan planlamalar kapsamında 38 kamu kurumu, 81 valilik ve 922 belediyeye hava fotoğrafı çekimi yapma veya yaptıрма planları ile HGM'den talepleri sorulmuştur. Bu kapsamda, 12 kurumun herhangi bir uçuş planlamadığı, 10 kurumun yaklaşık 30.000 km<sup>2</sup>'lik alan için kendi uçuş planını yaptığı ve 15 kurumun ise HGM'nin uçuş programına ek olarak yaklaşık 324.000 km<sup>2</sup>'lik alan için talepte bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 2.8). Yapılan değerlendirmeler sonucunda Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da sunulan 2025 yılı hava fotoğrafı ve uydu görüntüsü çekim planı oluşturulmuştur [78].

Şekil 2.9 2025 Yılı Hava Fotoğrafi Çekimi ve Ortogörüntü Üretim Planı [78]

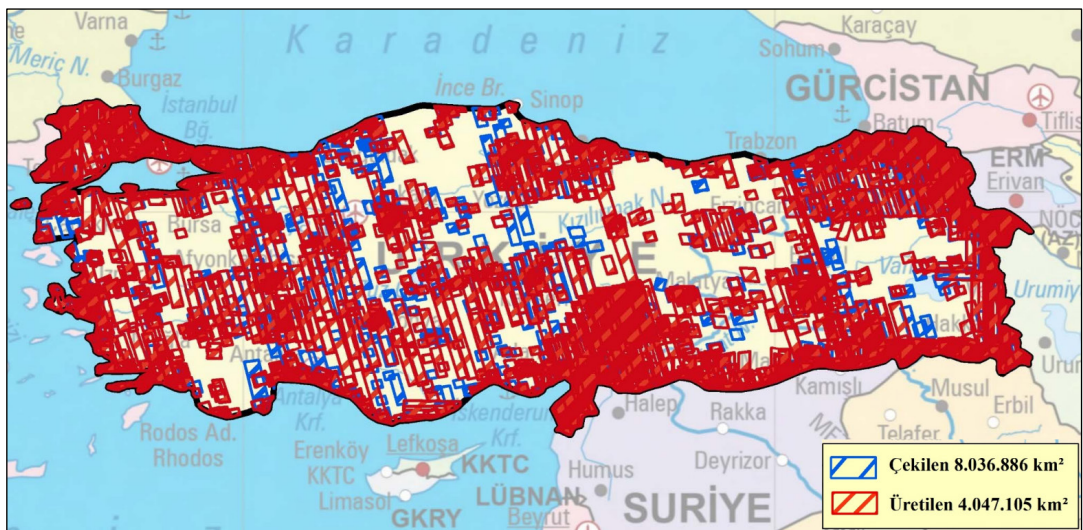


Şekil 2.10 2025 Yılı GÖKTÜRK-1 ve İMECE Uydu Görüntüsü Çekim Planı [78]



GÖKTÜRK-1 uydusu görüntülerinden ortogörüntü üretimi görevi HGM'ye verilmiş, bu kapsamda gerekli sistem altyapısı oluşturularak uzman personel yetiştirilmiştir. Ayrıca, 2021 itibarıyla GÖKTÜRK-2 uydusundan elde edilen görüntüleri işleyip sunabilecek altyapı da tamamlanmış ve ortogörüntü üretimine başlanmıştır. İMECE uydusundan elde edilen veriler de sürece dahil edilerek görüntü üretim kapasitesi güçlendirmiştir. İkili anlaşmalar gereği yalnızca ilgili komşu ülkenin onayıyla görüntülenebilen hudut bölgelerinde bulunan alanların güncel görüntü ihtiyacı GÖKTÜRK ve İMECE uyduları ile karşılanmaktadır. 2017-2025 yılları arasında GÖKTÜRK-1 uydusuyla yurt içinde çekilen ve ortogörüntü üretimi yapılan alanlara ilişkin harita Şekil 2.11'de yer almaktadır [78].

Şekil 2.11 2017-2025 Yılları GÖKTÜRK-1 Uydu Görüntüsü İndeksi [78]



HGM tarafından üretilen ortogörüntüler yerel ağ altyapısı üzerinden Türk Silahlı Kuvvetleri'nin kullanımına sunulmakta, ayrıca TUCBS, HGM-KÜRE, HGM-ATLAS ve HGM MOBİL gibi platformlar aracılığıyla kullanıcıların erişimine açılmaktadır. Talep edilmesi halinde ise ortogörüntüler çevrim dışı ortamda da temin edilebilmektedir [78].

## 2.6. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM)

TKGM uzaktan algılama teknolojilerini fotogrametrik harita üretimi, ortogörüntü harita üretimi ve 3B şehir modelleme çalışmalarında kullanmaktadır. TKGM'nin bu alandaki faaliyetleri ülke genelinde kapsamlı bir veri altyapısı oluşturmaya yönelik gerçekleştirilmektedir. TKGM, 1955 yılından bu yana havadan fotoğraf alımı gerçekleştirerek 480 bin km<sup>2</sup> alanda 1/5000 ölçekli fotogrametrik temel harita üretimi yapmıştır. Kadastro yenileme ve güncelleme çalışmaları kapsamında karar-destek, kalite kontrol ve yasal altlık oluşturma amaçları ile 2009 yılından bu yana Sayısal Renkli Ortogörüntü üretimi ve 2019 yılı itibari ile 3B Şehir Modellerinin üretimi gerçekleştirilmektedir [79].

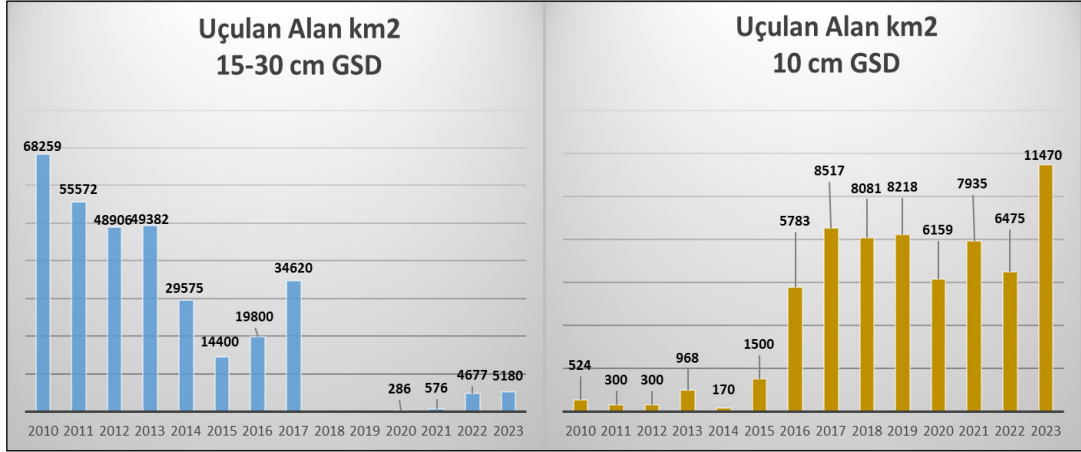
Şekil 2.12 TKGM Envanterinde Bulunan Uçak ve Sayısal Hava Kameraları [79]



TKGM ortogörüntü üretiminde kurumsal üretim ya da hizmet alımı kullanmaktadır. Kurumsal üretim faaliyetlerini yürütmek amacıyla Vexcel Ultracam Osprey Mark 3 Eğik (Oblik) Hava Kameralı TC-TKG çağrı adlı Islander BN-2T model uçak ile Z/I DMC-II E geniş format dijital hava kameralı TC-KDR çağrı adlı

Beechcraft King Air 350i model uçakları TKGM envanterinde bulunmaktadır (Şekil 2.12) [79]. TKGM'nin uzaktan algılama faaliyetleri sonucunda 2009-2017 yılları arasında 30 cm yer örnekleme aralığında 385.000 km<sup>2</sup> alanda görüntü alımı, 2016-2024 yılları arasında 10 cm yer örnekleme aralığında 65.000 km<sup>2</sup> alanda görüntü alımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.13) [80].

Şekil 2.13 TKGM'nin Görüntü Alımı Uçuş Alanlarının Yıllara Göre Dağılımı [80]



## 2.7. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)

DSİ Türkiye'deki tüm su kaynaklarının planlanması, yönetimi, geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumlu, Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı özel bütçeli yatırımcı bir kuruluştur. Uzaktan algılama teknikleri DSİ tarafından aşağıdaki alanlarda kullanılmaktadır:

- Hidrometeorolojik verilerin belirlenmesi ve havza modellerinde kullanılması
- Su bütçesinin belirlenmesine yönelik çalışmalar
- Sulama ve buharlaşma takibi
- Taşkın kontrolleri
- Halk sulamalarının belirlenmesi (planlama aşamasında)

DSİ yüksek mekânsal çözünürlüklü veri ihtiyacı (ortalama 3 cm, genel olarak 10 cm altı çözünürlük) nedeniyle genellikle İHA görüntülerini tercih etmektedir. Kurumun iki adet alçak uçuş yapan uçağı bulunmaktadır. Sınır bölgeleri gibi erişimin zor olduğu alanlarda ise uydu görüntülerinden yararlanılmaktadır. Taşkın izleme

çalışmalarında yüksek çözünürlüklü ve bulutsuz görüntü ihtiyacı nedeniyle radar görüntülerinden faydalanmaktadır. Su alanlarında ise bot ve teknelerle Ekosander Sistemi (derinlik ölçer) kullanılmaktadır. Ayrıca kurum tarafından tasarlanan İnsansız Batimetri cihazıyla 100 m derinliğe kadar ölçüm yapılabilmektedir.

DSİ bünyesindeki Harita Şube Müdürlüğü ortogörüntü, sayısal yükseklik modeli verisi ve kurum projelerine yönelik altlık haritalar gibi uzaktan algılama ürünlerini üretmektedir. Harita Şube Müdürlüğü, her yıl düzenli olarak üretim talebi toplamakta ve bu talepler doğrultusunda üretim gerçekleştirmektedir. Ayrıca bölgesel ihtiyaçlar, proje bazlı çalışmalar ve acil durumlar için de veri üretimi yapılmaktadır. Kurum arşivinde multikopter ve sabit kanatlı uçak görüntüleri, sayısal haritalar, ortogörüntüler ve sayısal yükseklik modelleri bulunmaktadır.

## **2.8. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)**

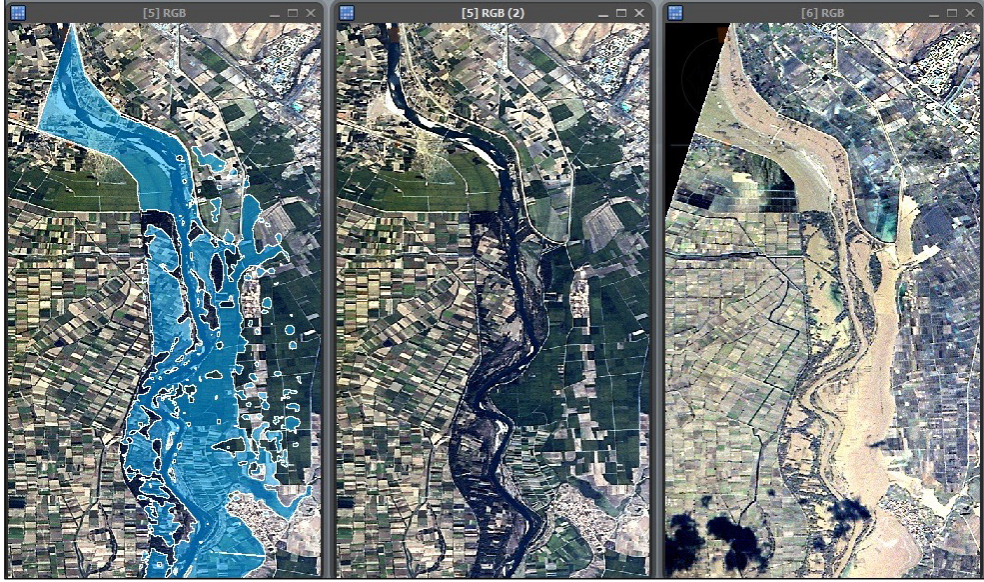
AFAD, afet yönetimi ve acil durum çalışmalarında uzaktan algılama teknolojilerini kullanmaktadır. İçişleri Bakanlığı'na bağlı olarak faaliyet gösteren kurum, afet yönetimi çalışmalarında uzaktan algılama verilerini şu amaçlarla kullanmaktadır:

- Afet olay envanterlerinin oluşturulması,
- Zarar görebilir varlıkların tespiti,
- Tehlike ve risk verilerinin analizi,
- Olası ya da gerçekleşmiş afetlerin etki alanlarının belirlenmesi,
- Hasar tespiti ve değerlendirmesi.

AFAD Afet Yönetimi ve Karar Destek Sistemi (AYDES) veri tabanına deprem, heyelan, su baskını ve orman yangını gibi doğa kaynaklı afet olaylarına ait çok sayıda veri eklenmektedir. Büyük alanları etkileyen doğa kaynaklı afetlerin etki alanlarını ve oluşturdukları hasarı belirlemek amacıyla uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi tabanlı veriler kullanılarak haritalama çalışmaları yapılmaktadır. AFAD, 2022 yılından itibaren uydu görüntüsü temini için uluslararası platformlarla (Charter, Sentinel Asia ve Copernicus EMS vb.) iş birliği geliştirmiştir. GÖKTÜRK-1/2, RASAT, Sentinel, Landsat ve ALOS-2 uydularına ait görüntüler ve HGM'den temin

edilen hava fotoğrafları çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır [80]. Örneğin 2015 yılında Edirne ve çevresinde meydana gelen sel olayı RASAT uydu görüntüleriyle analiz edilmiş ve taşkın nedeniyle suyla kaplanan alanlar tespit edilmiştir (Şekil 2.14).

Şekil 2.14 RASAT Görüntüleri Kullanılarak 2 Şubat 2015 Edirne Sel Olayı Analizi



AFAD'ın uzaktan algılama verilerinden daha etkin faydalanabilmesi amacıyla AYDES – UZAL ve AYDES – Kitle Kaynak yazılımları geliştirilmiştir. AYDES – UZAL, afet uygulamaları için özelleştirilmiş bir uzaktan algılama yazılımı olup elektro-optik uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve SAR verilerinin analizine imkân tanımaktadır. Deprem, sel, yangın ve heyelan gibi afet türleri sonrasında etki alanı ön analizi ve öncül hasar tespiti yapılabilirken değişiklik analizi, sınıflandırma, nesne tabanlı analiz ve doku analizi gibi farklı görüntü işleme algoritmalarını içermektedir. Analiz sonuçları doğrudan AYDES sistemine aktarılmakta ve böylece afet öncesi ya da sonrasında uzaktan algılama verilerinin görüntülenmesi, işlenmesi ve yorumlanması sağlanarak afet yönteminde karar destek süreçlerine katkı sunulmaktadır [81].

## 2.9. Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü (MTA)

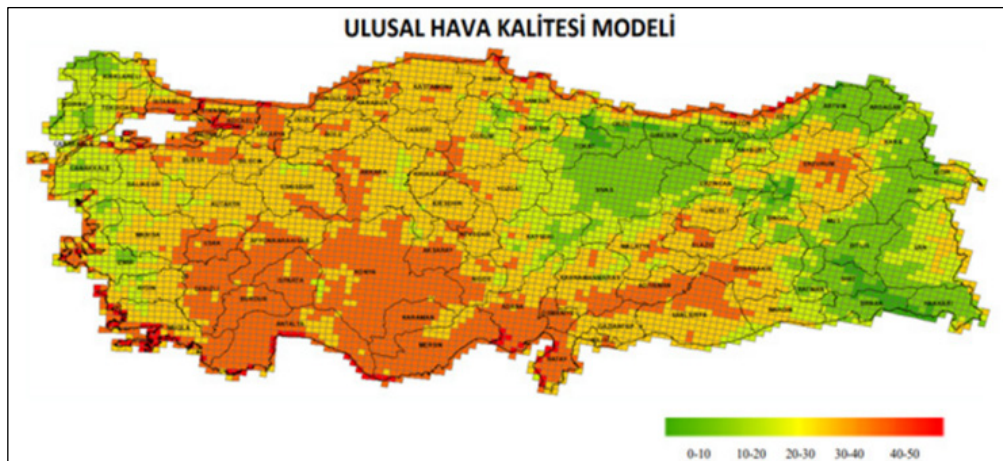
1975 yılında MTA Jeofizik Etütleri Dairesi bünyesinde Uzaktan Algılama Servisi kurulmuş ve Landsat görüntülerinin analizi ile birim faaliyetlerine başlamıştır.

Mevcut adıyla Uzaktan Algılama Uygulamaları Birimi, kurum içi projelere ön bilgi ve destek sağlarken kendi geliştirdiği yurt içi ve yurtdışı projeleri de yürütmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalar jeolojik oluşumların tespit edilmesi, metalik, endüstriyel ve enerji hammaddeleri aramacılığına yönelik yüzey verilerinin belirlenmesi, jeomorfolojik oluşumların analizi, doğal afetler ve çevre kirliliği ile hidrojeolojik araştırmalar gibi başlıklarda özetlenebilmektedir. Birimde Landsat-1 ile başlayan süreçte, sırasıyla Landsat 2, 3, 4, 5 ve 7 uydu verileri kullanılmıştır. Günümüzde ise Landsat 8, 9 ve jeolojik araştırmalar için daha uygun özelliklere sahip olan ASTER uydu verileri kullanılmaktadır. Ayrıca MTA, sahip olduğu bilgi ve deneyim sayesinde Türkiye'nin yakın komşu ülkelerindeki meslektaşlarına uzaktan algılama eğitimi vererek uluslararası platformda önemli bir yer edinmiştir. [82].

## 2.10. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü (ÇYGM)

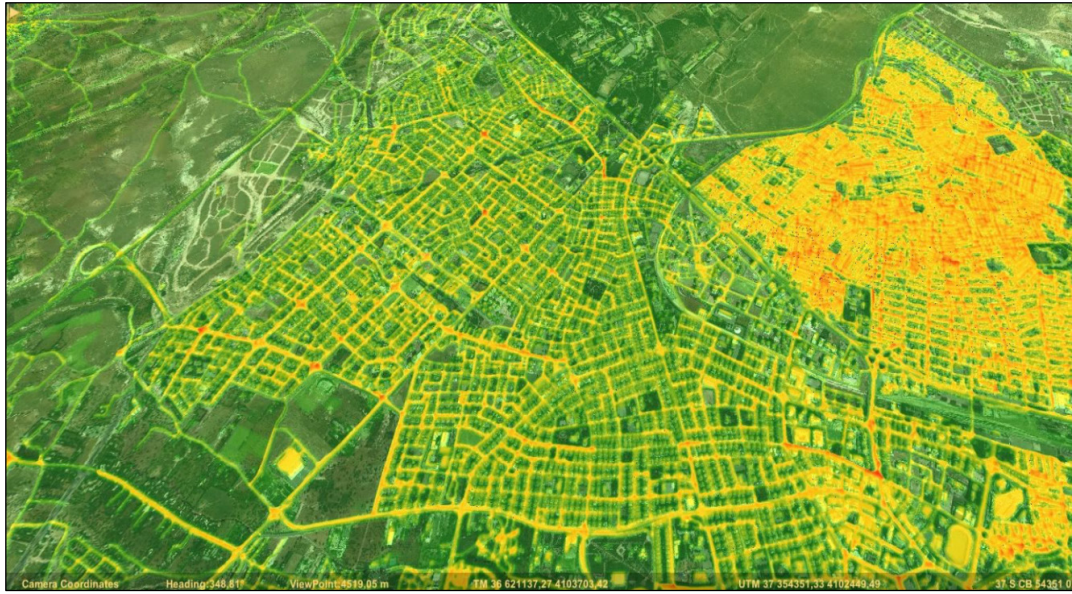
Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, hava kalitesi yönetiminde uzaktan algılama verilerini kullanmaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen CBS tabanlı Hava Emisyon Yönetim (HEY) Portalı ile sanayi tesislerinin bacalarından kaynaklanan emisyonlar, evsel ısınmadan doğan kirletici miktarları ve karayolu, denizyolu, havayolu ile demiryolu gibi ulaşım türlerinden kaynaklanan emisyonlar ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Emisyon envanteri oluşturulurken 150'den fazla kirletici parametre sektörel, zamansal ve mekânsal olarak değerlendirilerek kilometre çözünürlüğünde hava kalitesi haritaları üretilmektedir (Şekil 2.15) [83].

Şekil 2.15 HEY Portalı Temsili Hava Kalitesi Haritası (PM10,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) [83]



Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yerli ve milli olarak geliştirilen NEFES (New Emission Forecast & Evaluation System – Yeni Emisyon Tahmin ve Değerlendirme Sistemi) yazılımı sayesinde şehirlerin dijital ikizleri üzerinde 5 metreye kadar hassasiyetle hava kalitesi verileri hesaplanmakta ve kirlilik kaynakları tespit edilmektedir (Şekil 2.16). NEFES yazılımı bina tipolojisi, trafik yoğunluğu, topoğrafya ve arazi kullanımı gibi onlarca parametreyi 3 boyutlu ortamda analiz ederek 81 ilin merkez ve ilçeleri için stratejik hava kalitesi haritalarının oluşturulmasını sağlamaktadır [83].

Şekil 2.16 NEFES Yazılımı Temsili 3B Harita Görsele [83]

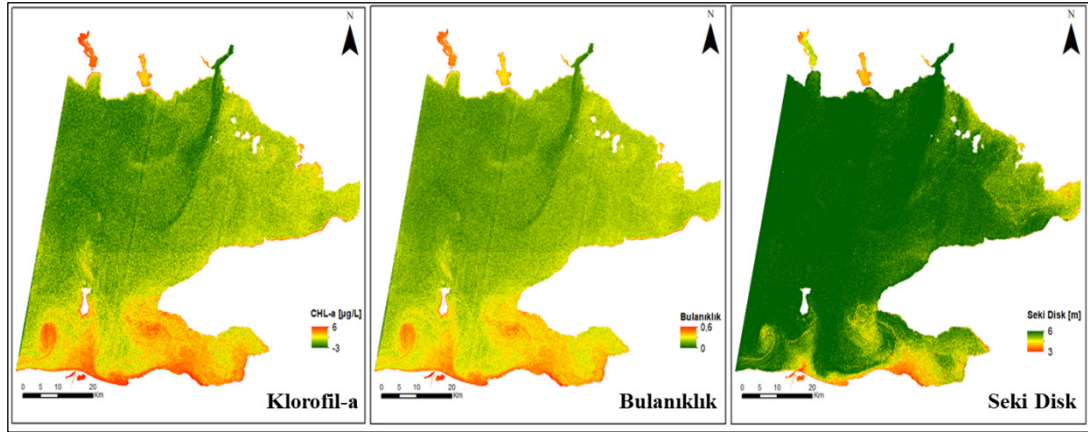


## 2.11. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, 2014 yılından itibaren Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı (DEN-İZ) kapsamında uzaktan algılama teknolojilerini aktif olarak kullanmaktadır. DEN-İZ programı, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi koordinasyonunda üçer yıllık periyotlarla yürütülmektedir. MODIS AQUA uydusundan elde edilen görüntüler analiz edilerek yüzey klorofil dağılımı haritalanmaktadır. Program kapsamında yüzey suyu sıcaklık dağılımı ve üst tabaka akıntılarının yarattığı filamentler, akıntı rejimi ve oluşan döngüler uydu verilerinden gözlemlenmektedir.

2020-2022 döneminde, özellikle Marmara Denizi'nde uydu görüntüleri ile izleme ve erken uyarı sistemi geliştirilmesine yönelik çalışmalar programa dahil edilmiştir. 2021 yılında yaşanan müsilaj felaketi sonrası, Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Eylem Planı'na "aşırı alg artışı takibi ve klorofil-a izleme çalışmalarının uydular ile izlenmesi" faaliyeti eklenmiştir. 2021 yılında Gemlik Körfezi'nde bir pilot çalışma gerçekleştirilmiş, Sentinel-2 ve Landsat-8 uydu görüntüleri ile yerinde ölçüm verileri birlikte analiz edilerek klorofil-a, bulanıklık ve seki diski su kalitesi parametreleri incelenmiştir (Şekil 2.17) [80].

Şekil 2.17 29 Nisan 2021 Tarihli Su Kalitesi Parametreleri Analizi [80]



## 2.12. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (TRGM)

TRGM, Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde uzaktan algılama teknolojilerini tarımsal faaliyetlerin yönetimi, izlenmesi ve planlanmasında kullanmaktadır. CBS ve uzaktan algılama teknolojilerinin entegrasyonu ile tarım sektöründe stratejik kararların alınmasında kritik rol oynayan Tarım Bilgi Sistemi, ülke genelinde toprak haritaları oluşturarak tarım arazilerinin toprak kalitesi ve kullanım potansiyeli hakkında detaylı bilgi sunmaktadır [80].

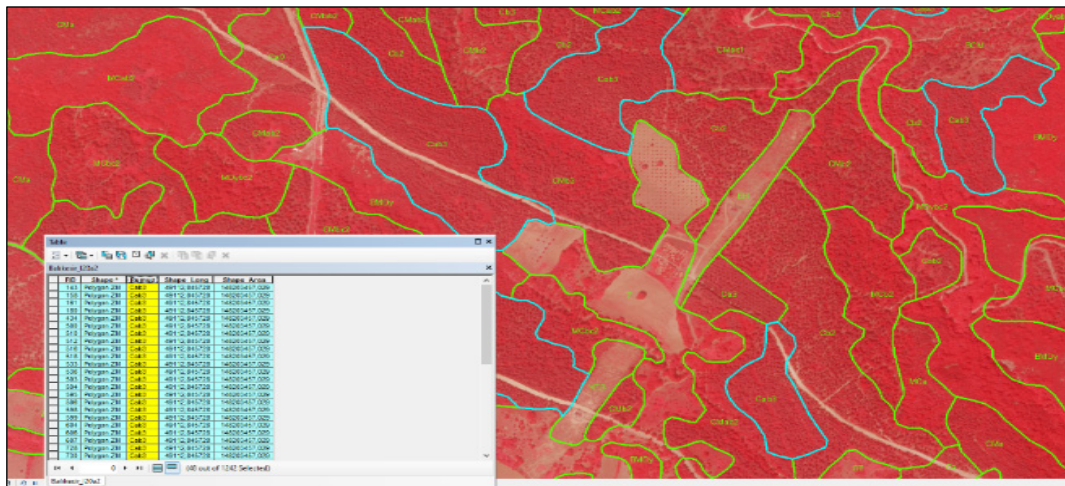
TRGM tarafından uydu görüntüleri kullanılarak ekilebilir alanlar, meralar, ormanlar, su kaynakları ve yapılaşmalar izlenmektedir. Arazi Parsel Tanımlama Sistemi (LPIS), uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları ile tarım arazilerinin sayısallaştırılmasını ve sürekli güncellenmesini sağlar. Tarım ürünü haritalama, tarım arazilerinde yapılanma tespiti, destek ödeme kontrolü, orman durumu izleme ve su

kaynaklarının yönetimi gibi detaylı analizler yapılmaktadır. Ayrıca TRGM, tarımsal üretim faaliyetlerini izleme ve denetleme amacıyla Çiftçi Kayıt Sistemi verilerini Sentinel-2 uydu görüntüleriyle entegre ederek üretim verimliliğini artırmaya yönelik analizlerin yapılmasını ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklenmesini sağlamaktadır [80].

### 2.13. Orman Genel Müdürlüğü (OGM)

OGM, Türkiye'nin orman varlığının sürdürülebilir şekilde yönetilmesi ve planlanması kapsamında uzaktan algılama teknolojilerinden yararlanmaktadır. Hava fotoğrafları 1963 yılından beri kurum tarafından ormancılık faaliyetlerinde kullanılmaktadır. 1991 yılından itibaren ise RGB ve NIR multispektral hava fotoğrafları OGM tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Kızılötesi fotoğraflar meşçere tipi tanımında, ağaç türlerinin belirlenmesinde, bonitet farkının, hasta ve sağlıklı ağaçların tespitinde kolaylık sağlamaktadır. Ormanlık alanlara ait hava fotoğrafları temin edilememesi durumunda yerli uydular GÖKTÜRK-1, GÖKTÜRK-2, RASAT veya dış kaynaklı uydu görüntüleri kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. OGM tarafından üretilen haritalar, uydu görüntüleri, ortogörüntüler, sayısal yükseklik modelleri ve diğer tüm tematik haritalar Orman Bilgi Sistemi uygulamasına yüklenmiş ve coğrafi bilgi sistemleri yazılımlarında altlık olarak servis edilmektedir.

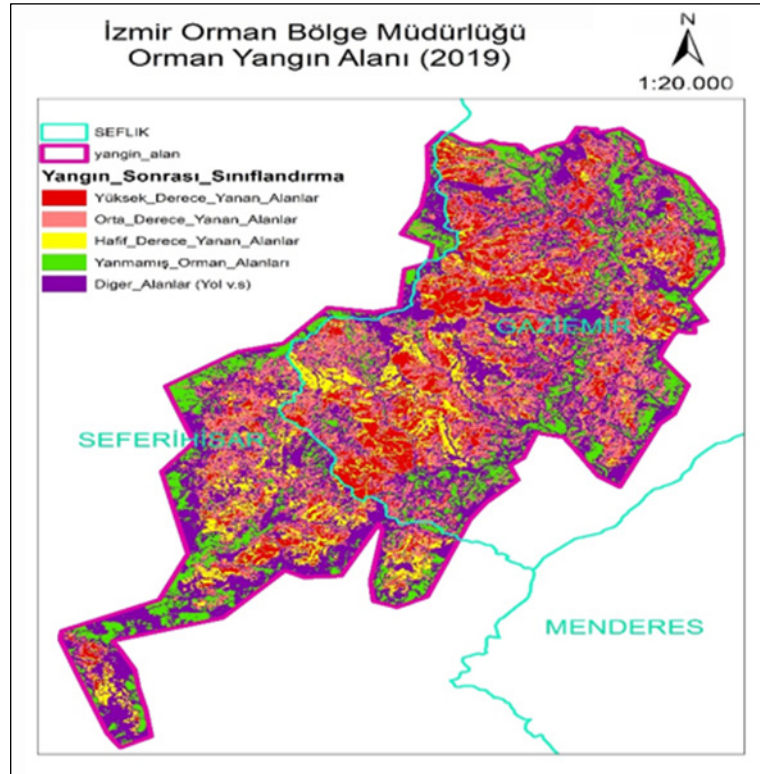
Şekil 2.18 Meşçere Tipleri Haritası Temsili Görseli



Stereo hava fotoğrafları kullanarak üç boyutlu sayısallaştırma ve yorumlama yaparak üretilen Sayısal Meşçere Taslak Haritaları on yıllık periyotlarla yenilenen Orman Amenajman Planlarının temel altlığını oluşturmaktadır. Üretilen Meşçere Taslak Haritaları ve hava fotoğrafları planlamadan bir yıl önce ilgili birimlere teslim edilmektedir. 2023 yılında Plan Yenileme Programı kapsamında 6.741.901 hektar alanın meşçere taslak haritası ile ortogörüntüsü üretilmiştir. OGM, uzaktan algılama teknolojilerini aşağıdaki alanlarda kullanmaktadır:

- Orman Amenajman Planlaması için meşçere taslak haritası üretimi (Şekil 2.18)
- Orman alanlarının değişiminin izlenmesi
- Orman yangınlarının tespiti ve takibi (Şekil 2.19)
- Ormanda zarara yol açan böcekli alanların tespiti
- Arazi örtüsü ve kullanım alanlarındaki değişikliklerin belirlenmesi (orman zararlıları, izin sahaları, ormanların yasa dışı faaliyetlerde kullanımı vb.)

Şekil 2.19 2019 Yılı İzmir Orman Yangın Alanı Sınıflandırılması Çalışması [80]



## BÖLÜM 3

### ULUSLARARASI UZAKTAN ALGILAMA FAALİYETLERİ

Uzaktan algılama teknolojilerinin gelişimi teknik ilerlemelere bağlı olduğu kadar aynı zamanda bu alanda öncülük eden ülkelerin stratejik hedeflerine de bağlıdır. Günümüzde birçok ülke uzaktan algılama verilerini hem bilimsel araştırmalarda hem de kamu politikalarının planlanması ve yönetiminde aktif olarak kullanmaktadır. Bu kapsamda, başta Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ülkeleri, Kanada, Çin, Japonya ve Güney Kore olmak üzere birçok ülke uzaktan algılama alanında ileri düzey teknolojilere ve uygulamalara sahiptir. Söz konusu ülkeler kendi coğrafyalarıyla sınırlı kalmaksızın küresel ölçekte veri sağlayan optik ve radar tabanlı uydu sistemleri geliştirmekte ve bunları çeşitli uygulamalarda kullanıma sunmaktadır.

Bu bölümde, ilgili ülkelerin uzay ajansları ile uzaktan algılamayı etkin şekilde kullanan kamu kurumları ele alınmakta ve ulusal ya da kurumsal düzeyde uzaktan algılama alanına yönelik stratejik yaklaşımlar özetlenmektedir. Ayrıca uzaktan algılama verilerinin kullanıldığı ulusal veya bölgesel düzeyde program ve projeler örnek gösterilerek ülkelerin uzaktan algılamayı karar destek sistemlerine nasıl entegre ettikleri değerlendirilecektir. Bölümün devamında ise yaygın olarak kullanılan uyduların teknik özellikleri ile gelecekte fırlatılması planlanan sistemler incelenerek teknolojik eğilimler ve yönelimler ortaya konacaktır.

#### **3.1. Uzaktan Algılamada Kurumsal Yapılar, Stratejik Yaklaşımlar ve Projeler**

##### *3.1.1. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)*

ABD, uzaktan algılama teknolojileri alanında güncel uygulama kapasitesi bakımından dünyanın önde gelen ülkelerinden biridir. ABD'nin uzaktan algılama alanındaki tecrübesi farklı kurumların -özellikle NASA ve USGS- uzun yıllara dayanan ortak çalışmalarıyla şekillenmiştir. 1960'lı yıllardan bu yana uzaktan algılama alanında öncü çalışmalar yürüten NASA, uzay ve havacılık araştırmaları alanında faaliyet gösteren bir kurum olup özellikle Dünya gözlemi için çok sayıda uydu ve sensör geliştirmiştir. USGS, Landsat uydu programının veri arşivlenmesi, işlenmesi ve dağıtımından sorumlu olup doğal kaynakların yönetimi ve bilimsel araştırmalar için

uzaktan algılama verileri sağlamaktadır. 1972 yılında başlatılan Landsat uydu programı kapsamında faal olan Landsat-8 ve Landsat-9 optik uyduları, Dünya yüzeyine ait detaylı veriler sunmakta ve küresel ölçekte uzaktan algılama çalışmalarının başlıca veri kaynakları arasında yer almaktadır.

ABD'deki kurumlar arasındaki uyumlu çalışma yapısı, ABD Yer Gözlemleri Grubu (USGEO) ve Kurumlar Arası Ticari Görüntüleme Değerlendirme Platformu (JACIE) gibi organizasyonlar aracılığıyla güçlendirilmektedir. USGEO, Bakanlıklar ve Ajansların sivil yer gözlemi politikalarını koordine etmekte ve uzaktan algılama teknolojilerinin geliştirilmesi, entegrasyonu ile ilgili ulusal stratejiler oluşturmaktadır [84]. JACIE ise ticari uydu görüntülerinin kalite, doğruluk ve kullanılabilirliğini değerlendiren, bu verilerin etkin ve verimli kullanımını desteklemek için standartlar oluşturan ve kurumlar arası iş birliğini teşvik eden bir yapıdır.

ABD'de uzaktan algılama teknolojilerinin bilimsel araştırmalar ve kamu politikalarında stratejik bir araç olarak kullanılması amacıyla uzun vadeli planlar geliştirilmektedir. USGEO, 2024 yılında yayınladığı Sivil Yer Gözlemleri Ulusal Planı ile bilime dayalı iklim değişikliğiyle mücadeleyi geliştirmek, çevresel izleme ile yönetimi güçlendirme ve insan sağlığı ile güvenliğini iyileştirme hedefleri doğrultusunda uzaktan algılama verilerinin erişilebilirliğini artırmayı, entegrasyonunu güçlendirmeyi ve veri kullanımını daha etkili hale getirmeyi amaçlamaktadır [84]. NASA'nın 2022 strateji planı, iklim değişikliğiyle mücadele de dahil olmak üzere ulusal zorluklara çözüm üretmek amacıyla uzaktan algılama verileri ve teknolojilerinin geliştirilmesini hem bilimsel keşifleri genişletmek hem de Ay ve Mars'ta sürdürülebilir insan varlığı için kritik bir araç olarak vurgulayarak ekonomik büyümeyi teşvik etme hedefleriyle entegre eder [85]. USGS'nin 2020–2030 Bilim Stratejisi uzaktan algılama, büyük veri, bulut bilişim ve yapay zekâ gibi gelişen teknolojilerden faydalanarak yer yüzeyindeki değişimleri gerçek zamanlı izlemeyi ve gelecekteki değişiklikleri tahmin etmeyi amaçlayan EarthMAP gibi entegre modelleme projeleriyle 21. yüzyılın karmaşık sorunlarına çözüm üretmeyi hedeflemektedir [86]. USGS'nin 2023–2033 Veri Stratejisi ise açık veri politikası kapsamında kullanıcı odaklı, birlikte çalışabilir ve analiz edilebilir uzaktan algılama verilerinin sunulmasını hedeflemektedir [87].

Tarım ve çevre odaklı kurumlar da uzaktan algılamayı stratejik öncelik olarak ele almaktadır. ABD Tarım Bakanlığı (USDA) 2022–2026 Stratejik Planı, uzaktan algılama teknolojilerinin kullanımını artırarak yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin yaygınlaştırılması, coğrafi verilerin merkezi yapıda sunulması, İHA'ların acil durumlar ve akıllı tarımda entegrasyonu ile büyük veri analizlerinin kullanıcılarla buluşturulması ve iklim adaptasyonuna katkı sağlamayı amaçlamaktadır [88]. Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA) 2022–2026 Stratejik Planı kapsamında uzaktan algılama teknolojilerini geliştirerek iklim değişikliği, okyanus izleme ve erken uyarı sistemleri gibi alanlarda kapsamlı bir gözlem ağı oluşturmayı, yeni nesil uydu programları ve veri işleme sistemlerini devreye almayı, ayrıca bu verilerin kamuya açık ve eşitlikçi erişimini sağlamayı hedeflemektedir [89].

Tüm bu genel hedef ve stratejiler ABD'nin uzaktan algılama alanındaki uzun vadeli vizyonunu çizerken, gelecekte fırlatılması planlanan yeni nesil uzay görevleriyle de daha somut biçimde desteklenmektedir. Bu bağlamda, NASA ve USGS'nin birlikte geliştirdiği Landsat Next misyonu, mevcut Landsat sistemlerinin kapasitesini ileri taşıyacak şekilde üç ayrı uydu üzerinden 26 spektral bantta veri sunmayı amaçlamakta ve 2030'lu yılların başında faaliyete geçmesi planlanmaktadır [90]. Ayrıca NASA'nın Hindistan Uzay Araştırmaları Kurumu (ISRO) ile birlikte geliştirdiği NISAR görevi, 2025 yılında fırlatılarak L ve S-bant SAR sensörleri ile orman biyokütlesi, yeryüzü deformasyonları ve buzulların değişim dinamikleri gibi süreçlerin hassas biçimde gözlemlenmesine olanak tanıyacaktır [91]. NOAA tarafından geliştirilen ve 2032 yılında fırlatılması planlanan GeoXO sistemi ise yeni nesil yer sabit yörüngeye sahip yer gözlem uyduları aracılığıyla hava durumu, deniz yüzeyi sıcaklığı, bulut yapıları ve atmosferik kimyasal bileşenler gibi parametrelerin daha yüksek zaman çözünürlüğüyle izlenmesini sağlayacaktır [92].

ABD'de çeşitli kamu kurumları uzaktan algılama verilerini kullanarak tarım, orman, su kaynakları, afet yönetimi ve çevresel izleme gibi birçok alanda kapsamlı projeler ve programlar yürütmektedir. Tablo 3.1'de, öne çıkan bazı programların amaçları ve kullandıkları başlıca uzaktan algılama verileri özetlenmiştir.

Tablo 3.1 ABD'nin Uzaktan Algılama Verileri Kullanarak Yürüttüğü Projeler ve Programlar

Program/Proje Adı	Amaç	Kullanılan Veriler
NAIP – National Agriculture Imagery Program (Ulusal Tarım Görüntüleme Programı)	Tarım arazilerinin yüksek çözünürlüklü havadan görüntülerini düzenli olarak (genellikle her 2-3 yılda bir) toplayan program çiftçilere destek, tarımsal uygunluk değerlendirmesi, arazi kullanım değişiklikleri ve tarım politikalarının uygulanmasını desteklemeyi amaçlar [93].	Hava fotoğrafları (RGB, NIR) (30 cm/60 cm/1 m)
CDL – Cropland Data Layer (Tarım Arazisi Veri Katmanı)	Tarımsal ürünlerin türünü ve konumunu belirlemeye yönelik program, yıllık olarak 100'den fazla farklı tarım ürününün dağılımını uydu görüntüleriyle haritalamaktadır. 10 metre mekânsal çözünürlüğe sahip veri katmanı üretim tahminlerini iyileştirme, ürün sigortası ve tarımsal politika kararlarını destekleme amacı taşır [94].	Landsat, Sentinel-2, NAIP, 3DEP
VegScape – Vegetation Condition Explorer (Bitki Örtüsü Durumu İzleme)	Bitki örtüsü durumunu gerçek zamanlı olarak izleyen web tabanlı servis, vejetasyon indeksleri kullanarak bitki sağlığını ve gelişimini 250 metre mekânsal çözünürlükte analiz eder, tarımsal üretim tahminleri yapar ve sektöre karar destek verileri sağlar [95].	MODIS, CDL
VegDRI – Vegetation Drought Response Index (Bitki Örtüsü Kuraklık Tepki İndeksi)	Bitki örtüsünün kuraklığa tepkisini izleyen program, bitki örtüsü kuraklık stresini değerlendirir ve 1 km mekânsal çözünürlükte haritalandırır. Tarımsal kuraklık izleme, mera yönetimi, yangın risk değerlendirmesi ve su kaynakları yönetimi uygulamalarında kullanılır [96].	AVHRR, MODIS
United States Drought Monitor (ABD Kuraklık İzleme)	Haftalık olarak kuraklık koşullarını izleyen program, kuraklığın şiddetini ve yayılımını sınıflandırarak haritalar. Su kaynakları yönetimi, tarımsal planlama, acil durum müdahalesi ve kuraklık yardım programları için veri sağlar [97].	AVHRR, MODIS
NLCD – Annual National Land Cover Database (Yıllık Ulusal Arazi Örtüsü Veritabanı)	Yıllık olarak güncellenen program arazi kullanımı değişimlerini takip eder. 30 metre mekânsal çözünürlükte 6 farklı veri katmanı içeren veritabanı doğal kaynak yönetimi, çevresel planlama, kent planlaması, hidrolojik modelleme ve iklim değişikliği gibi alanlarda kullanılır [98].	Landsat serisi
Harmonized Landsat and Sentinel-2 (Uyumlaştırılmış Landsat ve Sentinel-2)	Landsat ve Sentinel-2 uydu sisteminin zamansal, mekânsal ve spektral özelliklerini harmonize ederek 2-3 günlük zamansal çözünürlükte veri sağlar [99].	Landsat 8-9, Sentinel-2

Program/Proje Adı	Amaç	Kullanılan Veriler
LANDFIRE – Landscape Fire and Resource Management Planning Tools (Yangın ve Kaynak Yönetimi Planlama Araçları)	Yangın davranışı, ekolojik restorasyon ve doğal kaynak yönetimi için ulusal ölçekte veri sağlayan program vejetasyon, yakıt tipleri, yangın rejimleri ve ekolojik sistemleri haritalar. Yangın risk değerlendirmesi, yangın madde modelleri ve yangına dayanıklı topluluklar oluşturma gibi girişimleri destekler [100].	Landsat 8-9, Sentinel-2, LIDAR
FIREHARM – Fire Hazard and Risk Model (Yangın Tehlikesi ve Risk Modeli)	Yangın davranışı, tehlikesi ve etkilerine ilişkin ölçütleri mekânsal ve zamansal olarak hesaplayarak yangın tehlikesi ve riski haritaları üreten model, yangın yönetim planlaması ve yangın operasyonlarında karar destek aracı olarak kullanılır [101].	LANDFIRE, MODIS
Monitoring Trends in Burn Severity (Yangın Şiddetindeki Eğilimlerin İzlenmesi)	1984'ten bu yana ABD genelinde büyük yangınların şiddetini ve etki alanını haritalayan program, yangın öncesi ve sonrası Landsat görüntüleri kullanarak yangın şiddeti haritaları oluşturur, yangın rejimlerindeki uzun vadeli değişimleri izler ve yangın etkisi değerlendirmeleri için veri sağlar [102].	Landsat serisi, Sentinel-2
Forest Inventory and Analysis (Orman Envanteri ve Analizi)	Ülkenin orman kaynaklarının durumunu ve eğilimlerini raporlayan ulusal orman envanteri programı ağaç türü kompozisyonu, yaş yapısı, büyüme, ölüm, hasat ve orman sağlığı hakkında kapsamlı veriler toplar [103].	Landsat, NAIP, LIDAR, NLCD
Forest to Faucets (Ormandan Musluklara)	Ormanların içme suyu kaynaklarına katkısını ve su kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendiren proje, orman alanları ile su havzaları arasındaki ilişkiyi haritalayarak su kaynakları yönetimi, orman koruma stratejileri, su temini planlaması ve havza restorasyon çalışmalarına bilgi sağlar [104].	Landsat, NAIP, LIDAR, NLCD
3D National Hydrography Program (3 Boyutlu Ulusal Hidrografi Programı)	Akarsular, göller, kanallar, barajlar ve ilgili su özelliklerinin 3B veritabanı, 1:24,000 ölçeğinde ve 1 metre mekânsal çözünürlükte su kütlelerinin konumlarını, isimlerini, akış yönlerini ve diğer niteliklerini içerir. Su kalitesi, sel tahmini, su kaynakları yönetimi ve balıkçılık yönetimi için temel veri sağlar [105].	LIDAR, Uçak tabanlı SAR (Alaska için), fotogrametrik veriler
3DEP – 3D Elevation Program (3 Boyutlu Yükseklik Programı)	Yüksek kaliteli yükseklik verileri sağlayan program, LIDAR ve IfSAR (Alaska) teknolojilerini kullanarak sel risk haritaları, jeolojik risk değerlendirmeleri, altyapı planlaması, arazi kullanım planlaması ve doğal kaynak yönetimi gibi uygulamalar için topografik veri sunar [106].	LIDAR, Uçak tabanlı SAR (Alaska için), fotogrametrik veriler

Program/Proje Adı	Amaç	Kullanılan Veriler
Coastal Change Analysis Program (Kıyı Değişim Analizi Programı)	Kıyı bölgelerindeki arazi örtüsü ve değişimlerini izleyen program, 5 yıllık periyotlarla standartlaştırılmış veri setleri üretir. Kıyı ekosistemlerinin sağlığını değerlendirme, deniz seviyesi yükselmesi etki analizleri, kıyı yönetimi ve planlama çalışmalarına destek sağlar [107].	NLCD, NAIP, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri
National Wetlands Inventory (Ulusal Sulak Alanlar Envanteri)	Ülkedeki sulak alanların kapsamını, özelliklerini ve durumunu belgeleyen program sulak alan yönetimi, koruma, restorasyon ve yaban hayatı habitat değerlendirme çalışmalarına destek sağlar [108].	NAIP, Landsat, Sentinel-2, LIDAR
FEMA Flood Mapping Program (FEMA Sel Haritalama Programı)	Sel tehlike alanlarını belirlemek ve haritalamak için kullanılan program sel sigortası gereksinimleri, sel riski azaltma çabaları, arazi kullanım planlaması ve acil durum yönetimi için bilgi sağlar. Sel yatağı sınırları, taşkın yükseklikleri ve riskli bölgelerin haritalarını oluşturur [109].	LIDAR, NAIP, Sentinel-1, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri
Gap Analysis Project (Korunması Gereken Alanların Analizi Projesi)	Tür dağılımı, arazi örtüsü ve koruma statüsü verilerini birleştirerek korunan alanların dışında kalan ve koruma ihtiyacı olan habitatları ve türleri belirler. Eyalet ve federal koruma ajanslarına koruma planlaması, habitat restorasyonu ve tür koruma stratejileri geliştirmede yardımcı olur [110].	NLCD, NAIP
Soil Survey Geographic Database (Toprak Araştırması Coğrafi Veritabanı)	ABD topraklarının haritalanması ve sınıflandırılması için kullanılan veritabanı toprak türleri, fiziksel ve kimyasal özellikler, erozyon potansiyeli, su tutma kapasitesi gibi veriler içerir. Tarımsal planlama, arazi kullanım kararları, erozyon kontrolü, sulama uygunluğu ve çevresel değerlendirmeler için kullanılır [111].	Arazi verileri, NAIP, Landsat, LIDAR
Rangeland Condition Monitoring Assessment and Projection (Mera Durumu İzleme Değerlendirme ve Projeksiyonu)	1985-2021 yılları arası çayır ve mera alanlarının durumunu ve değişimini izleyen program bu alanların sağlığını, üretkenliğini ve mevcut durumunu değerlendirir. Otlak yönetimi, mera kapasitesi planlaması, ekolojik restorasyon ve iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi için veri sağlar [112].	Landsat zaman serileri
National Urban Change Indicator (Ulusal Kentsel Değişim Göstergesi)	1987-2016 yılları arası kentsel alanlardaki değişimleri tespit etmek ve izlemek için kullanılan veri seti kentleşme süreçlerini analiz ederek kentsel büyüme, yayılma ve yoğunlaşma gibi gelişim örüntülerini yıllık olarak belirler. Şehir planlaması, altyapı geliştirme, ulaşım planlaması ve kentsel ekoloji çalışmalarında kullanılır [113].	Landsat zaman serileri, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri

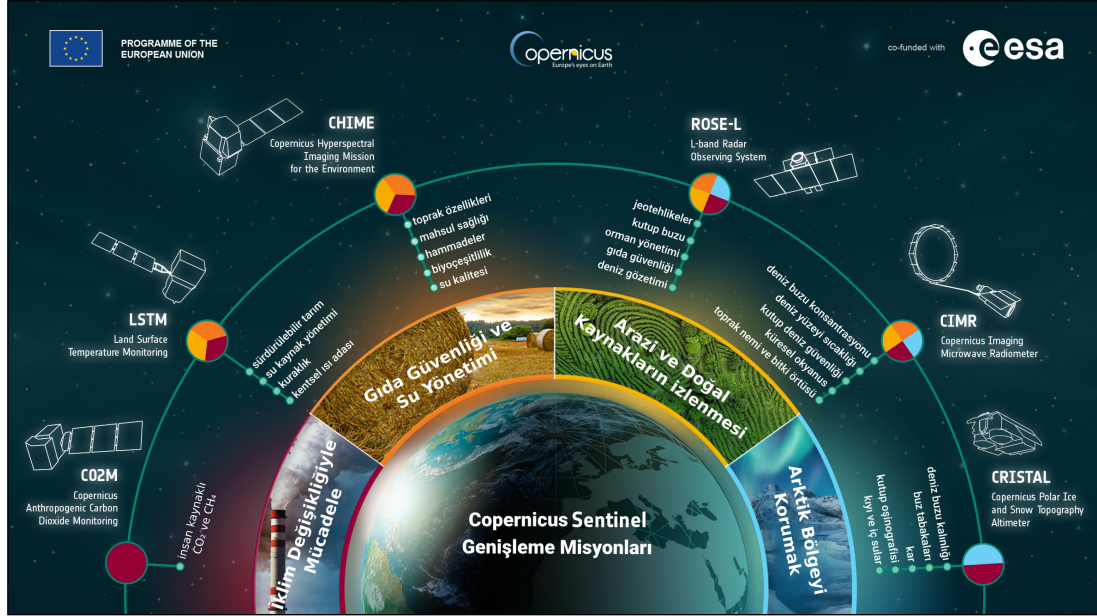
### 3.1.2. Avrupa Birliği ve Avrupa Ülkeleri

Avrupa Birliği'nde uzaktan algılama teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında Avrupa Uzay Ajansı (ESA) küresel düzeyde bilimsel ve teknolojik iş birlikleri yürüten çok uluslu bir uzay kurumu olarak öne çıkmaktadır. ESA çok uluslu yapısıyla Avrupa Komisyonu, ulusal uzay ajansları ve özel sektörle iş birliği içerisinde çalışarak uzun vadeli stratejik planlar doğrultusunda uydu misyonları yürütmektedir. ESA'nın bu vizyonunu somutlaştıran örneklerden biri olan ve 2025 yılında yayımlanan ESA 2040 Stratejisi, uzayın Avrupa toplumunun her kesimine katkı sunabileceği anlayışıyla gezegenin ve iklimin korunmasını, bilimsel keşiflerin desteklenmesini, Avrupa'nın stratejik özerkliği ile dayanıklılığının güçlendirilmesini, ekonomik büyüme ve rekabet gücünün artırılmasını ve Avrupa vatandaşlarına ilham verecek bir uzay vizyonunun geliştirilmesini hedeflemektedir [114].

ESA, Dünya gözlemine yönelik yürüttüğü kapsamlı programlar aracılığıyla çevresel izleme, iklim değişikliği analizi ve doğal kaynak yönetimi gibi alanlarda stratejik katkılar sunmaktadır. Avrupa Komisyonu ile ortaklaşa yürütölen Copernicus Programı, yeryüzüne ilişkin çevresel ve atmosferik verileri izlemek amacıyla geliştirilen çok sayıda uydudan oluşan Sentinel serisini kapsamaktadır. Sentinel-1 uydusu, SAR kapasitesi ile gece-gündüz koşulların görüntöleme sağlayabilmektedir. Sentinel-2, detaylı optik veriler sağlayarak özellikle tarım, orman ve çevresel izleme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Sentinel-3 deniz yüzeyi sıcaklığı, okyanus renkleri ve kara yüzey sıcaklığı gibi çeşitli değişkenleri izlerken, Sentinel-5P troposferik gaz konsantrasyonlarını ölçerek hava kalitesi takibine katkı sağlamakta, Sentinel-6 ise deniz seviyesi değişimlerini hassas biçimde ölçerek iklim izleme çalışmalarına önemli veriler sunmaktadır. Bu görevlerin devamı olarak 2025 yılında fırlatılması planlanan Sentinel-4 ve Sentinel-5 uydularının, atmosfer bileşenlerini daha hassas bir şekilde izleyerek özellikle hava kirliliği ve sera gazı emisyonlarının tespitinde önemli rol oynaması beklenmektedir. Ayrıca, Copernicus Genişleme Misyonları (Şekil 3.1) kapsamında geliştirilen ve önümüzdeki 15 yıl içinde fırlatılması planlanan CO2M, karasal kaynaklı karbon dioksit emisyonlarını doğrudan ölçerek iklim anlaşmalarında belirtilen emisyon azaltma hedeflerinin izlenmesini sağlayacak; LSTM, yüzey sıcaklığı ölçümleri ile tarımsal su yönetimini destekleyecek; CHIME, hiperspektral

gözlem teknikleriyle doğal kaynak yönetimi ve toprak sağlığı üzerine veriler sağlayacak; ROSE-L ise radar teknikleriyle yüzey hareketleri ve kar-buz dinamikleri hakkında ileri düzey veriler sunacaktır [115].

Şekil 3.1 Copernicus Sentinel Genişleme Misyolları [115]



Diğer yandan, ESA'nın bilimsel temelli Earth Explorers Programı (Şekil 3.2), Dünya sistemlerinin temel bileşenlerini anlamaya yönelik özgün görevler içermektedir. Bu program kapsamında tamamlanan GOCE, yüksek hassasiyetli yerçekimi haritaları üretmek için okyanus akıntılarının daha doğru modellenmesine katkı sağlamıştır. SMOS ise toprak nemi ve okyanus tuzluluğu ölçümleri ile su döngüsünün küresel ölçekte izlenmesine olanak tanımıştır. 2025 yılında fırlatılan ve uzaydaki ilk P-bant radar uydusu olan BIOMASS, uzun dalga boylu sentetik açıklıklı radar sistemi ile küresel ölçekte orman biyokütlesi ve karbon stoklarını izleyerek ormansızlaşma ve iklim değişikliği süreçlerinin daha ayrıntılı ve güvenilir biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. 2029 yılında fırlatılması planlanan Harmony misyonu ise Sentinel-1 uydusuyla birlikte çalışacak şekilde tasarlanmakta olup yüzey deformasyonları, okyanus akıntıları ve buz kütlelerinin dinamiklerini interferometrik radar teknikleriyle üç boyutlu olarak gözlemleyerek jeodinamik süreçlere ilişkin yeni bilimsel bulgular elde edilmesini hedeflemektedir [116].

Şekil 3.2 ESA Earth Explorers Programı [116]



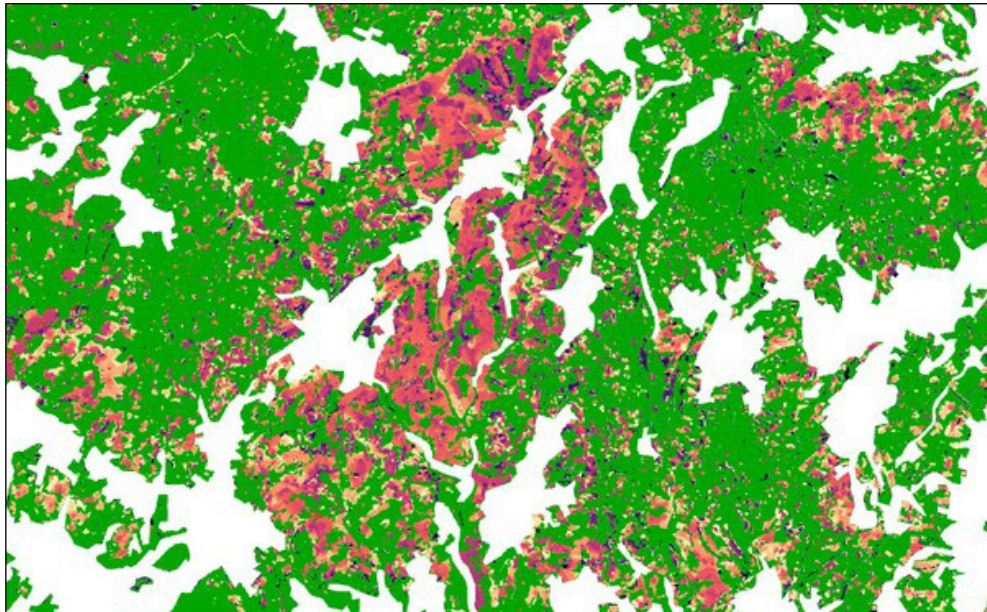
Almanya, Avrupa'nın önde gelen uzay ve uzaktan algılama ülkelerinden biri olarak bu alandaki çalışmalar başta Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (DLR) tarafından yürütülmektedir. Almanya'nın uzay ve uzaktan algılama politikaları 2023 yılında güncellenen Almanya Uzay Stratejisi çerçevesinde şekillenmektedir. Bu strateji kapsamında Avrupa ve uluslararası iş birliklerinin güçlendirilmesi, iklim değişikliği, kaynaklar ve çevre koruma çalışmaları, dijitalleşme ve veri altyapısının geliştirilmesi, güvenlik ve küresel istikrarın desteklenmesi ve sürdürülebilir uzay kullanımı gibi hedefler belirlenmiştir [117].

DLR Almanya'nın uzay araştırmaları, havacılık teknolojileri ve uzaktan algılama alanındaki başlıca yürütücü kurumu olarak bilimsel veri üretimi, uydu görevlerinin planlanması ve uzaktan algılama uygulamalarının geliştirilmesi gibi temel görevleri üstlenmektedir. Kurumun geliştirdiği radar tabanlı TerraSAR-X ve TanDEM-X uyduları yüksek çözünürlüklü yüzey modelleri üretimi ile afet izleme, topografya ve arazi kullanımı analizlerine katkı sunmaktadır. EnMAP misyonu ise hiperspektral görüntüleme kapasitesiyle tarım, toprak sağlığı ve çevresel izleme gibi alanlarda detaylı spektral veri sağlamaktadır. DLR'nin geleceğe dönük planları arasında enerji santralleri gibi kaynaklardan yayılan karbon dioksit emisyonlarını izlenmesini hedefleyen CO2Image (2026) ve L-bant SAR kullanarak yeryüzü

değişimlerini yüksek çözünürlükte gözlemlemek üzere tasarlanan TanDEM-L (2028) gibi ileri teknolojiye sahip uydu misyonları yer almaktadır [117]. Ayrıca Almanya’da uzaktan algılama alanında faaliyet gösteren diğer önemli kurumlar arasında çevresel veri üretimi ve analizinde görev alan Almanya Federal Çevre Ajansı, coğrafi bilgi sistemleri ve mekânsal verilerin koordinasyonunu sağlayan Almanya Federal Kartografya ve Jeodezi Ajansı ile jeofizik temelli uzaktan algılama araştırmaları yürüten Potsdam Yerbilimleri Araştırma Merkezi yer almaktadır.

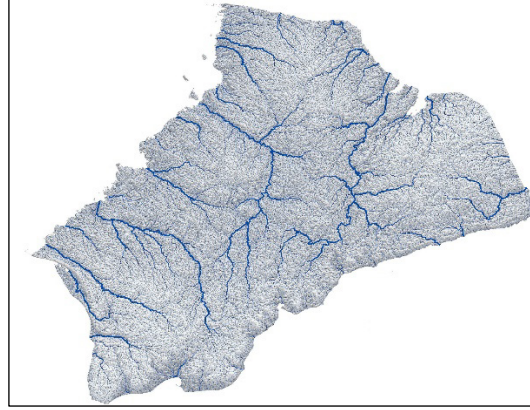
Almanya’da uzaktan algılama verileri, çeşitli kamu kurumları ve araştırma kuruluşları tarafından çok sayıda ulusal ölçekte proje ve programda kullanılmaktadır. DOP10, DOP20 ve DOP40 projeleri, sırasıyla 10 cm, 20 cm ve 40 cm çözünürlükte üretilen ortogörüntüler ile ulusal harita üretimi süreçlerine katkı sunmakta ve bu görüntüler ATKIS kapsamında Almanya’nın resmi topografik-kartografik bilgi sisteminde kullanılmaktadır [118]. Almanya’nın Ulusal Orman Envanteri, Sentinel-2 verilerinden yararlanarak orman alanlarının güncel durumunun izlenmesine olanak tanımaktadır. Ormanlardaki iklim kaynaklı hasarları belirlemeyi hedefleyen ForstEO projesinde (Şekil 3.3) ise Sentinel-2 ve Landsat-8/9 zaman serileri birlikte kullanılmaktadır [119].

Şekil 3.3 ForstEO Projesi 2017-2023 Güney Thuringa'da Orman Örtüsü Kaybı [119]



Almanya, uzaktan algılama verilerinin kullanıldığı kıtasal ve küresel projelerde de yer almaktadır. HydroSHEDS-X projesi (Şekil 3.4), TanDEM-X verilerini kullanarak dünya genelinde nehir ağları, su havzaları ve diğer hidrolojik yapıları yüksek doğrulukla haritalamaktadır. RemoTec projesi, Almanya ve Avrupa genelindeki metan emisyon kaynaklarının tespiti amacıyla geliştirilmiş olup EnMAP uydusunun hiperspektral verilerinden yararlanmaktadır. CUP4SOIL projesi, Sentinel-1 ve Sentinel-2 verilerinden faydalanarak Almanya ve Avrupa genelinde toprak sağlığı/kalitesi haritalarının güncellenmesini hedeflemektedir. Ayrıca Küresel Taşkın İzleme programı, Sentinel-1 ve TerraSAR-X/TanDEM-X verileriyle küresel düzeyde sel ve taşkınların gerçek zamanlı izlenmesini sağlamaktadır [119].

Şekil 3.4 HydroSHEDS-X Projesi Banks Adası Haritası [119]

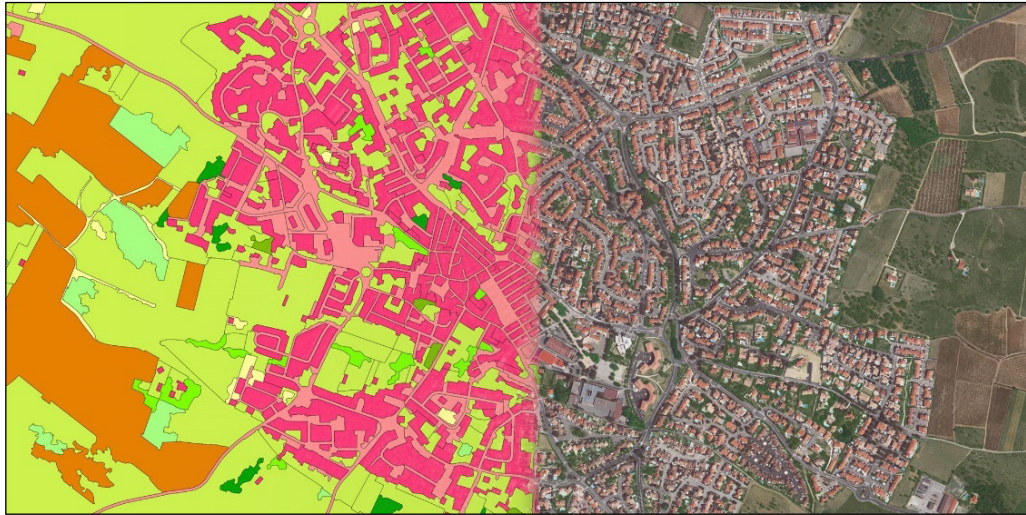


Fransa'da uzaktan algılama alanında çalışmaların koordinasyonunda ve yürütülmesinde merkezi bir role sahip olan Fransız Ulusal Uzay Araştırmaları Merkezi (CNES), hem ulusal düzeyde hem de Avrupa Birliği ve Küresel iş birlikleri çerçevesinde uzaktan algılama faaliyetlerini yürütmektedir. Fransa'nın 2022–2025 dönemi için CNES tarafından belirlenen uzay stratejisi dört temel hedefe dayanmaktadır: uzay sektörünü ekonomik büyüme ve teknolojik gelişimin aracı olarak değerlendirmek, Fransa ve Avrupa'nın stratejik özerkliğini güçlendirmek, bilimsel yetkinliği koruyarak küresel düzeyde etkinliği artırmak ve uzay faaliyetlerinde sürdürülebilirliği esas alan bir yaklaşım benimsemek [120]. CNES'in yanı sıra Ulusal Coğrafya ve Ormanlık Bilgi Enstitüsü (IGN), Ulusal Bilimsel Araştırma Merkezi (CNRS) ve Kalkınma Araştırma Enstitüsü (IRD) gibi kurumlar da uzaktan algılama

uygulamalarının araştırma, veri işleme ve coğrafi bilgi sistemleriyle entegre kullanımında aktif rol oynamaktadır.

Fransa'nın sivil uzay politikalarının yürütülmesinden sorumlu ana kurum olan CNES, SPOT ve Pleiades gibi optik gözlem uydularının işletilmesiyle birlikte SWOT gibi bilimsel uydu misyonlarıyla kara ve su kaynaklarının küresel düzeyde izlenmesine katkı sunmaktadır. Kurumun gelecek planları arasında dört küçük uydudan oluşan CO3D takımıyıldızı ile Dünya'nın 3 boyutlu haritalanması (2025), karbondioksit konsantrasyonlarını ölçmeye yönelik MicroCarb misyonu (2025) ve yüzey sıcaklığı ile buharlaşma süreçlerini gözlemleyecek olan TRISHNA uydusu (2026) yer almaktadır [120]. Diğer yandan IGN kurumu, uzaktan algılama verilerini kullanarak ülke genelinde yüksek çözünürlüklü 3D haritalar üretmeyi amaçlayan LIDAR HD programı, arazi kullanım değişimlerinin takibi için tematik haritalar içeren OSC GE (Büyük Ölçekli Arazi Kullanımı) veri tabanının oluşturulması (Şekil 3.5), dijital ikiz uygulamaları ile ekolojik dönüşümlerin izlenmesi, mülkiyet sınırlarının belirlenmesine yönelik konumsal doğruluk projeleri ve coğrafi veri paylaşımını kolaylaştıran Geoportail gibi çeşitli uygulamalar yürütmektedir [121].

Şekil 3.5 OSC GE Arazi Örtüsü Veritabanı Örnek Görsel [121]

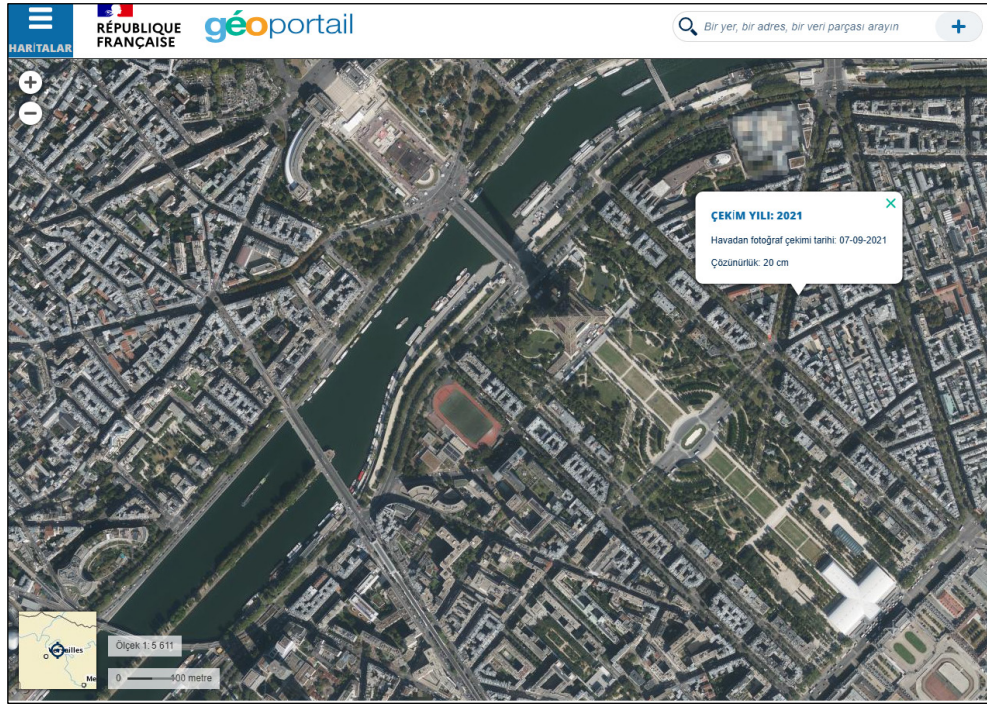


Fransa'nın uzaktan algılama alanındaki veri paylaşımını ve erişimini destekleyen kurumsal organizasyonlar arasında öne çıkan girişimlerden biri DINAMIS (Uydu Görüntülerine Ortak Erişim için Ulusal Kurumsal Yapı)'tir. 2017

yılında CNES, IGN, CNRS ve IRD gibi kamu ve kamu araştırma kurumlarının iş birliğiyle kurulmuş olup çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin kurumsal teminini ve erişimini organize eden ulusal bir yapıdır. Fransa'nın yer gözlemine yönelik ulusal araştırma altyapısı DATA-TERRA'nın bir bileşeni olan DINAMIS Spot 6-7, Pleiades ve Pleiades Neo gibi aktif uydulardan ve SPOT 1-5 gibi tarihsel arşivlerden elde edilen görüntüleri tek bir portal altında birleştirerek kullanıcıların erişimine sunmaktadır. DINAMIS Fransız kamu kurumları, kamu araştırma laboratuvarları, bazı özel sektör Ar-Ge projeleri ve belirli şartlarla uluslararası araştırmacılar tarafından ücretsiz ve üyelik onayıyla erişilebilecek şekilde yapılandırılmıştır [122].

BD ORTHO dijital ortogörüntü veritabanı ile Fransa 20 cm çözünürlükte, renkli ve kızılötesi bantlarda elde edilen görüntülerle her 3-4 yılda bir güncellenerek görselleştirilmekte ve ortogörüntüler Geoportail Ulusal Coğrafi Veri Portalı üzerinden kamuya sunulmaktadır (Şekil 3.6) [123]. Ayrıca elde edilen yüksek çözünürlüklü ortogörüntüler tarımsal parsel sınırlarının belirlenmesi ve doğrulanması amacıyla kullanılan çiftçi beyanlarına dayalı Grafik Parsel Kayıt Sistemi sisteminin güncellenmesinde temel görsel referans olarak kullanılmaktadır [124].

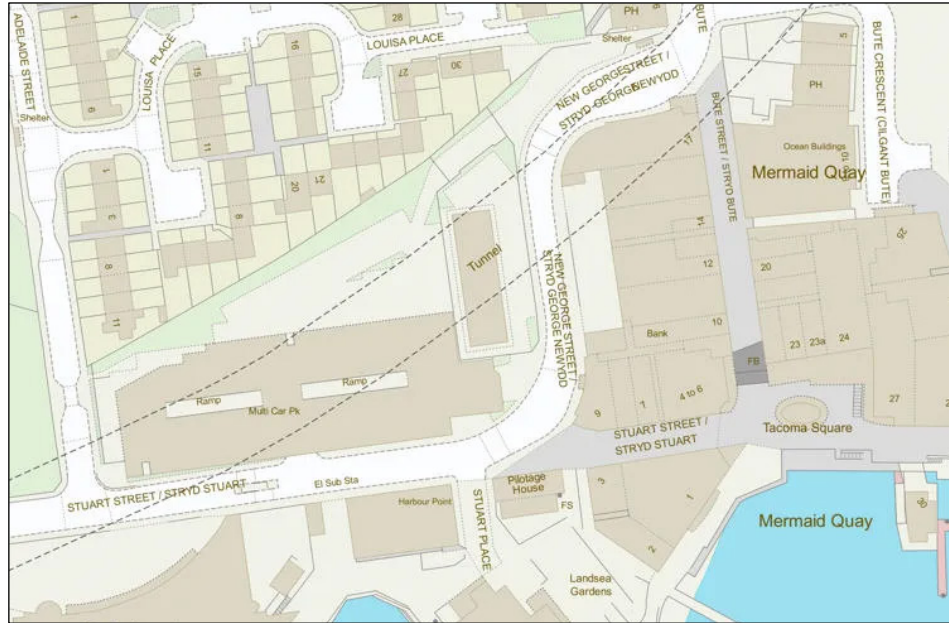
Şekil 3.6 Geoportail Fransa Ulusal Coğrafi Veri Portalı [123]



Birleşik Krallık'ta uzaktan algılama faaliyetlerine Birleşik Krallık Uzay Ajansı (UKSA), Ulusal Haritalama Ajansı (OS), İngiliz Jeoloji Araştırmaları Kurumu (BGS) ve Ulusal Yer Gözlem Merkezi gibi kamu kurumları önemli katkılarda bulunmaktadır. Birleşik Krallık'ın uzay sektörünü yönlendiren ve uzay teknolojilerini geliştiren UKSA, NovaSAR-S uydusunun geliştirilmesine katkı sağlayarak çevresel izleme ve afet yönetimi gibi alanlarda veri sağlamakta ve Fransa ile ortak geliştirilen MicroCarb misyonu ile karbondioksit izleme kapasitesini artırmayı hedeflemektedir. UKSA'nın 2022–2025 stratejik planında yer gözlemine uzun vadeli ve sürdürülebilir erişim sağlanması, alçak yörünge uydularla gerçekleştirilen hizmetlerin geliştirilmesi ve yenilikçi uygulamaların desteklenmesi gibi hedefler öne çıkmaktadır [125].

Harita ve mekânsal veri hizmetlerinden sorumlu olan OS kurumu, MasterMap projesi (Şekil 3.7) ile yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları, LIDAR verileri ve Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak ülke genelindeki binalar, yollar, araziler ve doğal özellikler gibi unsurları yüksek doğrulukla dijital ortamda haritalandırmaktadır [126]. Çevresel değişim ve doğal kaynak yönetimi alanlarında çalışan BGS kurumu, yürüttüğü DiGBcoast projesi ile Landsat-5,8 ve Sentinel-2 uydu görüntülerini kullanarak Birleşik Krallık kıyı şeridi değişimlerini zamansal olarak izlemekte ve değerlendirmektedir [127].

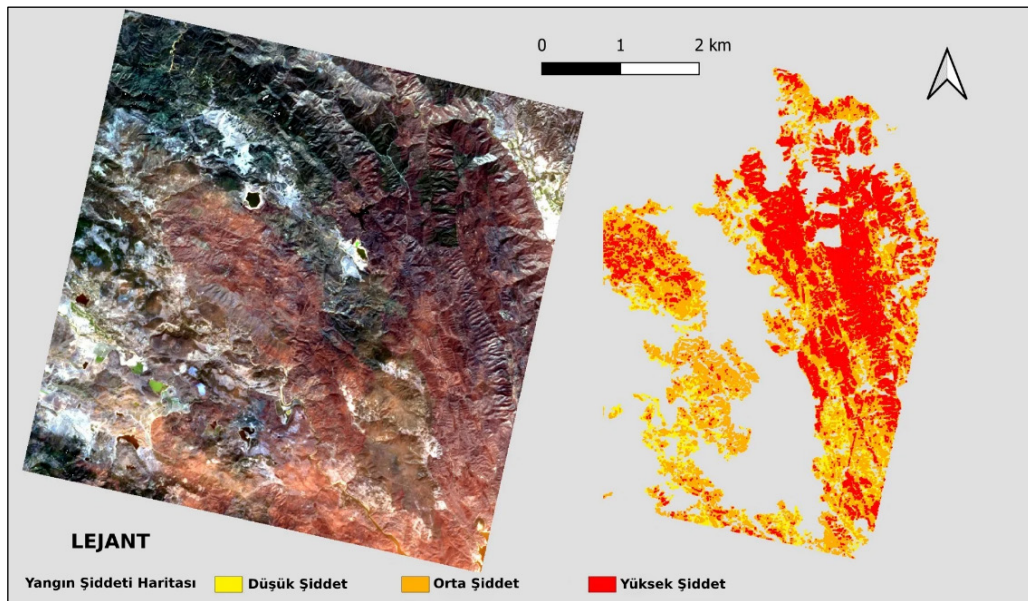
Şekil 3.7 OS MasterMap Topografya Katmanı [126]



Bunların yanı sıra tarımsal ödemelerin denetlenmesi amacıyla yürütülen CROME projesi, Kırsal Ödemeler Ajansı tarafından Sentinel-1,2 ve Planet Fusion optik uydu görüntüleri kullanılarak yıllık olarak İngiltere'nin tarım ürünlerini sınıflandırmaktadır [128]. Birleşik Krallık Ekoloji ve Hidroloji Merkezi tarafından geliştirilen LCM projesi, Büyük Britanya'nın yıllık arazi örtüsünü belirlemek için Landsat ve Sentinel-2 uydu görüntülerini kullanmaktadır [129]. Çevre Ajansı'nın Ulusal LIDAR Programı ise 1 metrelik çözünürlükle İngiltere genelinde taşkın riski modellemesi ve çevresel planlama gibi uygulamalarda kullanılmak üzere LIDAR verisi toplamaktadır [130].

Birleşik Krallık'ta ulusal hava fotoğrafı üretimi kamu-özel iş birliğiyle gerçekleştirilmektedir. APGB (Büyük Britanya için Hava Fotoğrafçılığı) programı kapsamında kamu kurumlarının ihtiyaç duyduğu hava fotoğrafları, özel firmalar tarafından kamu kaynakları ile finanse edilen sözleşmeler aracılığıyla üretilmektedir. 2024 yılı sonu itibariyle başlayan yeni dönemde program kapsamında İngiltere, Galler ve İskoçya genelinde 12,5 cm mekânsal çözünürlükte, kentsel alanlarda ise 5 cm mekânsal çözünürlükte hava fotoğrafları üretilmektedir. Ayrıca program dahilinde 2 m çözünürlüklü sayısal yüzey modelleri, 5 m çözünürlüklü sayısal arazi modelleri ve 50 cm çözünürlüklü renkli kızılötesi görüntüler de üretilerek kullanıma sunulacaktır [131].

Şekil 3.8 PRISMA Uyduyu Ağustos 2020 Kaliforniya Yangını Şiddet Analizi [132]



İtalya'da uzaktan algılama alanında İtalyan Uzay Ajansı (ASI), Askeri Coğrafya Enstitüsü (IGM) ve İtalya Çevre Koruma ve Araştırma Enstitüsü (ISPRA) gibi kamu kurumları faaliyet göstermektedir. ASI öncülüğünde geliştirilen PRISMA ve COSMO-SkyMed uyduları tarım, çevre, afet ve doğal kaynak yönetimi gibi alanlarda küresel düzeyde kullanılmaktadır (Şekil 3.8). PRISMA ve COSMO-SkyMed uydularının görev ömürlerinin sonuna yaklaşımlarıyla birlikte bu sistemlerin sürekliliğini sağlamak amacıyla ikinci nesil uyduların bir kısmı fırlatılmış, diğerlerinin ise önümüzdeki yıllarda fırlatılması planlanmaktadır. Ayrıca içerisinde SAR, pankromatik, multispektral ve hiperspektral sensörler taşıyan 6 takımyıldızından (60'tan fazla uydu) oluşan IRIDE uzay programının 2026 yılında tamamlanması planlanmaktadır [133].

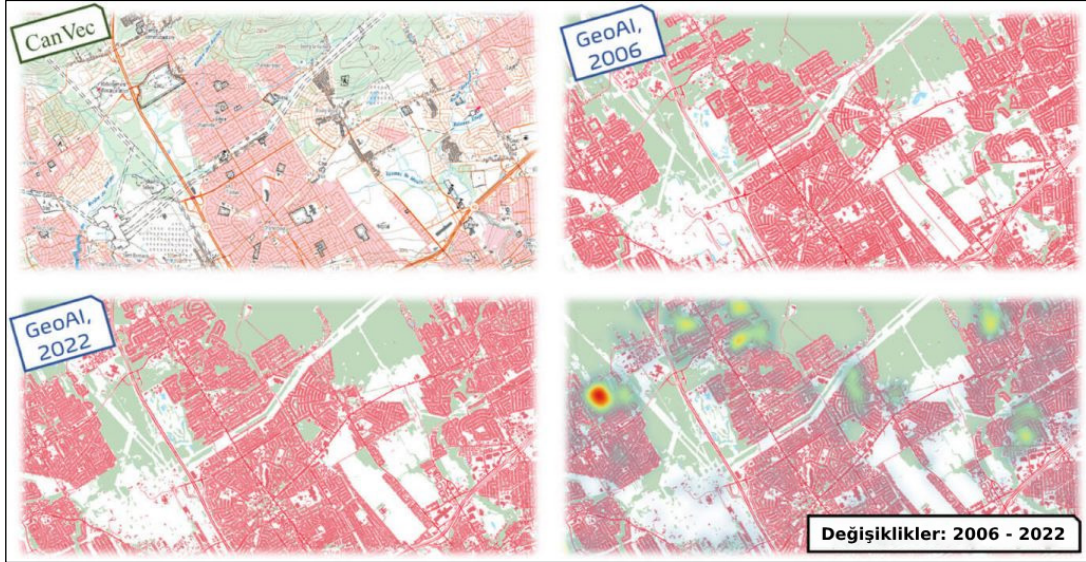
İtalya'nın ulusal düzeyde fotogrametrik veri altyapısını destekleyen IGM kurumu, çeşitli kamu kurumlarıyla yapılan iş birlikleri yoluyla yüksek çözünürlüklü fotogrametrik verilerinin temin edilmesini sağlamaktadır. Çevre alanında bilimsel araştırmalar yürüten ISPRA kurumu, Sentinel-1/2 ile Copernicus Programından elde ettiği diğer verilerle ulusal arazi örtüsü haritaları üretmekte ve MIRIFICUS projesi kapsamında Sentinel-1/2 ile Landsat-8/9 uydu görüntülerini kullanarak ulusal ölçekte kentsel ısı adası analizleri gerçekleştirmektedir [134].

### 3.1.3. Kanada

Kanada'nın geniş coğrafyası, farklı iklim bölgeleri ve çeşitli ekosistemlerine sahip olması uzaktan algılama teknolojilerine olan ihtiyacı artırmıştır. Ülkedeki bilimsel ilerleme, açık veri politikalarının etkin uygulanışı ve kurumsal kapasitenin yıllar içinde istikrarlı şekilde gelişmesi, Kanada'yı uzaktan algılama alanında küresel ölçekte öne çıkan ülkelerden biri haline getirmiştir. 2022 yılında yayımlanan Kanada'nın Uydu Yer Gözlemi Stratejisi belgesinde uydu verilerinin açık ve erişilebilir olmasının sağlanması, uzaktan algılamanın iklim değişikliğiyle mücadele ve toplumsal önceliklerde kullanılması, kamu hizmetlerinin güçlendirilmesi ve yeni nesil uzmanların yetiştirilmesi gibi dört temel stratejik hedef belirlenmiştir [135]. Bu çerçevede, başta Kanada Uzay Ajansı (CSA) olmak üzere Doğal Kaynaklar Bakanlığı (NRCAN), Çevre ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ECCC) ve Tarım ve Gıda Bakanlığı gibi birçok kurum uzaktan algılama ile ilgili çalışmalarda bulunmaktadır.

CSA, uydu tabanlı yer gözlem teknolojilerinin geliştirilmesi ve kullanımında önemli bir rol üstlenmektedir. RADARSAT serisiyle Kanada'nın radar görüntüleme kapasitesini küresel düzeyde tanınır hâle getiren kurum, 1995'te RADARSAT-1, 2007'de RADARSAT-2 ve 2019'da devreye giren üç uydulu RADARSAT Constellation sistemiyle afet yönetimi, deniz güvenliği ve doğal kaynak izleme gibi pek çok alanda önemli veriler sağlamıştır. Bu görevlerin devamı niteliğindeki RADARSAT+ girişimi ise tasarım aşamasındadır. CSA ayrıca, 2029'da fırlatılması planlanan ve yedi mikro uydudan oluşarak Kanada genelinde orman yangınlarını günde iki kez izleme kapasitesine sahip olacak WildFireSat misyonu ile 2031'de fırlatılması hedeflenen iklim ve hava kalitesi izleme uydusu HAWC gibi yeni nesil yer gözlem projeleri üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir [136].

Şekil 3.9 GeoAI Projesi, Quebec Şehri 2006-2022 Yılları Arası Değişimi [137]

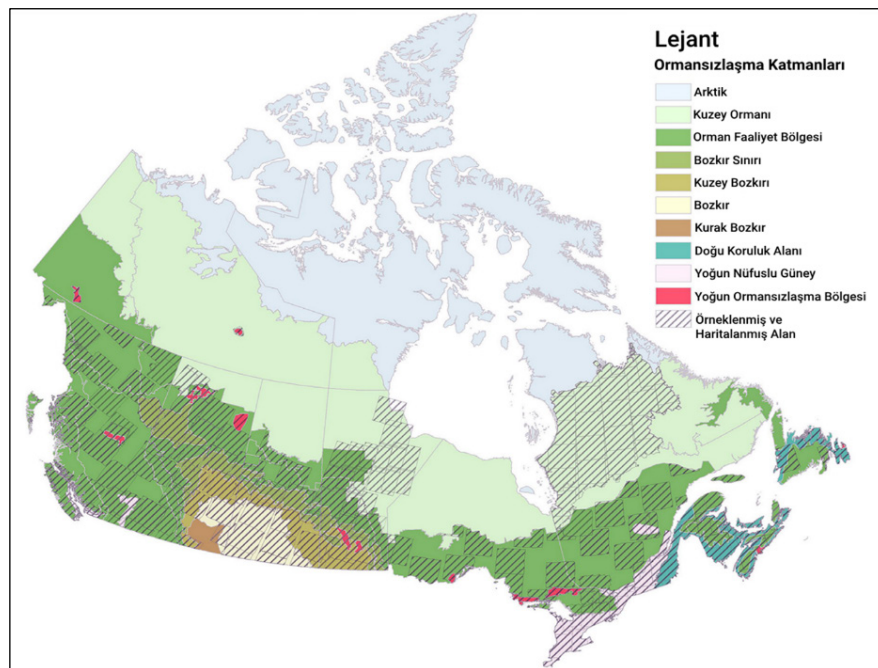


NRCAN'a bağlı Kanada Haritalama ve Yer Gözlem Merkezi (CCMEO), yer gözlem verileri üretimi, standardizasyonu, paylaşımı konularında uzmanlaşmış ve uzaktan algılama, coğrafi analiz, dijital dönüşüm ve mekânsal veri yönetimi alanlarında faaliyet gösteren ulusal bir merkezdir. Bünyesindeki Kanada Uzaktan Algılama Merkezi (CCRS), optik ve radar verilerine dayalı çevresel izleme, arazi örtüsü değişimi ve su kaynakları takibi gibi konularda araştırmalar yürütmektedir. CCMEO'nun yürüttüğü GeoAI projesi kapsamında Sentinel, Landsat, RADARSAT ve yüksek çözünürlüklü ticari uydu görüntüleri ile hava fotoğrafları kullanılarak yol,

bina, su kütlesi ve ormanlık alan gibi coğrafi unsurların yapay zekâ destekli algoritmalarla otomatik olarak çıkarılması sağlanmaktadır. GeoAI ile zaman serisi veriler üretilerek arazi kullanım değişimlerini izleme, kentsel gelişim analizi (Şekil 3.9), afet sonrası hasar tespiti ve yangın sonrası bitki örtüsü kaybının belirlenmesi gibi konularda hızlı ve geniş ölçekli analizler yapılmaktadır [137]. Ayrıca CCMEQ, Kanada'nın coğrafi veri altyapısını destekleyen ve açık erişim sağlayan ulusal veri portalı Geo.ca üzerinden kullanıcılarla çeşitli coğrafi verileri paylaşmaktadır.

CCMEQ, NRCan'ın Ulusal Yükseklik Verisi Stratejisi kapsamında ülke genelinde kapsamlı ve yüksek doğrulukta topografik veri üretimi gerçekleştirmektedir. Geliştirilen Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli, LIDAR ve ICESat altimetre verileri kullanılarak üretilmekte olup 1–2 m çözünürlüğe sahiptir ve 2025 Mart itibarıyla ülkenin büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Diğer yandan 30 m çözünürlüğe sahip Orta Çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli ise LIDAR ve TanDEM-X verileriyle oluşturulmakta ve tüm ülkeyi kapsamaktadır [138]. Elde edilen yükseklik verileri, Sel/Taşkın Tehlikesi Tanımlama ve Haritalama Programı gibi projelerde RADARSAT uydu verileriyle entegre edilerek sel/taşkın haritalama ve risk analizlerinde aktif olarak kullanılmaktadır [139].

Şekil 3.10 Kanada Ulusal Ormansızlaşma İzleme Sistemi 2015 Haritası [140]



CCRS, Sentinel-1 ve RADARSAT uyduları ile InSAR teknolojisini kullanarak altyapı planlaması ve risk değerlendirmesi amacıyla ülkenin kuzey bölgelerinde mevsimsel ve yıllık zemin hareketlerini haritalamakta, Landsat uydu serilerini kullanarak beş yılda bir Kanada genelinde arazi örtüsü haritaları üretmekte ve RADARSAT verileri ile su kapsamı ve kalitesine ilişkin parametreleri analiz etmektedir. NRCAN bünyesindeki Kanada Orman Servisi ise Landsat ve RADARSAT uydu verilerini kullanarak biyoçeşitliliğin mekânsal dağılımını izlemeye yönelik BioSpace projesini yürütmekte, orman sağlığı ve değişimini değerlendirmek amacıyla “Ulusal Ormansızlaşma İzleme Sistemi” projesiyle orman alanlarını düzenli olarak izlemektedir (Şekil 3.10) [140].

#### 3.1.4. Çin

Çin Halk Cumhuriyeti, 21. yüzyılda uzaktan algılama yeteneklerinde dikkate değer bir hızla ilerleme kaydetmiştir. ABD-Çin Ekonomik ve Güvenlik Değerlendirme Komisyonu (USCC) tarafından Aralık 2024'te yayınlanan Çin'in Uzaktan Algılaması başlıklı rapor, Çin'in uzaktan algılama teknolojilerindeki kayda değer gelişimini ele alarak bu durumun küresel rekabet dinamikleri açısından önemini değerlendirmektedir. USCC raporu, Çin'in multispektral, hiperspektral ve radar görüntüleme sensörleri, uydu konumlandırma ve navigasyon gibi çeşitli uzaktan algılama teknolojisi alanlarında kapasite ve araştırma geliştirme faaliyetleri açısından öne çıkan konumda olduğunu kaydetmektedir [141].

Çin, uzaktan algılama teknolojilerini ekonomik kalkınma, ulusal güvenlik, çevresel izleme ve bilimsel araştırma gibi geniş yelpazede kritik bir araç olarak görmektedir. 2021-2025 yıllarını kapsayan 14. Beş Yıllık Planı'nda çöller, otlaklar, sulak alanlar, göller ve nehirler, ormanlar, ekilebilir araziler gibi kritik ekolojik kesimlerde uzaktan algılama izleme ve acil müdahale yeteneklerinin güçlendirilmesi çağrısında bulunmaktadır [142]. 2023 Dijital Çin belgesi kentsel planlama, enerji sektörü, akıllı şehir gelişimi, kırsal canlandırma ve doğal kaynak yönetimini desteklemek için uzaktan algılama verilerinin kullanımını savunmaktadır [141].

Çin Ulusal Uzay İdaresi (CNSA), ülkenin uzay programlarını yürüten ve yer gözlem uydularının geliştirilmesi, fırlatılması ve işletilmesinden sorumlu başlıca

kurumlardan biridir. CNSA ve Çin Havacılık Bilim ve Teknoloji Şirketi (CASC) tarafından geliştirilen ve multispektral, hiperspektral ile radar sensörlerle donatılmış 30'dan fazla uydudan oluşan Gaofen serisi, Çin'in yer gözlem kapasitesinin temelini oluşturmakta olup önümüzdeki yıllarda yeni uydularla genişletilmesi planlanmaktadır [141]. 2022-2023 yıllarında fırlatılan Ludi-Tance uyduları L-band SAR teknolojisiyle afet yönetimi, arazi haritalama ve ormancılık gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu seride yer alan Ludi-Tance 4, yer sabit yörüngede görev yaparak yaklaşık 20 m çözünürlük sunan dünyanın ilk SAR uydusudur. Çin'in uzay araştırmaları ve uydu sistemleri alanında faaliyet gösteren bir diğer önemli kuruluş olan Çin Havacılık Bilimi ve Sanayi Kurumu ise 2030 yılına kadar herhangi bir bölgeyi 15 dakika içinde gözlemleyebilecek 300 uyduluk bir ağ kurmayı planlamaktadır [143].

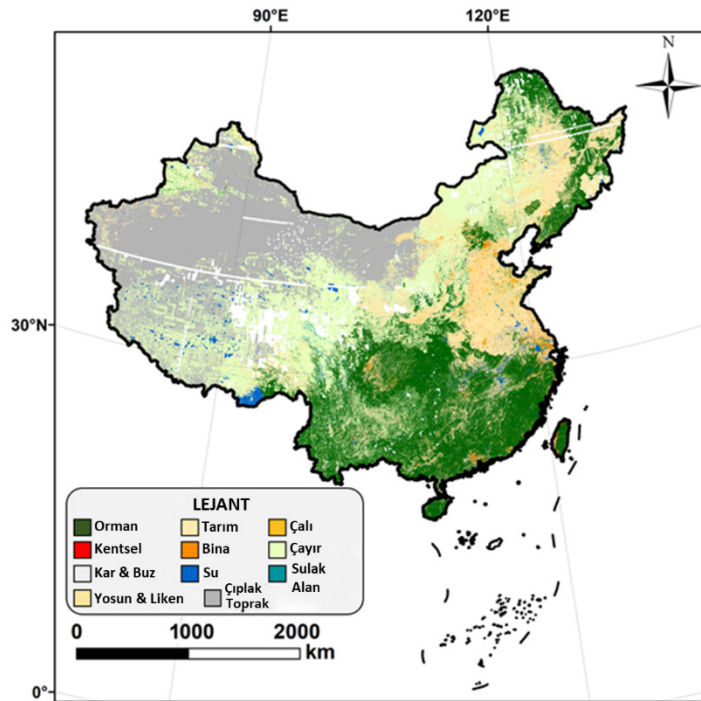
Bilim ve Teknoloji Bakanlığı'na bağlı Ulusal Uzaktan Algılama Merkezi, Çin'in uzaktan algılama alanındaki uluslararası iş birliklerini koordine eden ve ulusal bilimsel-teknoloji planlarını yürüten kuruluştur. Çin Bilimler Akademisi (CAS), Çin'in önde gelen ulusal bilimsel araştırma kurumudur ve uzaktan algılama teknolojilerinin geliştirilmesinde merkezi bir rol oynar. Çin Doğal Kaynaklar Bakanlığı (MNR), uzaktan algılamanın ekolojik izleme, toprak ve su yönetimi ile akıllı şehir uygulamalarındaki öneminden dolayı bu alandaki faaliyetleri teşvik etmekte, düzenlemekte ve yönetmektedir. Örneğin MNR 2019 yılında yayımladığı Akıllı Şehir Uzamsal-Zamansal Büyük Veri Platformlarının İnşasına Yönelik Teknik Taslak kılavuzuyla uzaktan algılama önceliklerini belirlemiştir [141].

Şekil 3.11 Anxi Tieganyin-2 Uydusu Mayıs 2022 Çay Bahçeleri Görüntüsü [144]



Çin'de uzaktan algılama verilerinin kullanımı tarım, ormancılık, çevre ve afet yönetimi gibi alanlarda dikkat çekmektedir. CAS tarafından geliştirilen CropWatch sistemi Gaofen, Sentinel, Landsat ve MODIS gibi uydu verileri ile sıcaklık ve bitki sağlığı indeksleri gibi göstergelerle tarımsal üretimi izlemeyi amaçlamaktadır [145]. Bir diğer örnek olarak coğrafi işaretli ürünlerden biri olan Tieguanyin çayının yetiştirildiği Anxi bölgesinde, 50 cm çözünürlüğe sahip Anxi Tieguanyin-1/2 uyduları ile çay bitkisinin büyümesi, hastalık ve zararlı takibi gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.11) [144].

Şekil 3.12 SinoLC-1 Projesi, Çin Arazi Örtüsü Haritası [146]



Arazi örtüsü haritalama çalışmaları kapsamında 2023 yılında tamamlanan SinoLC-1 projesi, ülke geneline kapsayan ilk 1 metre mekânsal çözünürlüklü arazi örtüsü haritasıdır (Şekil 3.12). Google Earth'te sunulan CNES, Airbus ve Maxar uydularına ait açık erişimli görüntüler ile derin öğrenme algoritmalarının entegrasyonu sonucu geliştirilen SinoLC-1, farklı arazi örtüsü türlerini detaylıca sınıflandırmaktadır. Ayrıca 1985–günümüz dönemini kapsayan 30 m çözünürlüklü Landsat tabanlı arazi örtüsü veri seti, değişimlerin yıllık olarak izlenmesine olanak sağlayarak uzun dönemli çevresel eğilimlerin belirlenmesine katkı sunmaktadır [146].

Orman ve kıyı ekosistemlerinin izlenmesine yönelik olarak CAS tarafından Gaofen uydu serisi kullanılmaktadır [147]. Karbon yutak alanı olarak ekolojik açıdan kritik öneme sahip mangrov ekosistemlerinin haritalanması ve izlenmesi, özellikle Gaofen-1 ve Ziyuan-3 gibi yüksek mekânsal çözünürlüklü optik uydularla gerçekleştirilmektedir [148]. Ayrıca kuzeydoğu Çin'deki verimli kara toprakların korunması ve sürdürülebilir yönetimi amacıyla Landsat-8 uydu verilerine ek olarak LIDAR, hiperspektral görüntüler ve insansız hava araçlarından elde edilen verilerle toprak sağlığı, verimlilik düzeyi ve erozyon riskleri CAS tarafından analiz edilmektedir [149]. Çevre Koruma Bakanlığı tarafından yürütülen Ekolojik Koruma Kırmızı Çizgisi programı ekolojik açıdan hassas alanların sınırlandırılarak korunmasını amaçlamakta olup yine Gaofen ve Ziyuan serisi uydular gibi yüksek çözünürlüklü optik uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları da kullanılmaktadır [150].

Çin, gelişmiş optik ve radar uydu sistemleri aracılığıyla uzaktan algılama teknolojilerini hem ulusal hem de küresel ölçekte afet yönetiminde hızlı izleme ve müdahale amaçlarıyla kullanmaktadır. Bu kapsamda 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye'de meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremlerin ardından, afet bölgesindeki yıkımın belirlenmesi ve yardım faaliyetlerinin koordinasyonu amacıyla Ludi-Tance, Gaofen-1, Gaofen-2, Gaofen-3, Gaojing-1 04, SDGSAT-1, Yangwang-1 ve QMX-1 gibi uydular afet bölgesinde veri toplaması için görevlendirilmiştir [151].

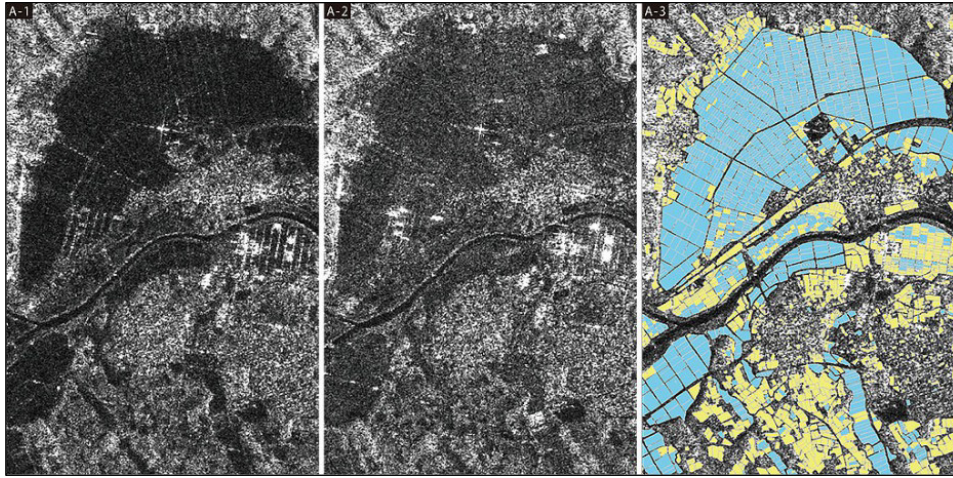
### 3.1.5. Japonya

Japonya, uzaktan algılama teknolojileri ve uydu geliştirme alanında Asya'nın önde gelen ülkelerinden biridir. 2020'de yayımlanan 10 yıllık Uzay Politikası Temel Planı ile uzaktan algılamayı afet yönetimi, altyapı izleme ve küresel sorunlara çözüm için stratejik bir araç olarak benimsemiştir. Bu kapsamda ileri uydu sistemleri geliştirerek sanayi, bilim ve insan kaynağını güçlendirmeyi, aynı zamanda uluslararası iş birlikleriyle küresel standartların oluşumuna katkı sağlamayı amaçlamaktadır [152]. Japonya'da uzay programını yöneten Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA), veri işleme ve uygulama geliştirmeye odaklanan Japonya Uzaktan Algılama Teknolojisi Merkezi (RESTEC), arazi ölçümü ve haritalama faaliyetlerini yürüten Japonya Uzamsal Bilgi Kurumu, Çevre Bakanlığı ile Tarım, Ormancılık ve Balıkçılık Bakanlığı uzaktan algılama alanında önemli roller üstlenmektedir.

Japonya'nın uzay ajansı JAXA tarafından geliştirilen ALOS uydu serisi, ülkenin uzaktan algılama kapasitesini güçlendirmektedir. 2006'da fırlatılan ALOS-1 optik ve L-band SAR verileriyle 5 yıl boyunca kullanılmış, 2014'te fırlatılan ALOS-2 L-band SAR sensörü ile deformasyon analizi, tarımsal izleme, orman değişimi ve afet yönetimi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. ALOS-3, optik sensör taşıyan bir uydu olarak 2023'te fırlatılmış ancak görevinde başarısız olmuştur. Serinin devamı olarak 2024'te fırlatılan ALOS-4 ise L-band SAR kabiliyetlerini daha da geliştirerek daha yüksek doğruluk ve kapsama sağlamayı hedeflemektedir. JAXA uydu yönetimini yanı sıra Landsat-8, Sentinel-2 ve ALOS uydularından elde edilen verileri kullanarak ulusal düzeyde 1-2 yılda bir güncellenen ve 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip, güneş panelleri ile bambu ormanları gibi son yıllarda hızla yayılan unsurların da yer aldığı 15 kategoriden oluşan Yüksek Çözünürlüklü Arazi Örtüsü Sınıflandırma Haritaları üretilmesi gibi çalışmalar yürütmektedir [153].

Şekil 3.13 Pirinç Tarlalarının Mevsimsel Analizlerle Haritalanması [154]

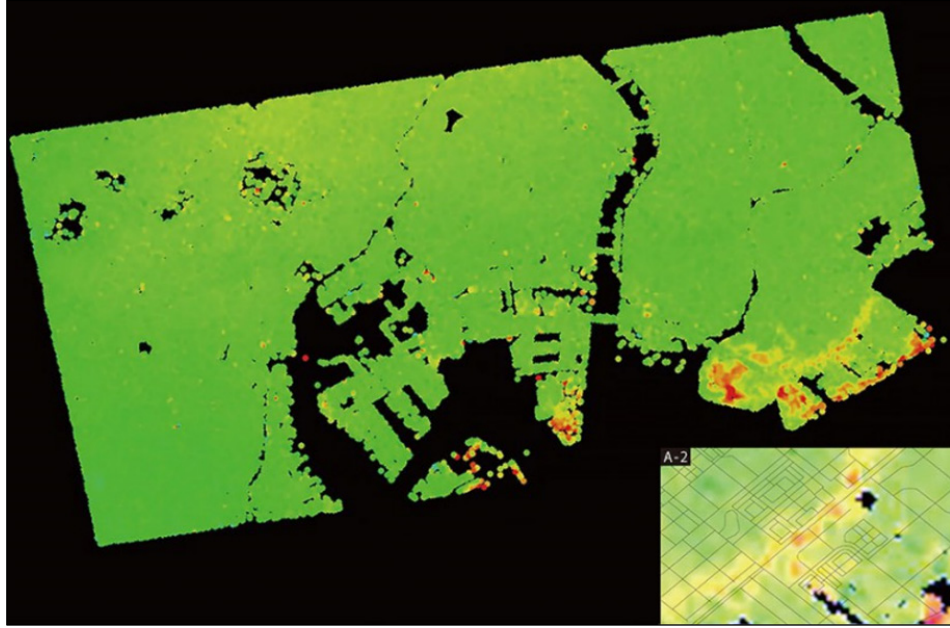
(Mavi: Pirinç, Sarı: Diğer bitkiler)



RESTEC, uzaktan algılama teknolojileri alanında araştırma, veri hizmetleri ve uluslararası iş birlikleri yürüten, Japonya'da kamu yararına faaliyet gösteren bir kurumdur. RESTEC, ALOS uydu verilerini kullanarak tarımsal alanların izlenmesi ve mahsul tahmini çalışmaları yürütmektedir. Özellikle yağış miktarına bağlı olarak büyük değişiklik gösteren pirinç tarlalarının yüzey alanını belirlemek amacıyla SAR teknolojisinden yararlanmaktadır (Şekil 3.13). Bunun yanı sıra RESTEC, AW3D projesi kapsamında ALOS ve Maxar uydularından elde edilen verileri işleyerek dünya genelinde yüksek çözünürlüklü 3D arazi ve bina verileri sunmaktadır [154].

RESTEC, sel ve taşkın izleme çalışmalarında ALOS uydu görüntülerini kullanmaktadır. Diğer yandan Japonya'nın günümüzde yaklaşık 50 yaşına ulaşan yollar gibi sosyal altyapıların olası büyük depremlerde risk oluşturabileceği öngörülmektedir. Bu kapsamda Tokyo Körfezi çevresindeki alanlar gibi riskli bölgelerde meydana gelen arazi deformasyonları RESTEC tarafından ALOS uydu verileriyle tespit edilerek izlenmektedir (Şekil 3.14) [154].

Şekil 3.14 Tokyo Körfezi Yıllık Arazi Deformasyonu (Kırmızı: 2,5 cm/yıl) [154]



### 3.1.6. Güney Kore

Asya'nın önde gelen uzay ve uzaktan algılama ülkelerinden biri olan Güney Kore'de bu alanda başta Kore Havacılık ve Uzay İdaresi (KASA), Kore Uzay Araştırmaları Enstitüsü (KARI), Arazi, Altyapı ve Ulaşım Bakanlığı (MOLIT), Çevre Bakanlığı ve Ulusal Afet Yönetimi Araştırma Enstitüsü (NDMI) aktif rol oynamaktadır. Havacılık ve uzayla ilgili politikaların oluşturulması ve koordinasyonu faaliyetlerinden sorumlu olan KASA, 2025 yılında yayımladığı strateji planında uzaktan algılama alanında toplumsal ihtiyaçlara yönelik görev odaklı uydular geliştirerek sürdürülebilir bir uydu ekosistemi oluşturmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda önümüzdeki 10 yılda coğrafi bilgi ve afet yönetimi ihtiyaçlarını karşılamak üzere 10 cm çözünürlüklü optik ve SAR uyduları geliştirmeyi hedeflemektedir [155].

Uzay ve uydu teknolojilerinin geliştirilmesinden sorumlu KARI tarafından geliştirilen KOMPSAT uyduları, ülkede uzaktan algılama teknolojilerinde önemli ilerleme sağlamıştır. KOMPSAT serisinin günümüzde faal olan uyduları KOMPSAT-3 ve KOMPSAT-3A, yüksek çözünürlüklü optik görüntüleme sağlarken, KOMPSAT-5 uydusu ise, X-bant SAR sensörüyle gece-gündüz gözlem yeteneği sunmaktadır. Serinin devamı olarak gelişmiş SAR özelliklerine sahip KOMPSAT-6 uydusunun 2025 yılında, optik gözlem kapasitesi artırılmış KOMPSAT-7 ve KOMPSAT-7A uydularının 2025 sonu ile 2026 başında fırlatılması planlanmaktadır [156].

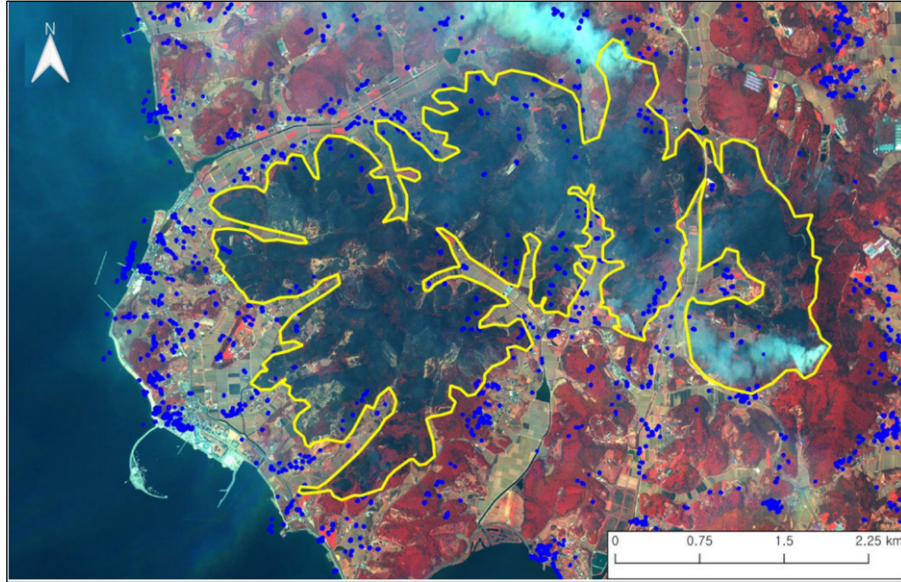
Güney Kore, uzaktan algılama kapasitesini artırmak ve artan kamu uydu görüntüsü ihtiyacını karşılamak amacıyla Tarımsal Uydu Merkezi, Ulusal Orman Uydu Bilgi Teknolojileri Merkezi ve Su Kaynakları Uydu Merkezi gibi birimleri ilgili idareler bünyesinde kurmuştur. Bu yapılanmaları desteklemek amacıyla KARI tarafından başlatılan Yeni Nesil Orta Boyutlu Uydu Programı kapsamında beş yeni nesil orta boyutlu uydu geliştirilmektedir. 1. Uydu, 50 cm çözünürlüklü optik sensöre sahip olup 2021 yılında fırlatılmış ve arazi-kaynak yönetimi amacıyla MOLIT'e tahsis edilmiştir. Aynı amaca sahip 2. Uydu da 2025'te fırlatılacaktır. 3. Uydu, 2025 yılında fırlatılarak Bilim ve Teknoloji Bakanlığı tarafından uzay bilimsel araştırmaları için kullanılacaktır. 4. Uydu, 5 m çözünürlük ve RE ile NIR bantlarına sahip olup 2025'te fırlatılarak tarım ve orman izleme amacıyla Kırsal Kalkınma ve Ormancılık idarelerine hizmet verecektir. C-Bant SAR sensörüne sahip 5. Uydu ise 2027'te fırlatılarak Çevre Bakanlığı tarafından su kaynakları izleme ile afet yönetiminde kullanılacaktır [156].

Şekil 3.15 Güney Kore Ulusal Arazi Örtüsü Haritası Örnek Görüntüsü [157]



Güney Kore'de ulusal hava fotoğrafı ve ortogörüntü üretimi, MOLIT'e bağlı Ulusal Coğrafi Bilgi Enstitüsü (NGII) tarafından gerçekleştirilmektedir. NGII, 25 cm çözünürlüğe sahip ulusal düzeyde bir hava fotoğrafı veritabanı oluşturmaktadır [158]. Kore Çevre Bakanlığı, KOMPSAT uyduları ve hava fotoğraflarını kullanarak her yıl 1 m mekânsal çözünürlüğe sahip 41 arazi örtüsü kategorisini içeren Ulusal Arazi Örtüsü Haritası üretmekte ve arazi örtüsü haritalarını Çevresel Coğrafi Bilgi Sistemi platformu aracılığıyla kamuoyunun erişimine sunmaktadır (Şekil 3.15) [157]. Ayrıca Kore Orman Servisi tarafından KOMPSAT uyduları ve LIDAR teknolojisi orman haritalanması, orman sağlığının izlenmesi ve karbon biyokütle haritalarının oluşturulması gibi çalışmalarda kullanılmaktadır [159].

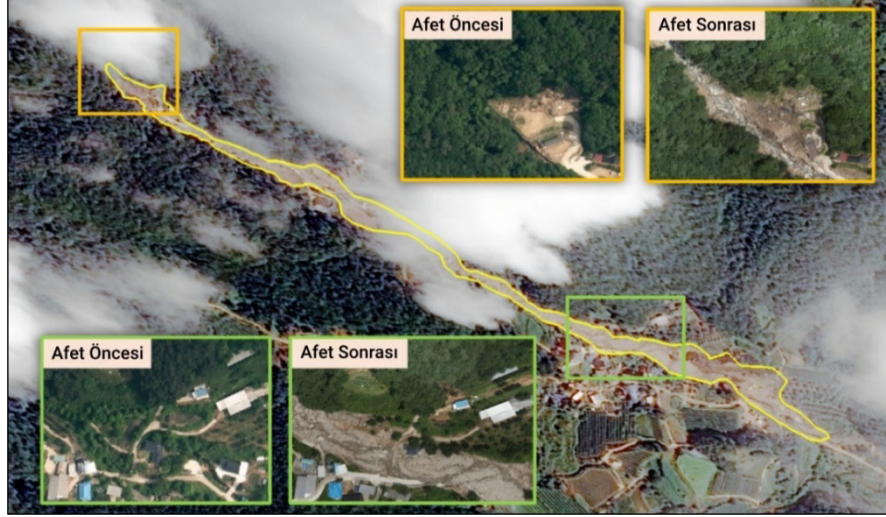
Şekil 3.16 2023 Yılı Hongseong-gun Orman Yangını Analizi [160]



NDMI Ulusal Afet Yönetim Sistemi kapsamında orman yangınları, sel, heyelan ve deprem gibi doğal afetlere yönelik risk analizi ve hızlı müdahale amacıyla uzaktan algılama verilerinden yararlanılmaktadır. Örneğin 2023 yılında Hongseong-gun'da meydana gelen orman yangınına ilişkin olarak olayın gerçekleştiği gün içinde KOMPSAT-3A uydusundan elde edilen görüntülerle hasar tespiti yapılmış ve etkilenen bölgeye yakın konutlara dair bilgilerle entegre edilerek detaylı analiz gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16). Yangın çalışmalarında KOMPSAT uydularının yanı sıra Sentinel, Landsat ve MODIS verileri de kullanılmaktadır. Heyelan gibi olaylarda ise çok kaynaklı verilerden yararlanılmaktadır. Örneğin 2023 yılında Yecheon-gun'da

yaşanan heyelan olaylarında Pleiades uydu görüntüleri, Ulusal Hava Fotoğrafi Programı kapsamında üretilen veriler ve olay sonrası çekilen 2 cm çözünürlüklü görüntüler kullanılarak hasar analizi yapılmıştır (Şekil 3.17) [160].

Şekil 3.17 Heyelandan Etkilenen Alanın Tahmini, 2023 yılı, Yecheon-gun [160]



### 3.1.7. Uluslararası İş Birliği Platformları ve Girişimler

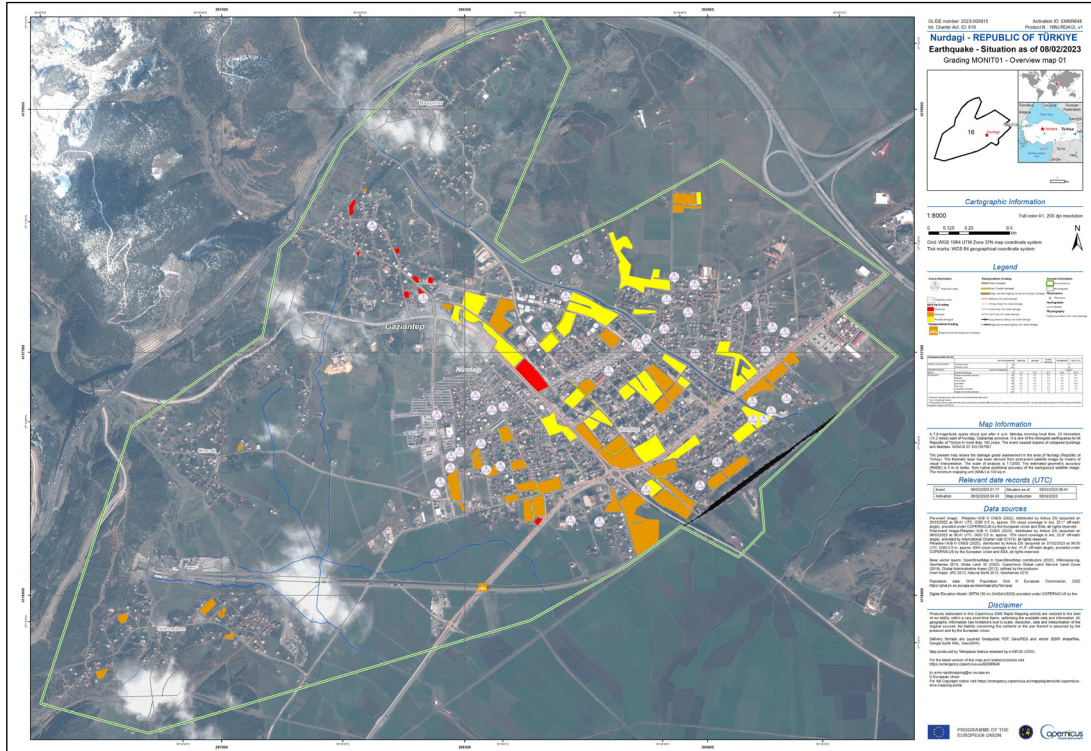
Uzaktan algılama faaliyetlerinin etkinliği artırmak ve afet, çevre, sürdürülebilir kalkınma gibi küresel sorunlara çözüm geliştirmek amacıyla birçok uluslararası iş birliği platformu oluşturulmuştur. Uluslararası iş birliği platformları ülkeler arası veri paylaşımını teşvik etmekte ve ortak politika üretimini kolaylaştırmaktadır. Küresel Yer Gözlem Grubu (GEO – Group on Earth Observations), bu bağlamda oluşturulmuş en önemli organizasyonlardan biridir.

GEO, dünya üzerindeki karmaşık süreçleri daha iyi anlayabilmek amacıyla kurulmuş olan ülkeler arası iş birliği platformudur. 2005 yılında kurulan GEO, 100'den fazla ülke ile 100'ün üzerinde kuruluşun katılımıyla faaliyet göstermektedir. GEO'nun temel amacı kapsayıcı ve kullanıcı odaklı çözümler geliştirerek dünyaya ilişkin kararların koordineli, bütüncül ve sürdürülebilir bilgiye dayanmasını sağlamaktır. Uydu görüntüleri, okyanus sıcaklıkları gibi önemli verilerin paylaşımıyla gezegenin mevcut durumu hakkında kapsamlı bir değerlendirme yapılmasına yardımcı olur. Devlet kurumları, akademi, özel sektör ve sivil toplum kuruluşları arasındaki iş birliklerini teşvik eden GEO, veri paylaşımını teknik bir süreç olmasının yanı sıra

toplumsal dönüşümün bir aracı olarak görmektedir. Türkiye’de TUBİTAK, GEO’nun faaliyetlerine katılım sağlayan üye kurumlar arasında yer almaktadır [161].

Uluslararası Uzay ve Büyük Afetler İş Birliği (İng. *The International Charter: Space and Major Disasters*), dünya genelinde gerçekleşen büyük afetler ardından hayat kurtarma, altyapı koruma ve çevresel zararların azaltılması amacıyla uydu verileri sağlayan uluslararası bir iş birliği platformudur. Afet yönetiminden sorumlu yetkili kurumlar sisteme ücretsiz olarak başvuru yapabilmekte, sonrasında afet bölgesine ait uydu görüntüleri kısa sürede temin edilmekte, uzmanlar tarafından analiz edilmekte ve harita ürünleri oluşturularak kurumlarla paylaşılmaktadır. Bu kapsamda Türkiye’de AFAD, platforma yetkili kullanıcı olarak kayıtlıdır ve gerektiğinde sistem üzerinden yardım talebi oluşturabilmektedir. Platform kapsamında, 17 kurum tarafından işletilen 270 uyduya ait veriler kullanıma sunulmaktadır. Örneğin 2023 yılında Kahramanmaraş Merkezli depremin ardından çok sayıda uydu görüntüsü ile birlikte bina hasar analizleri üretilmiş ve paylaşılmıştır [162]. Şekil 3.18’de Pleiades uydu görüntüleri kullanılarak hazırlanan ve platform üzerinden yayımlanan Gaziantep ili Nurdağı ilçesini kapsayan deprem hasar haritası örneği yer almaktadır.

Şekil 3.18 International Charter Kapsamında Üretilmiş Deprem Hasar Haritası [162]



Copernicus Acil Durum Yönetim Servisi (CEMS, İng. *Copernicus Emergency Management Service*), Avrupa Birliği tarafından afet müdahale ve risk yöntemi süreçlerini desteklemek üzere geliştirilen bir uzaktan algılama hizmetidir. CEMS; erken uyarı ve izleme, talep üzerine haritalama ve etkilenebilirlik haritası olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Erken uyarı ve izleme bileşeni kuraklık, sel ve orman yangınları gibi afet türlerinin sürekli izlenmesi ve önceden tahmin edilmesini sağlayarak kurumlara zamanında müdahale fırsatı sunar. Talep üzerine haritalama bileşeni yetkili kullanıcıların başvurusu ile afet öncesi risk değerlendirmesi, afet sırasında hasar tespiti ve sonrasında iyileştirme çalışmalarına destek amacıyla yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerine dayalı haritalar üretir. Etkilenebilirlik haritalaması bileşeni ise afet riski altındaki nüfus, yerleşim ve yapı verileri sunar [163]. Türkiye’de AFAD, afet yönetimi süreçlerinde CEMS hizmetlerinden faydalanabilmektedir.

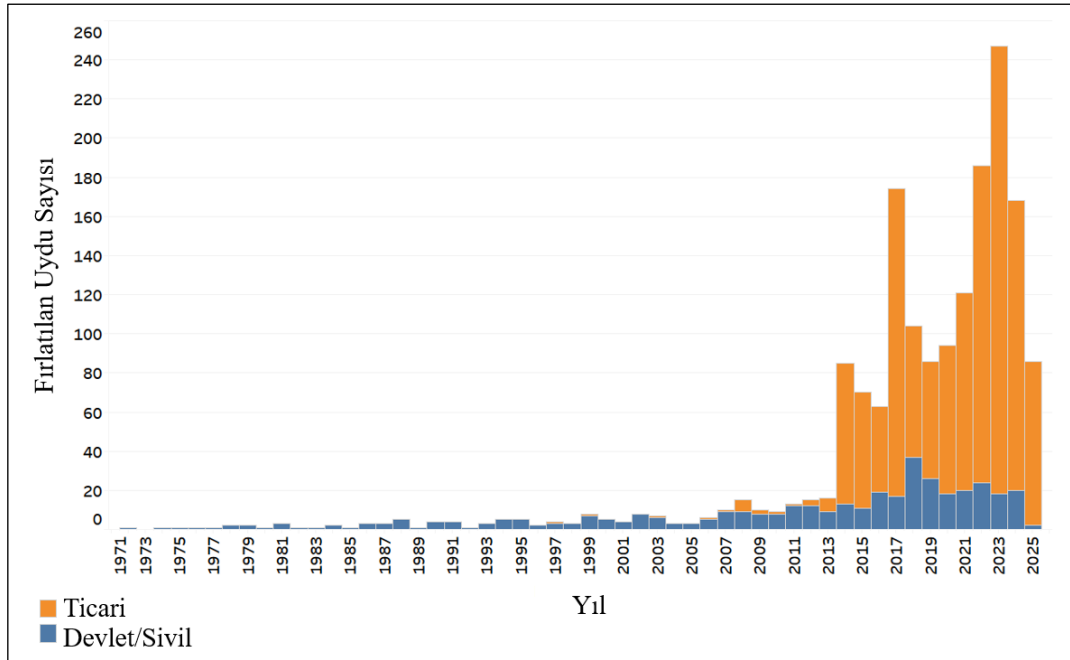
Birleşmiş Milletler Afet Yönetimi ve Olağanüstü Hallerde Müdahale Amaçlı Uzay Kaynaklı Bilgi Platformu (UN-SPIDER), afet yöntemi döngüsünde uzaya dayalı teknolojilerin kullanımını teşvik eden küresel bir platformdur. Gelişmekte olan ülkelerin afet risklerini azaltma ve acil müdahale süreçlerinde uzaktan algılama, uydu haberleşmesi ve küresel konumlama sistemleri gibi teknolojilere olan sınırlı erişimini gidermek temel hedeflerindedir. Platformun çevrim içi bilgi portalı aracılığıyla uzay teknolojileri konusunda kapsamlı kaynaklar sunulmakta, ülkelere teknik danışmanlık sağlanmakta ve afet yönetimi kurumlarına eğitim düzenlenmektedir. Birleşmiş Milletler Küresel Coğrafi Bilgi Yönetimi Uzmanlar Komitesi (UN-GGIM) girişimi ise mekânsal bilgi yönetimini küresel ölçekte politika düzeyinde ele alarak veri paylaşımı ve entegrasyonunu kolaylaştırmayı hedeflemektedir. Gelişmekte olan ülkelere yönelik modeller, uygulamalar ve politika önerileri geliştiren UN-GGIM, uzaktan algılama altyapısının sürdürülebilir gelişimini destekleyen önemli bir yapı konumundadır [164].

Yer Gözlemi Uyduları Komitesi (CEOS – Committee on Earth Observation Satellites), uydu gözlem verilerinin küresel iş birlikleriyle daha etkin, koordineli ve kullanıcı ihtiyaçlarına uygun şekilde sunulmasını amaçlamaktadır. CEOS afet yönetimi, kaynak planlaması, gıda güvenliği gibi birçok sorunun çözümüne katkı sağlayan çalışmalar yürütmektedir. 60’tan fazla üye kurum ile faaliyetlerini sürdüren CEOS, Türkiye’de TÜBİTAK UZAY ile iş birliği gerçekleştirmektedir [165].

### 3.2. Optik ve SAR Uydu Sistemleri: Teknik Özellikler ve Güncel Durum

Yer gözlem uyduları yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükte, çok bantlı veriler sunarak uzaktan algılama uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Farklı çözünürlük seviyeleri, bant sayıları ve görüntüleme modlarına sahip uydular çevre izleme, tarım, ormancılık, afet yönetimi ve kentsel planlama gibi birçok uygulama için önemli bir veri kaynağıdır. 2010'lu yıllardan itibaren küçük uydu teknolojilerinin yaygınlaşması, üretim ve fırlatma maliyetlerinin azalması ile uydu verilerine olan talebin artması sonucunda yer gözlem uydularının sayısında belirgin bir yükseliş yaşanmıştır. 1971'den 2025 Nisan ayına kadar fırlatılan ticari ve devlet/sivil yer gözlem uydularının yıllık dağılımı ise Şekil 3.19'da sunulmaktadır.

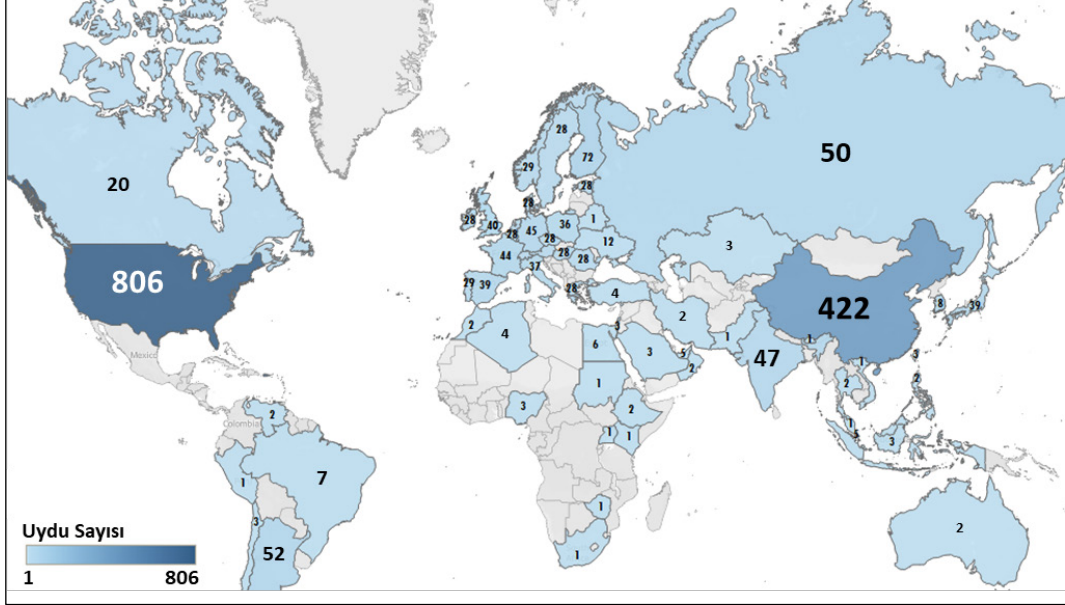
Şekil 3.19 Yıllara Göre Fırlatılan Yer Gözlem Uydusu Sayıları [166]



Küresel ölçekte yer gözlem uydusu sayısı yükselirken artışın büyük oranda birkaç ülkenin kapasitesine dayandığı görülmektedir. USGS tarafından hazırlanan verilere göre 2025 Nisan itibariyle en fazla yer gözlem uydusuna sahip ülkeler ABD (806) ve Çin (422) olup iki ülke toplamda dünya genelindeki yer gözlem uyduları sayısının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Rusya, Arjantin, Hindistan, Japonya, Almanya, Fransa ve Birleşik Krallık da yer gözlem uydu sayılarıyla öne çıkan diğer ülkeler arasında yer almaktadır. Finlandiya'nın 72 uyduya ulaşan envanteri ise büyük

ölçüde ICEYE programı kapsamında geliştirilen ve 40'tan fazla mikro uydudan oluşan SAR uydularına dayanmaktadır [166]. Şekil 3.20'de sunulan harita, 2025 Nisan itibariyle ülkelerin sahip olduğu yer gözlem uydusu sayılarını göstermektedir.

Şekil 3.20 Ükelere Göre Yer Gözlem Uydusu Sayıları [166]



Yer gözlem uydularının sayısal dağılımının yanı sıra teknik özelliklerinin de değerlendirilmesi kapsamlı bir analiz için önem taşımaktadır. Bu kapsamda aşağıda sunulan tablolar faaliyette olan, görev süresi tamamlanmış ve yakın gelecekte fırlatılması planlanan optik ve SAR uydularına ait teknik özellikleri bir araya getirmektedir (Tablo 3.2, Tablo 3.3, Tablo 3.4, Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7). Yapılan derleme ile uzaktan algılama uydularının teknik kapasitelerinin daha kolay anlaşılması ve karşılaştırılabilirliği amaçlanmaktadır.

Tablolarda yer alan veriler, JACIE organizasyonu tarafından 2022 yılında yayımlanan Uzaktan Algılama Uyduları Derlemesi başlıklı kapsamlı rapor [167] ile Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından sürdürülen Gözlem Sistemleri Yetenek Analizi ve İncelemesi (OSCAR) platformundan derlenmiştir. WMO OSCAR platformu, gözlem uydularının teknik özelliklerini ve gözlem kapasitelerini detaylı bir şekilde sunan, aynı zamanda meteoroloji, iklim ve su alanlarındaki kullanıcı gereksinimleri ile mevcut kapasiteleri karşılaştırarak küresel gözlem sistemlerinin planlanmasını destekleyen bir araçtır [168].

Tablo 3.2 Faaliyette Olan Yaygın Optik Uydular ve Özellikleri

Uydu Adı	Spektral Bantlar ve Mekânsal Çözünürlük	Radyometrik Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Fırlatıldığı Yıl	Uzay Ajansı / Kurum
GÖKTÜRK-1	PAN: 0,5 m RGB, NIR: 2 m	11 bit	2-3 gün	2016	TUBİTAK UZAY
GÖKTÜRK-2	PAN: 2,5 m RGB, NIR: 5 m SWIR: 20 m	11 bit	2-3 gün	2012	TUBİTAK UZAY
İMECE (GÖKTÜRK-2B)	PAN: 0,99 m RGB, NIR: 3,96 m	-	2-3 gün	2023	TUBİTAK UZAY
Landsat-8 (OLI, TIRS)	PAN: 15 m RGB, NIR, SWIR: 30 m CA, Cirrus: 30 m TIR: 100 m	12 bit	16 gün	2013	USGS, NASA
Landsat-9 (OLI-2, TIRS-2)	PAN: 15 m RGB, NIR, SWIR: 30 m CA, Cirrus: 30 m TIR: 100 m	12/14 bit	16 gün	2021	USGS, NASA
Terra ASTER	RGB, NIR: 15 m SWIR: 30 m TIR: 90 m	8/12 bit	1-2 gün	1999	NASA
Aqua MODIS	250 m, 500 m, 1 km 0,405 – 14,385 µm 36 bant	8 bit	1-2 gün	1999	NASA
Sentinel-2 (2A, 2B, 2C)	RGB, NIR: 10 m RE, SWIR: 20 m CA, Cirrus: 60 m	12 bit	2-5 gün	2015	ESA
Sentinel-3 (OLCI, SRAL, SLSTR)	OLCI: 300 m SRAL: 300 m SLSTR: 500 m – 1 km	12 bit	1-2 gün	2016	ESA

<b>Uydu Adı</b>	<b>Spektral Bantlar ve Mekânsal Çözünürlük</b>	<b>Radyometrik Çözünürlük</b>	<b>Zamansal Çözünürlük</b>	<b>Fırlatıldığı Yıl</b>	<b>Uzay Ajansı / Kurum</b>
WorldView-1	PAN: 0,5 m	11 bit	1-2 gün	2007	Maxar (Maxar, ABD Merkezli Şirket)
WorldView-2	PAN: 0,46 m RGB, NIR: 1,84 m RE, CA: 1,84 m	11 bit	1-2 gün	2009	Maxar
WorldView-3	PAN: 0,31 m RGB, NIR: 1,24 RE, CA: 1,24 m SWIR: 3,7 m	PAN, MSI: 11 bit SWIR: 14 bit	1 gün	2014	Maxar
WorldView Legion	PAN: 0,30 m RGB, NIR: 1,2 m CA, RE: 1,2 m	14 bit	1-2 saat	2024	Maxar
GeoEye-1	PAN: 0,41 m RGB, NIR: 1,64 m	11 bit	3 gün	2008	Maxar
SkySat (1-21)	PAN: 0,5 m RGB, NIR: 0,75/1 m	12-16 bit	3-6 saat	2013	Planet (Planet Labs, ABD Merkezli Şirket)
PlanetScope (Dove, SuperDove)	RGB, NIR: 3m RE, CA: 3 m	12-16 bit	1 gün	2014	Planet
Pelican	PAN, RGB, NIR: 0,3-0,4 m	12-16 bit	1-2 saat	2023	Planet
BlackSky	PAN, RGB: 1 m	16 bit	1-2 saat	2018	BlackSky (ABD Merkezli Şirket)
Pleiades (1A, 1B)	PAN: 0,5 m RGB, NIR: 2 m	12 bit	1 gün	2011	CNES
Pleiades Neo	PAN: 0,3 m RGB, RE, NIR: 1,2 m	12 bit	12 saat	2021	Airbus

Uydu Adı	Spektral Bantlar ve Mekânsal Çözünürlük	Radyometrik Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Fırlatıldığı Yıl	Uzay Ajansı / Kurum
SPOT-6,7	PAN: 1,5 m RGB, NIR: 6 m	12 bit	1 gün	2012	Airbus, SPOT Image
Resurs-P	PAN: 1 m RGB, RE, NIR: 3 m HSI (96 bant): 25 m	10 bit	3-5 gün	2006	Roscosmos (Rusya Federal Uzay Ajansı)
Gaofen-1,14	PAN, MSI, HSI 0,41 m – 400 m	8 bit – 16 bit	1-5 gün	2013	CNSA, CASC
Zi Yuan-3	PAN: 2,1 m RGB, NIR: 5,8 m	10 bit	5 gün	2012	CNSA
SuperView-1,4 (Gaojing-1,4)	PAN: 0,5 m RGB, NIR: 2 m	11 bit	4 gün	2016	Beijing Space View (Çin Merkezli Şirket)
SuperView Neo	PAN: 0,3 m RGB, NIR: 1,2 m	11 bit	1 gün	2022	Beijing Space View
Beijing-3	PAN: 0,3 m RGB, NIR: 1,2 m	11 bit	5 gün	2021	21AT (Çin Merkezli Şirket)
TripleSat (Beijing -2, DMC-3)	PAN: 0,8 m RGB, NIR: 3,2 m	10 bit	1 gün	2015	21AT, UKSA
Jilin-1	PAN: 0,5 m RGB, NIR: 2m	12 bit	1 saat	2015	Chang Guang Satellite Tech. (Çin Merkezli Şirket)
KOMPSAT-3	PAN: 0,7 m RGB, NIR: 2,8 m	14 bit	2-3 gün	2012	KARI
KOMPSAT-3A	PAN: 0,55 m RGB, NIR: 2,2 m MWIR: 5,5 m	14 bit	2-3 gün	2015	KARI

Uydu Adı	Spektral Bantlar ve Mekânsal Çözünürlük	Radyometrik Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Fırlatıldığı Yıl	Uzay Ajansı / Kurum
PRISMA	PAN: 5 m HSI: 30 m (0,4 – 2,5 µm 239 bant)	12 bit	7 gün	2019	ASI
EnMAP	HSI: 30 m (0,42 – 2,45 µm 228 bant)	14 bit	4 gün	2022	DLR

Tablo 3.3 Faaliyet Süresi Tamamlanmış Yaygın Optik Uydular ve Özellikleri

Uydu Adı	Spektral Bantlar ve Mekânsal Çözünürlük	Radyometrik Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Faaliyet Yılı	Uzay Ajansı / Kurum
BİLSAT	PAN: 12,6 m RGB, NIR: 26,7 m	8 bit	4 gün	2003-2006	TUBİTAK UZAY
RASAT	PAN: 7,5 m RGB: 15 m	8 bit	4 gün	2011-2022	TUBİTAK UZAY
Landsat-5 (TM)	RGB, NIR, SWIR: 30 m TIR: 120 m	8 bit	16 gün	1984-2012	USGS, NASA
Landsat-7 (ETM+)	PAN: 15 m RGB, NIR, SWIR: 30 m TIR: 60 m	8 bit	16 gün	1999-2025	USGS, NASA
IKONOS	PAN: 0,82 m RGB, NIR: 3,3 m	11 bit	3 gün	1999-2015	Maxar, GeoEye (ABD Merkezli Şirketler)
QuickBird	PAN: 0,6 m RGB, NIR: 2,4 m	11 bit	3-4 gün	2001-2015	Maxar

Uydu Adı	Spektral Bantlar ve Mekânsal Çözünürlük	Radyometrik Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Faaliyet Yılı	Uzay Ajansı / Kurum
RapidEye	RGB, RE, NIR: 5 m	12 bit	1 gün	2008-2020	Planet
SPOT-4	PAN: 10 m RGB, NIR, SWIR: 20 m	8 bit	3 gün	1998-2013	CNES
SPOT-5	PAN: 2.5/5 m RGB, NIR: 10m SWIR: 20 m	8 bit	3 gün	2002-2015	CNES
EO-1 (ALI, HYPERION)	PAN: 10 m HSI: 30 m (0,4 – 2,5 $\mu$ m 220 bant)	12 bit	16 gün	2000-2017	NASA, USGS
ALOS-1 (PRISM, AVNIR)	PAN: 2,5 m RGB, NIR: 10 m	8 bit	2 gün	2006-2011	JAXA
KOMPSAT-1	PAN: 6,6 m	8 bit	28 gün	1999-2008	KARI
KOMPSAT-2	PAN: 1 m RGB, NIR: 4 m	10 bit	28 gün	2006-2015	KARI
CARTOSAT-1	PAN: 2,2 – 2,5 m	10 bit	5 gün	2005-2019	ISRO
PROBA-1 (CHRIS)	HSI: 18-36 m 0,4 – 1,05 $\mu$ m 18 - 63 bant	12 bit	7 gün	2001-2022	ESA

Tablo 3.4 Yakın Gelecekte Fırlatılması Planlanan Öne Çıkan Optik Uydular ve Özellikleri

Uydu Adı	Spektral Bantlar ve Mekânsal Çözünürlük	Radyometrik Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Planlandığı Yıl	Uzay Ajansı / Kurum
İMECE-2	-	-	-	2027	TUBİTAK UZAY
İMECE-3	-	-	-	2028	TUBİTAK UZAY
GÖKTÜRK-Y	< 1 m	-	2-3 gün	2029	TUSAŞ, TUBİTAK UZAY
Landsat Next	RGB~TIR 26 adet bant 10-60 m	-	6 gün	2030/2031	USGS, NASA
CO3D	PAN: 0,5 m RGB, NIR: 2m	-	-	2025	CNES, Airbus
KOMPSAT-7,7A	PAN: 0,3 m RGB: 1,2 m NIR, MWIR: 4 m	14 bit	1-2 gün	2025/2026	KARI
SENTINEL-2D	RGB, NIR: 10 m RE, SWIR: 20 m CA, Cirrus: 60 m	12 bit	2-5 gün	2028	ESA
BlackSky Gen-3	PAN, RGB, NIR, SWIR ~ 0,35 m	16 bit	1-2 saat	2025	BlackSky

Tablo 3.5 Faaliyette Olan Yaygın SAR Uyduları ve Özellikleri

Uydu Adı (Fırlatıldığı Yıl)	Bant	Görüntüleme Modu	Polarizasyon	Çözünürlük (m)	Görüntüleme Genişliği (km)	Zamansal Çözünürlük	Uzay Ajansı / Kurum
ALOS-2 PALSAR-2 (2014)	L	Spotlight	Tek (HH, HV, VV)	3x1	25	14 gün	JAXA
		StripMap Ultra Hassas	Tek (HH, HV, VV)	3	50		
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
		StripMap Çok Hassas	Tek (HH, HV, VV)	6	50		
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
			Dörtlü (HH+HV+VH+VV)				
		StripMap Hassas	Tek (HH, HV, VV)	10	70		
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
			Dörtlü (HH+HV+VH+VV)				
		ScanSAR Normal ve Geniş	Tek (HH, HV, VV)	60 ve 100	490 ve 350		
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
		ALOS-4 PALSAR-3 (2024)	L	Spotlight	Tek (HH, HV, VH, VV)		
Çift (HH+HV, VV+VH)							
StripMap Ultra Hassas	Tek (HH, HV, VH, VV)			3	200		
	Çift (HH+HV, VV+VH)						
	Dörtlü (HH+HV+VH+VV)					100	
StripMap Çok Hassas	Tek (HH, HV, VH, VV)			6	200		
	Çift (HH+HV, VV+VH)						
	Dörtlü (HH+HV+VH+VV)					100	
StripMap Hassas	Tek (HH, HV, VH, VV)			10	200		
	Çift (HH+HV, VV+VH)						
	Dörtlü (HH+HV+VH+VV)					100	
ScanSAR	Tek (HH, HV, VH, VV)			25	700		
	Çift (HH+HV, VV+VH)						

Uydu Adı (Fırlatıldığı Yıl)	Bant	Görüntüleme Modu	Polarizasyon	Çözünürlük (m)	Görüntüleme Genişliği (km)	Zamansal Çözünürlük	Uzay Ajansı / Kurum
BIOMASS (2025)	P	StripMap	Dörtlü (HH+HV+VH+VV)	50	50	3 gün	ESA
Capella X-SAR (2018)	X	Spotlight	Tek (HH, VV)	0,5	5x5	Günlük veya daha kısa	Capella (ABD Merkezli Şirket)
		Sliding Spotlight	Tek (HH, VV)	0,8	5x10		
		Stripmap	Tek (HH, VV)	1,2	5x20		
COSMO SKYMED-1,2,3,4 (2007/2010)	X	Spotlight	Tek (HH, VV)	1	10	4-16 gün	ASI
		Stripmap (Himage)	Tek (HH, HV, VH, VV)	5	40		
		Stripmap (Ping Pong)	Çift (HH+VV, HH+HV, VV+VH)	20	30		
		ScanSAR Geniş	Tek (HH, HV, VH, VV)	30	100		
		ScanSAR Çok Geniş	Tek (HH, HV, VH, VV)	100	200		
Gaofen-3 (2016)	C	Spotlight	Tek (HH, HV)	1	10	1-5 gün	CNSA
		Hassas Stripmap	Çift (HH+HV, VH+VV)	5	50		
		Standart Stripmap	Çift (HH+HV, VH+VV)	25	130		
		Dörtlü-Pol. Stripmap	Dörtlü (HH+HV+VV+VH)	8	30		
		Dar ScanSAR	Çift (HH+HV, VH+VV)	50	300		
		Geniş ScanSAR	Çift (HH+HV, VH+VV)	100	500		
		Küresel Gözlem	Çift (HH+HV, VH+VV)	500	650		
		Wave	Dörtlü (HH+HV+VV+VH)	10	5		
KOMPSAT-5 (2013)	X	Yüksek Çözünürlük	Tek (HH, HV, VH, VV)	1	5	28 gün	KARI
		Standart	Tek (HH, HV, VH, VV)	3	30		
		Geniş Şerit	Tek (HH, HV, VH, VV)	20	100		
NovaSAR-1 (2018)	S	Stripmap	Tek (HH, VV)	6	20	16 gün	UKSA
			Tek (HH, VV)	20	100		
		ScanSAR	Çift (HH+HV, HH+VV)	20	50-60		
			Üçlü (HH+VV+HV)	35	100		

Uydu Adı (Fırlatıldığı Yılı)	Bant	Görüntüleme Modu	Polarizasyon	Çözünürlük (m)	Görüntüleme Genişliği (km)	Zamansal Çözünürlük	Uzay Ajansı / Kurum
		ScanSAR Geniş	Tek (HH, VV)	30	140		
			Çift (HH+HV)	50	195		
		Denizcilik	Tek (HH)	6x14	400		
PAZ (2018)	X	Staring Spotlight	Tek (HH, HV, VH, VV)	0,25	4x4	11 gün	CDTI (İspanya Endüstriyel Teknolojik Gelişim Merkezi)
		Yüksek Çözünürlüklü Spotlight	Tek (HH, HV, VH, VV)	1	5-10x5		
			Çift (HH+VV, HH+HV, VV+VH)	2			
		Spotlight	Tek (HH, HV, VH, VV)	1	10x10		
			Çift (HH+VV, HH+HV, VV+VH)	2			
		Stripmap	Tek (HH, HV, VH, VV)	3	30x50		
			Çift (HH+VV, HH+HV, VV+VH)	6			
ScanSAR	Tek (HH, HV, VH, VV)	18	100x150				
Geniş ScanSAR	Tek (HH, HV, VH, VV)	40	270x200				
RADARSAT-2 (2007)	C	Spotlight	Tek (HH, HV, VH, VV)	1	18	24 gün	CSA
		Hassas	Tek (HH, HV, VH, VV)	8	50		
			Çift (HH+HH, HH+HV, HV+HH, HV+HV)				
		Hassas Dörtlü-Pol.	Polarimetrik (HH, HV, VH, VV)	12	25		
		Standart	Tek (HH, HV, VH, VV)	25	100		
Çift (HH+HH, HH+HV, HV+HH, HV+HV)							
ScanSAR Dar ve Geniş	Tek (HH, HV, VH, VV)	50 ve 100	300 ve 500				
	Çift (HH+HH, HH+HV, HV+HH, HV+HV)						
RADARSAT Constellation (2019)	C	Spotlight	Tek (HH, HV, VH, VV)	1x3	20	4-12 gün	CSA
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
		Çok Yüksek Çözünürlük	Tek (HH, HV, VH, VV)	3	20		
			Çift (HH+VV, HH+HV, VV+VH)				

Uydu Adı (Fırlatıldığı Yılı)	Bant	Görüntüleme Modu	Polarizasyon	Çözünürlük (m)	Görüntüleme Genişliği (km)	Zamansal Çözünürlük	Uzay Ajansı / Kurum
		Yüksek Çözünürlük	Tek (HH, HV, VH, VV)	5	30		
			Çift (HH+VV, HH+HV, VV+VH)				
		Orta Çözünürlük	Tek (HH, HV, VH, VV)	30	125		
			Çift (HH+VV, HH+HV, VV+VH)				
		Düşük Çözünürlük	Tek (HH, HV, VH, VV)	100	500		
			Çift (HH+VV, HH+HV, VV+VH)				
		Dörtlü-Polarizasyon	Dörtlü (HH+HV+VH+VV)	9	20		
		SAOCOM (2018/2020)	L	Stripmap	Tek (HH, HV, VH, VV)		
Çift (HH+HV, VV+VH)	40						
Dörtlü (HH+HV+VH+VV)	20						
TopSAR Dar	Tek (HH, HV, VH, VV)			30	150		
	Çift (HH+HV, VV+VH)			30	150		
	Dörtlü (HH+HV+VH+VV)			50	100		
TopSAR Geniş	Tek (HH, HV, VH, VV)			50	350		
	Çift (HH+HV, VV+VH)			50	350		
	Dörtlü (HH+HV+VH+VV)			100	220		
Sentinel-1 (2014/2024)	C	StripMap	Çift (HH+HV, VV+VH)	5x5	80	6-12 gün	ESA
		İnterferometrik Geniş	Çift (HH+HV, VV+VH)	5x20	250		
		Ekstra Geniş Alan	Çift (HH+HV, VV+VH)	20x40	400		
		Wave	Tek (HH, VV)	5x5	20x20		
TerraSAR-X TanDEM-X (2007/2010)	X	Spotlight	Tek (HH, HV, VH, VV)	1	5x10	11 gün	DLR
			Çift (HH+VV)				
		StripMap	Tek (HH, HV, VH, VV)	3	1500x30		
			Çift (HH+VV, HH+HV, VV+VH)				
ScanSAR	Tek (HH, HV, VH, VV)	16	1500x100				

Uydu Adı (Fırlatıldığı Yılı)	Bant	Görüntüleme Modu	Polarizasyon	Çözünürlük (m)	Görüntüleme Genişliği (km)	Zamansal Çözünürlük	Uzay Ajansı / Kurum
Ludi-Tance (2022/2023)	L	StripMap-1	Tek (HH, VV)	3	50	4-8 gün	CNSA
		StripMap-2	Tek (HH, VV)	12	100		
		StripMap-3	Çift (HH+HV, VV+VH)	3	50		
		StripMap-4	Dörtlü (HH+HV+VH+VV)	6	30		
		ScanSAR	Tek (HH, VV)	30	400		

Tablo 3.6 Faaliyet Süresi Tamamlanmış Yaygın SAR Uyduları ve Özellikleri

Uydu Adı (Faaliyet Yılı)	Bant	Görüntüleme Modu	Polarizasyon	Çözünürlük (m)	Görüntüleme Genişliği (km)	Zamansal Çözünürlük	Uzay Ajansı / Kurum
ALOS-1 (2006-2011)	L	Hassas	Tek (HH, VV)	10	70	46 gün	JAXA
			Çift (HH+HV, VV+VH)	20			
		ScanSAR	Tek (HH, HV, VV, VH)	100	250-350		
		Polarimetrik	Dörtlü (HH+HV+VH+VV)	24-89	20-65		
ENVISAT (2002-2012)	C	Görüntüleme	Tek (HH, VV)	30	100	35 gün	ESA
		Alternatif Pol.	Çift (HH+HV, VV+VH)	30	100		
		Geniş Şerit	Tek (HH, VV)	150	400		
		Wave	Tek (HH, VV)	30	5x5		
		Global	Tek (HH, VV)	1000	400	1-3 gün	
RADARSAT-1 (1995-2013)	C	Hassas	Tek (HH)	8	45	16 gün	CSA
		Standart	Tek (HH)	30	100		
		ScanSAR	Tek (HH)	50-100	300-500		

Tablo 3.7 Yakın Gelecekte Fırlatılması Planlanan Öne Çıkan SAR Uyduları ve Özellikleri

Uydu Adı (Plan. Yılı)	Bant	Görüntüleme Modu	Polarizasyon	Çözünürlük (m)	Görüntüleme Genişliği (km)	Zamansal Çözünürlük	Uzay Ajansı / Kurum
KOMPSAT-6 (2025)	X	Yüksek Çözünürlük-A	Tek (HH, HV, VV, VH)	0,5	5	11 gün	KARI
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
			Dörtlü (HH+HV+VV+VH)				
		Yüksek Çözünürlük-B	Tek (HH, HV, VV, VH)	1	10		
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
			Dörtlü (HH+HV+VV+VH)				
		Standart	Tek (HH, HV, VV, VH)	3	30		
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
			Dörtlü (HH+HV+VV+VH)				
		Geniş Alan	Tek (HH, HV, VV, VH)	20	100		
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
			Dörtlü (HH+HV+VV+VH)				
NISAR (2025)	S/L	S-Band	Tek (HH, VV)	3-24	240	12 gün	NASA, ISRO
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
			Yarı-Dörtlü (HH+HV, VH+VV)				
		L-Band	Tek (HH, VV)	3-48	240		
			Çift (HH+HV, VV+VH)				
			Dörtlü (HH+HV+VV+VH)				
TanDEM-L (2028)	L	Spotlight	-	1	10-20	16 gün	DLR
		StripMap	-	3	50		
		ScanSAR	-	10-20	200-350		
GÖKTÜRK-3 (2030)	-	Spotlight	-	< 1	-	3-4 gün	TUSAŞ, TUBİTAK UZAY
		Stripmap					
		Geniş Alan					

## BÖLÜM 4

### GÖRÜNTÜ ÇÖZÜNÜRLÜK OPTİMİZASYONU

Uzaktan algılama görüntülerinde kullanılan mekânsal, spektral, zamansal ve radyometrik çözünürlük türleri analizlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyen temel faktörlerdir. Her bir çözünürlük türü görüntülerin detay seviyesi, görüntüleme sıklığı, bant genişliği ve parlaklık hassasiyeti gibi farklı özellikleri belirleyerek analiz sonuçlarını şekillendirir. Her zaman en yüksek çözünürlüğe sahip verileri kullanmak en doğru yaklaşım değildir çünkü bu durum dosya boyutunun gereksiz büyümesi, işlem süresinin uzaması, depolama maliyetlerinin artması ve sistem kaynaklarının verimsiz kullanılması gibi sorunlara neden olabilmektedir. Geniş alanlarda yapılacak çalışmalarda doğru çözünürlük seçimi mükerrer görüntüleri engelleyebilir, veriyi daha uygun boyutta tutabilir ve analizleri kolaylaştırabilir. Böylece zaman ve maliyet açısından büyük avantajlar elde edilebilir. Bu nedenle çözünürlük seçimi, teknik uygunluğun yanında veri yönetimi ve verimlilik bakımından da kritik öneme sahiptir.

Görüntü çözünürlük optimizasyonu, uzaktan algılama çalışmalarında görüntü çözünürlük değerlerinin, analiz amacı ve çalışma alanının özelliklerine göre en uygun şekilde belirlenmesi süreci olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda, çözünürlük gereksinimlerinin belirlenmesinde arazi örtüsü sınıflandırması önemli bir karar destek mekanizması sunar çünkü arazi türüne göre görüntüde ihtiyaç duyulan detay, spektral ayırım gücü veya güncelleme sıklığı değişiklik gösterir. Örneğin kentsel alanların haritalanması için yüksek mekânsal çözünürlük gerekirken, tarım uygulamaları için farklı bitki türlerini ayırt edebilen yüksek spektral çözünürlük daha uygun olabilir. Dolayısıyla analiz alanında öne çıkan arazi örtüsü sınıfının belirlenmesi, görüntü çözünürlük gereksinimlerinin analiz hedefine uygun şekilde planlanmasını kolaylaştırır.

Bu bölümde, Türkiye'nin arazi örtüsü özellikleri dikkate alınarak uzaktan algılama görüntülerinde çözünürlük optimizasyonuna yönelik yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Farklı arazi örtüsü sınıfları ve analiz türleri için görüntü çözünürlük gereksinimlerinin belirlenmesine dayanan bu yöntem hem analizlerin doğruluğunu artırmayı hem de kaynak kullanımını daha verimli hale getirmeyi hedeflemektedir.

#### 4.1. Optimizasyon Uygulamasının Geliştirilmesi ve Yöntemsel Altyapı

Bu tez kapsamında görüntü çözünürlük optimizasyonu amacıyla Google Earth Engine (GEE) tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulama, Türkiye genelinde veya kullanıcı tarafından seçilen belirli bir alanda, Dynamic World veri seti kullanılarak güncel arazi örtüsü sınıflandırması gerçekleştirmektedir. Ülke coğrafyasını eşit ve karşılaştırılabilir alanlarla bölmek amacıyla geometrik şekiller arasından altıgen (İng. *hexagon*) yapılar tercih edilmiştir. Her bir hücre için önerilen uzaktan algılama çözünürlük değerlerini (mekânsal, zamansal, spektral ve radyometrik) kullanıcıya sunan uygulama, ayrıca kullanıcıya sınıf dağılımını gösteren pasta grafikler ve tematik haritalar gibi veri görselleştirme araçları sağlamaktadır.

Uygulama iki farklı analiz modunda çalışmaktadır. “Ulusal Analiz” modu, Türkiye genelini kapsayan 50 km<sup>2</sup>’lik hücreler üzerinden güncel arazi örtüsü verilerinin analizini gerçekleştirir ve her hücre için baskın arazi türüne göre uzaktan algılama analizlerine yönelik önerilen çözünürlük parametrelerini sunar. “Altıgen Grid Seçimi” modunda ise kullanıcıya analiz alanı ve hücre boyutunu belirleme olanağı sağlanır, seçilen bölgede arazi örtüsü sınıflarının oranları grafiksel olarak sunulur ve dağılıma uygun olarak çözünürlük önerileri paylaşılır.

##### 4.1.1. Google Earth Engine (GEE) Platformu ve Kullanım Avantajları

GEE, büyük hacimli uzaktan algılama verilerini görselleştirmek ve analiz etmek için kullanılan bulut tabanlı bir platformdur. 2010 yılında kurulan platform, Landsat serisi, Sentinel, MODIS uyduları ve SRTM gibi yükseklik veri kaynaklarına ve bu verilerin işlenmesi için gerekli olan algoritmalara erişim sağlar. GEE’nin bulut bilişim altyapısı, petabaytlarca veri işlenebilmesi sağlar ve büyük uydu verilerinin bir bilgisayar ortamında depolanması ve işlenmesi gerekliliğini ortadan kaldırır. Kullanıcılar uydu görüntülerini indirmeden, internet bağlantısı ile bu verileri bulut ortamında analiz edebilmektedir. Ayrıca, Python ve JavaScript tabanlı API desteği sunarak daha esnek ve güçlü analizler gerçekleştirilmesini sağlamaktadır [169].

GEE, Amazon Web Servisleri ve Microsoft Azure gibi diğer bulut platformlarına kıyasla daha geniş coğrafi veri türü desteği sunmakta olup tarım, su

yönetimi, arazi örtüsü ve kullanım, afetler, iklim değişikliği, toprak, sulak alanlar, orman ve kentleşme alanlarındaki analizlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [170]. Platform spektral indeks hesaplamaları ve mozaik oluşturma gibi temel işlemleri gerçekleştirilmesini sağlarken; zaman serisi analizleri, Rastgele Orman (RF) ve Destek Vektör Makineleri (SVM) gibi denetimli öğrenme algoritmalarıyla sınıflandırma analizleri, Evrişimli Sinir Ağları ve U-Net gibi derin öğrenme mimarileriyle nesne tespiti gibi daha karmaşık analizler yapılmasına da imkân tanımaktadır. Ayrıca GEE, makine öğrenmesi modellerinin eğitilmesinde Vertex AI, büyük hacimli verilerin sorgulanmasında BigQuery ve görüntü kalitesinin değerlendirilmesinde Cloud Score gibi araçlar üzerinden gelişmiş analiz olanakları da sunmaktadır.

GEE platformu, güncel küresel arazi örtüsü veri setlerine doğrudan ve sürekli güncellenerek erişim sağlaması ve yüksek hesaplama kapasitesi sayesinde Türkiye genelini kapsayan geniş alan analizlerini hızlı ve tekrarlanabilir şekilde yürütülmesine imkân tanıdığı için bu çalışmada tercih edilmiştir.

#### 4.1.2. *Dynamic World ve Diğer Küresel Arazi Örtüsü Veri Setleri*

Uzaktan algılamaya dayalı arazi örtüsü haritaları çevresel izleme ve planlama süreçlerinde temel veri kaynaklarından biridir. Gelişen uydu teknolojileri ve sınıflandırma algoritmaları sayesinde dünya genelini kapsayan ve düzenli olarak güncellenen çok sayıda küresel arazi örtüsü veri seti geliştirilmiştir. Aşağıda yer alan Tablo 4.1’de, yaygın olarak kullanan küresel arazi örtüsü veri setlerinin temel özelliklerine yer verilmiştir.

Tablo 4.1 Küresel Arazi Örtüsü Veri Seti Örnekleri

Veri Seti	Mekânsal Çözünürlük	Zaman Aralığı	Güncellenme Sıklığı
Dynamic World	10 m	2015- ...	2-5 gün
ESRI Land Cover	10 m	2017- ...	Yıllık
ESA WorldCover	10 m	2020-2021	2020 ve 2021
CORINE Land Cover	100 m	1990-2024	6 Yıl
MODIS Land Cover Type	500 m	2001- ...	Yıllık

Dynamic World, Google ve Dünya Kaynakları Enstitüsü tarafından geliştirilmiş olup Sentinel-2 görüntülerine dayalı olarak çalışan bir derin öğrenme modeli ile oluşturulmaktadır. Benzer şekilde, ESRI Land Cover veri seti de Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak ESRI ve Impact Observatory iş birliğinde geliştirilmiş, yapay sinir ağı tabanlı bir sınıflandırma modeliyle üretilmektedir. ESA WorldCover ise Sentinel-1 ve Sentinel-2 verilerinin birleştirilmesiyle denetimli sınıflandırma yöntemine dayalı üretilmiştir. CORINE Land Cover, Avrupa kıtasını kapsamakta olup Landsat ve Sentinel-2 görüntülerine dayalı olarak görsel yorumlama ile genelleştirmenin de dâhil olduğu yarı otomatik sınıflandırma yöntemleri kullanılarak Avrupa Çevre Ajansı tarafından hazırlanmaktadır. (2024 yılına ait verilerin 2026 yılı 2.çeyreğinde yayımlanması planlanmaktadır). MODIS Land Cover Type veri seti ise NASA tarafından geliştirilen ve MODIS sensörlerinden elde edilen verilerle denetimli sınıflandırma gibi algoritmalar kullanılarak oluşturulan bir veri setidir [171].

Tablo 4.2 Dynamic World Karşılaştırmalı Genel Doğruluk Çalışmaları

Yıl	Araştırmacılar	DW (%)	ESRI (%)	ESA LC (%)
2025	Çelik, Altunel	73,4	76	75,8
2024	Ömer Gökberk Narin	84,5	83,4	-
2024	Panpan Xu vd.	74,1	73,4	83,4
2022	Zander S. Venter vd.	72	75	65

Literatürde incelenen karşılaştırmalı çalışmalar, Dynamic World veri setinin genel doğruluk düzeyinin genellikle %70-85 arasında değiştiğini göstermektedir (Tablo 4.2). Örneğin Durmuş, Çelik ve Altunel (2025) tarafından yürütülen çalışmada Dynamic World 2022 yılı verisi %73,4 doğrulukla sınıflandırma yaparken, aynı bölgede ESRI Land Cover 2022 verisi %76, ESA WorldCover 2021 verisi ise %75,8 doğruluk oranına ulaşmıştır [172]. Narin (2024) tarafından yapılan bir başka çalışmada, Dynamic World 2020 verisi %84,5, ESRI Land Cover 2020 verisi %83,4 doğruluk sağlamıştır [173]. Panpan Xu ve çalışma arkadaşlarının gerçekleştirdiği karşılaştırmalarda Dynamic World %74,1, ESRI Land Cover %73,4 ve ESA WorldCover %83,4 doğruluk gösterirken, ayrıca Dynamic World veri setinin Güney Amerika ve Asya kıtalarında daha yüksek doğruluk oranları (%76–79 aralığında)

sunduğu belirtilmiştir [174]. Venter ve çalışma arkadaşlarının (2022) çalışmasında ise Dynamic World %72, ESRI Land Cover %75 ve ESA WorldCover %65 doğruluk oranlarına ulaşmıştır [175].

Dynamic World veri seti kentsel alanlar, tarım arazileri, ormanlık bölgeler ve su yüzeylerinin tespitinde %80'in üzerine çıkabilen doğruluk düzeyleriyle güvenilir bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca 10 metre mekânsal çözünürlüğe sahip olması sayesinde özellikle kentsel-tarımsal geçiş bölgeleri gibi parçalanmış alanların daha ayrıntılı bir şekilde haritalanmasına olanak tanır. Verilerin 2–5 gün aralığında güncellenmesi, güncel durumu yansıtmak isteyen analizler için önemli bir avantaj sağlamaktadır [171]. GEE platformuna entegre çalışması ise geniş alanlarda yapılacak analizleri hızlandırır ve kolaylaştırır. Tüm bu nedenlerle Dynamic World, bu çalışmada görüntü çözünürlük gereksinimlerinin arazi örtüsü türlerine göre belirlenmesine yönelik analizlerde temel veri kaynağı olarak tercih edilmiştir.

Küresel arazi örtüsü veri setlerinin yanı sıra, Türkiye ölçeğinde hazırlanmış olan Ulusal Arazi Örtüsü Sınıflandırma ve İzleme Sistemi (UASİS) projesi de çalışmada incelenmiştir. UASİS, Sentinel-2 görüntüleri ve yardımcı verilerin yapay zekâ tabanlı algoritmalarla işlenmesiyle 5 ana sınıf ve 79 alt sınıfta yıllık arazi örtüsü haritaları üretmeyi hedefleyen kapsamlı bir çalışmadır. Pilot bölgelerde yapılan çalışmalarda UASİS verisinin 5 ana sınıfta %71-95 doğruluk oranlarına ulaştığı görülmüştür [176]. Türkiye gibi dinamik değişimlerin yaşandığı bir coğrafyada, güncel verilerin tez kapsamında yürütülen çalışmanın amacına daha uygun olacağı değerlendirilmiş ve bu nedenle son verisi 2021 yılına ait olduğu için UASİS, çalışmada tercih edilmemiştir.

#### 4.1.3. Altıgen Grid Tabanlı Yaklaşım

Türkiye'nin geniş ve farklı özelliklere sahip coğrafyasını daha analiz edilebilir alt birimlere ayırmak amacıyla çalışmada altıgen grid yapısı tercih edilmiştir. Altıgen hücreler, altı eşit kenarı sayesinde kare ızgaralara göre daha dengeli bir komşuluk ilişkisi kurar [177]. Özellikle arazi örtüsü sınıflarının geçiş bölgelerinde altıgen formun sunduğu geometrik uyum, sınıf geçişlerini daha gerçekçi biçimde yansıtmakta ve kenar etkisini en aza indirerek parçalı peyzajların temsilinde avantaj sağlamaktadır

[178, 179]. Ayrıca, altıgenlerin merkez noktalarının hücre içi dağılım açısından daha dengeli yerleşmesi, her bir hücrede baskın arazi örtüsü türünün daha güvenilir biçimde temsil edilmesine katkı sağlamaktadır [178]. Shoman vd. (2018) tarafından yapılan karşılaştırmalı analizde, farklı grid sistemlerinin kentsel alanlardaki temsil doğruluğu değerlendirilmiş ve kentsel yapı sınıfı için alan hatalarının en aza indirilmesinde altıgen grid sisteminin daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir [180]. Tüm bu avantajlar doğrultusunda, her bir alt bölgede baskın arazi örtüsü türünün belirlenmesi ve uygun çözünürlük parametrelerinin önerilmesi sürecinde altıgen grid sistemi tercih edilmiştir.

Bu kapsamda, ArcGIS Pro 3.5.0 yazılımı kullanılarak her biri 50 km<sup>2</sup>, 100 km<sup>2</sup> ve 200 km<sup>2</sup> büyüklüğünde olan altıgen hücrelerden oluşan Türkiye genelini kapsayan grid katmanları oluşturulmuş ve uygulamaya entegre edilmiştir. Böylece ihtiyaç ve analiz ölçeğine göre farklı hücre boyutları arasında seçim yapabilme imkânı sunulmuştur. Şekil 4.1’te 100 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip hücrelerden oluşan altıgen grid sisteminin dağılımı örnek olarak gösterilmektedir.

Şekil 4.1 100 km<sup>2</sup> Alana Sahip Hücrelerden Oluşan Altıgen Grid Sistemi

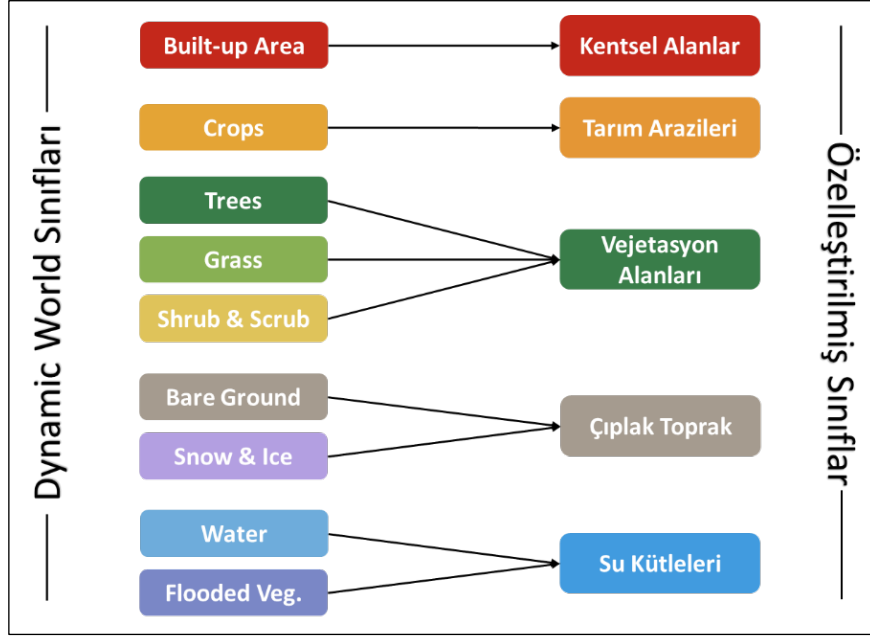


#### 4.1.4. Arazi Sınıflarının Özelleştirilmesi ve Baskın Sınıfların Belirlenmesi

Dynamic World veri seti, küresel ölçekte güncel arazi örtüsü sınıflandırması sunmakta olup toplam dokuz arazi örtüsü sınıfı içermektedir. Bu çalışmada çözünürlük gereksinimleri açısından benzer özellikler gösteren sınıflar bir araya getirilmiş ve Türkiye’nin coğrafi özellikleri göz önünde bulundurularak Dynamic World arazi

örtüsü sınıfları, beş sınıf altında yeniden düzenlenmiştir. Şekil 4.2’de Dynamic World arazi örtüsü sınıfları ile bu çalışmada kullanılan özelleştirilmiş arazi örtüsü sınıfları sunulmaktadır.

Şekil 4.2 Dynamic World Arazi Örtüsü Sınıflarının Özelleştirilmesi



Uygulamanın ulusal analiz modu kapsamında, her bir 50 km<sup>2</sup>'lik altıgen hücredeki arazi örtüsü sınıfları piksel sayılarına dayalı frekans histogram yöntemiyle analiz edilerek baskın arazi örtüsü sınıfı belirlenmektedir. Bu süreçte kentsel alanların önemi dikkate alınarak özel bir ağırlıklandırma uygulanmıştır. Kentsel alanlar nüfus yoğunluğu, altyapı yöntemi ve ekonomik faaliyetlerin merkezinde yer alması nedeniyle yüksek çözünürlüklü görüntülere en çok ihtiyaç duyan sınıftır. Bu nedenle, sınıf frekansları hesaplanırken kentsel sınıfa ait piksel sayıları ağırlıklandırılarak yüzölçümü açısından küçük kalmasına rağmen kentsel alanların öncelikli olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Ağırlık katsayı değerinin belirlenmesi sürecinde farklı denemeler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Örneğin, katsayı 5 olarak kullanıldığında kentsel alanların etkisi zayıf kalmış, 10 ve üzeri değerlerde ise beklenen dağılım bozulmuş ve diğer sınıfların temsili azalmıştır. 6, 7 ve 9 gibi ara değerler ise bu iki durum arasında uygun bir denge sağlayamamıştır. Bu nedenle, kentsel sınıfa ait piksel sayıları için ağırlık katsayısı 8 olarak görsel yorumlama ile belirlenmiştir.

Altıgen grid seçim modunda ise belirlenen analiz ölçeği ve çalışma alanına göre seçilen alandaki tüm pikseller üzerinden her bir arazi örtüsü sınıfının yüzölçümü hesaplanmaktadır ve sınıf dağılımı grafik olarak sunulmaktadır.

#### 4.1.5. Tavsiye Edilen Çözünürlüklerin Belirlenmesi

Uzaktan algılama verilerinin etkin kullanımı ve analiz ihtiyaçlarının karşılanması kapsamında arazi türlerine yönelik tavsiye edilen çözünürlük değerleri belirlenmiştir. Çözünürlük önerileri hem literatürdeki uygulamalardan hem de Türkiye'nin mekânsal ihtiyaçlarına yönelik ulusal strateji çalışmalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda şekillendirilmiştir. Literatürde uzaktan algılama verileri kullanılarak kentsel alanlar, tarım arazileri, vejetasyon bölgeleri, su kütleleri ve çıplak toprak arazi örtüsü sınıfları üzerinde gerçekleştirilen analizler incelenmiş ve analizlerde kullanılan görüntülerin çözünürlük değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İncelenen çalışmaların bir kısmı, analizlerde kullanılan görüntülere ait çözünürlük değerleriyle birlikte Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemi Yürütme Kurulu'nun 2024/1 toplantısında alınan karar doğrultusunda oluşturulan "Ulusal Uzaktan Algılama Verilerinin Entegre Yönetimi Stratejisi Çalışma Heyeti" raporundan da çözünürlük ihtiyaçlarının belirlenmesinde yararlanılmıştır [80]. İncelenen çalışmalar ve dokümanlar doğrultusunda her bir arazi örtüsü sınıfı için uzaktan algılama temelli gerçekleştirilebilecek analiz başlıkları belirlenmiş ve analiz türleri için önerilen çözünürlük değerleri belirlenmiştir. Ulusal ölçekte önerilen çözünürlük değerleri Tablo 4.4'te sunulmaktadır.

Tablo 4.3 Uzaktan Algılama Tabanlı Analizlerde Kullanılan Görüntü Çözünürlük Değerleri: Literatür Örnekleri

Araştırmacılar	Analiz	Mekânsal Çözünürlük (m)	Radyometrik Çözünürlük (bit)	Spektral Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük
Kang Zhao vd. [181]	Bina Sınırlarının Çıkarımı	0,3	11	RGB	-
Mengmeng Li vd. [182]	Kentsel Arazi Kullanımı Haritalanması	0,5	11 – 12	VNIR	-
T. Mugiraneza vd. [183]	Kentsel Alan Yoğunluğu ve Yeşil Alan Dağılımı	0,5	11	VNIR	-
Huiping Huang vd. [184]	Kentsel Ekolojik Kalite Değerlendirmesi	1	10	VNIR	-
Ruoyun Liu vd. [185]	Gecekondu Alanlarının Zamansal Değişimi	0,3	11	VNIR	1 – 2 Yıl
M. Krowczynska vd. [186]	Kentsel Alanlarda Asbestli Çatı Alanlarının Tespiti	0,25	8	VNIR	-
Haobin Xia vd. [187]	Deprem Sonrası Binalarda Hasar Tespiti	0,5	11	VNIR	-
Shuhui Jiao vd. [188]	Tarım Ürünlerinin Sınıflandırılması	10	12	VNIR	2 Hafta-Aylık
Susan Ustin vd. [189]	İstilacı Bitkilerin Haritalanması	4	12	VNIR, SWIR	-
Aslı Özdarıcı Ok vd. [190]	Buğday, Mısır ve Pirinç Ürünlerinin Sınıflandırılması	2,4 – 4	10 – 11	VNIR	-
Alison Thieme vd. [191]	Biyokütle ve Bitki Sağlığı Tahmini	1,8 – 2,4	11	VNIR	-
Chenghai Yang vd. [192]	Tarım Ürünlerinde (Pamuk) Kök Hastalığının Tespiti	2 – 5	11 – 12	VNIR, RE	-
Vasit Sagan vd. [193]	Tarım Ürünü (Soya Fasulyesi) Verim Tahmini	3	12	VNIR	2 Hafta-Aylık
Claudia Vallentin vd. [194]	Tarım Ürünlerinde Verim Tahmini	5	12	VNIR, RE	Aylık
Qi Liu vd. [195]	Yangın Sonrası Vegetasyon Yenilenmesi	10	12	VNIR, SWIR	Aylık
William Stuart vd. [196]	Orman Alanlarının Mekânsal-Zamansal İzlenmesi	30	8	VNIR, SWIR	2 – 5 Yıl

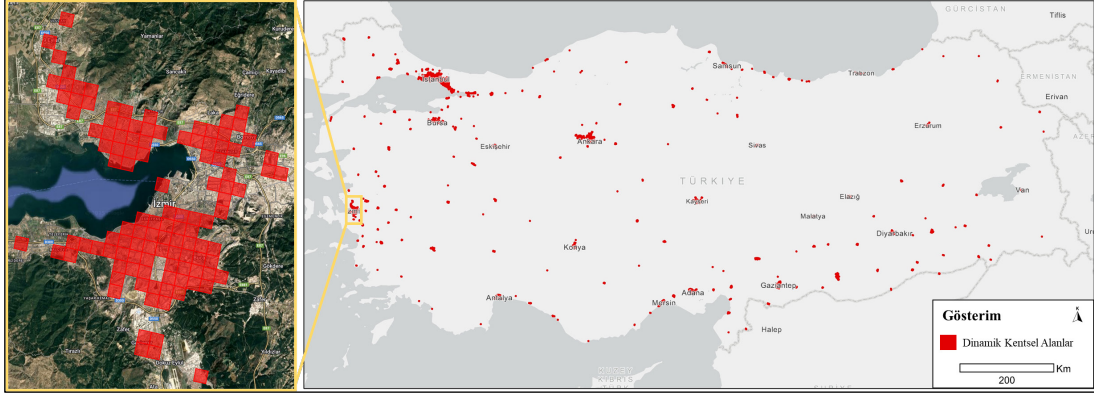
<b>Araştırmacılar</b>	<b>Analiz</b>	<b>Mekânsal Çözünürlük (m)</b>	<b>Radyometrik Çözünürlük (bit)</b>	<b>Spektral Çözünürlük</b>	<b>Zamansal Çözünürlük</b>
Paul Macintyre vd. [197]	Bitki Örtüsü Türlerinin Sınıflandırılması	10-20	12	VNIR, RE, SWIR	Mevsimsel
Hakan M. Doğan vd. [198]	Bitki Örtüsü Yoğunluğunun Tespiti	30	8	VNIR	-
James Muthoka vd. [199]	Mera ve Otlak Alanların Sınıflandırılması	10	12	VNIR, RE, SWIR	-
Rosa Lasaponara vd. [200]	Vejetasyon Zararlıları ve Hastalıklarının Tespiti	10	12	VNIR	Yıllık
Xiaole Yu vd. [201]	Mera ve Otlak Alanlarında Kuraklık İzlemesi	30	8-12	VNIR, SWIR, TIR	Aylık – Yıllık
Yaxin Ding vd. [202]	Ada Kıyı Çizgilerinin Takibi	15-30	8	VNIR	5 – 25 Yıl
Ramazan Güngör vd. [203]	Göl Yüzeyindeki Alansal Değişimin İncelenmesi	15-30	12	VNIR, SWIR	Yıllık
Yaolin Liu vd. [204]	Kıyı Çizgisi Çıkarımı	15-30	12	VNIR	-
A. Sukkuea vd. [205]	Su Kalitesi Parametrelerinin Uzamsal İncelenmesi	10	12	VNIR, SWIR	Mevsimsel
Taşkın Kavzoğlu vd. [206]	Müsilaj Tespiti ve Takibi	10	12	VNIR, SWIR	Haftalık – Aylık
Khalid Abdullah vd. [207]	Su Yüzeyi Termal Kirlilik Analizi	30	12	TIR	Aylık
Jibo Yue vd. [208]	Çıplak Toprak Yüzeyindeki Nem İçeriğinin Tahmini	10-20	12	VNIR, SWIR	-
Hossein Panahi vd. [209]	Çıplak Toprak Alanlarının Tespiti	15-30	12	VNIR, SWIR	-
Wei Jia vd. [210]	Kaya Çözü Oluşumlarının İzlenmesi	30	8-12	VNIR, SWIR	Yıllık
M. K. Firozjaei vd. [211]	Madenciliğin Arazi Biyofiziksel Özelliklerine Etkisi	15-30	8	VNIR, SWIR, TIR	5 Yıl
Xin Wang vd. [212]	Deprem Sonrası Heyelan Aktivitelerinin Takibi	15-30	8	VNIR, SWIR, TIR	Yıllık

Tablo 4.4 Tavsiye Edilen Görüntü Çözünürlük Değerleri

Arazi Sınıfı	Analiz	Mekânsal Çözünürlük (m)	Radyometrik Çözünürlük (bit)	Spektral Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük
<b>Kentsel Alanlar</b>	Şehircilik ve Planlama	0,1 – 0,5	12 – 16	RGB, NIR	Aylık – Yıllık
	Çevre ve Sağlık	0,1 – 1	8 – 16	RGB, NIR, TIR	Aylık – 3 Aylık
	Afet ve Dirençlilik	0,1 – 1	8 – 16	RGB, NIR, SAR (X, C, L)	Haftalık – Yıllık
<b>Tarım Arazileri</b>	Ürün Deseni	1 – 10	8 +	RGB, NIR, RE	Aylık – 3 Aylık
	Bitki Sağlığı	1 – 2,5	8 +	RGB, NIR, RE, SWIR, TIR	Haftalık
	Rekolte ve Planlama	1 – 5	8 +	RGB, NIR, RE	Aylık
<b>Vejetasyon Alanları</b>	Tür Sınıflandırması	2,5 – 30	8 – 16	RGB, NIR, TIR	3 Aylık – Yıllık
	Vejetasyon Sağlığı ve Çevresel Etki Analizi	2,5 – 15	8 – 16	RGB, NIR	6 Aylık – Yıllık
	Karbon Depolama ve Biyokütle Tahmini	5 – 15	8	RGB, NIR	Yıllık
<b>Su Kütleleri</b>	Kıyı Çizgisi Belirlenmesi	10 – 30	8 +	RGB, NIR	6 Aylık – 1 Yıllık
	Su Kirliliği Parametreleri	10 – 30	8 +	RGB, NIR, SWIR, TIR	Haftalık – 6 Aylık
<b>Çıplak Toprak</b>	-	10 – 30	8	RGB, NIR	Yıllık – 3 Yıllık

Arazi örtüsü sınıflarının Türkiye genelinde dağılımı incelendiğinde her sınıfın kendi içinde mekânsal ve kullanım amacı açısından farklılık gösterdiği görülmektedir. Örneğin bazı kentsel alanlar nüfus yoğunluğu, yapılaşma hızı ve ekonomik hareketlilik açısından son derece dinamik bir yapıdayken bazıları daha durağan özelliklere sahip olması görüntü zamansal çözünürlük ihtiyacını doğrudan etkilemektedir. Benzer şekilde, tarım arazileri de ekim-dikim takvimi ve ürün çeşitliliği gibi etkenlere bağlı olarak farklı görüntüleme ihtiyaçlarına sahiptir. Bu nedenle her bir arazi örtüsü sınıfı için önerilen çözünürlük değerlerinin, sınıfların Türkiye coğrafyasındaki arazi örtüsü temsil farklılıklarına binaen ve kullanım amaçları doğrultusunda özelleştirilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Şekil 4.3 Nüfus Yoğunluğuna göre Belirlenen Dinamik Kentsel Alanlar



Bu kapsamda, geliştirilen uygulamanın Altıgen Grid Seçimi moduna yönelik olarak kentsel alanlar dinamiklik düzeyine göre gruplandırılmıştır. Nüfus yoğunluğu, kentsel alanların dinamik yapısını belirleme de önemli bir gösterge olarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda UCBP üzerinden Türkiye İstatistik Kurumu tarafından yayımlanan “Nüfus Gridi 2024” adlı veri temin edilmiş ve kilometrekare başına 10.000 kişi ve üzeri nüfusa sahip alanlar “dinamik kentsel alanlar” olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3). 10.000 kişi/km<sup>2</sup> eşiği, büyükşehir merkezleriyle birlikte nüfus yoğunluğu yüksek ilçe merkezlerini de kapsayarak kentsel hareketliliğin en yoğun olduğu alanları tanımlamıştır. Farklı eşik değerleriyle yapılan denemeler sonucunda, 10.000 kişi/km<sup>2</sup> sınırının hem büyükşehir merkez bölgelerini hem de yüksek yoğunluklu ilçe merkezlerini en uygun biçimde ayırt ettiği görülmüş ve bu nedenle dinamik kentsel alanların belirlenmesinde tercih edilmiştir. Dinamik kentsel

alanlarda görüntü ihtiyacının daha sık olabileceği göz önünde bulundurularak bu alanlara yönelik zamansal çözünürlük önerileri Tablo 4.5'te sunulmuştur.

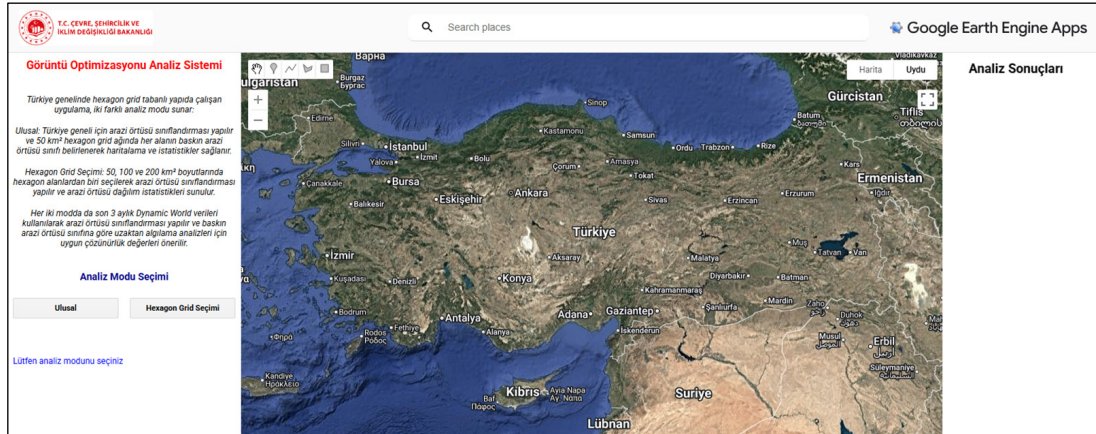
Tablo 4.5 Dinamik Kentsel Alanlar Tavsiye Edilen Çözünürlük Değerleri

Arazi Sınıfı	Analiz	Mek. Çöz. (m)	Rad. Çöz. (bit)	Spek. Çöz.	Zam. Çöz.
Dinamik Kentsel Alanlar	Şehircilik ve Plan.	0,1 – 0,5	12-16	RGB, NIR	Aylık
	Çevre ve Sağlık	0,1 – 1	8-16	RGB, NIR, TIR	Aylık
	Afet ve Dirençlilik	0,1 – 1	8-16	RGB, NIR, SAR (X, C, L)	Haftalık – 6 Aylık

## 4.2. Uygulama Sonuçları

Bu çalışma kapsamında geliştirilen uygulama, dinamik ve parçalı yapıya sahip Türkiye coğrafyasının arazi örtüsü özelliklerini dikkate alarak uzaktan algılama analizleri için uygun görüntü çözünürlük değerlerinin önerilmesini amaçlamaktadır. GEE platformu üzerinden geliştirilen uygulamaya (Şekil 4.4) internet adresi üzerinden erişim sağlanarak analizler gerçekleştirilebilmektedir [213].

Şekil 4.4 Görüntü Optimizasyonu Analiz Uygulaması Arayüzü



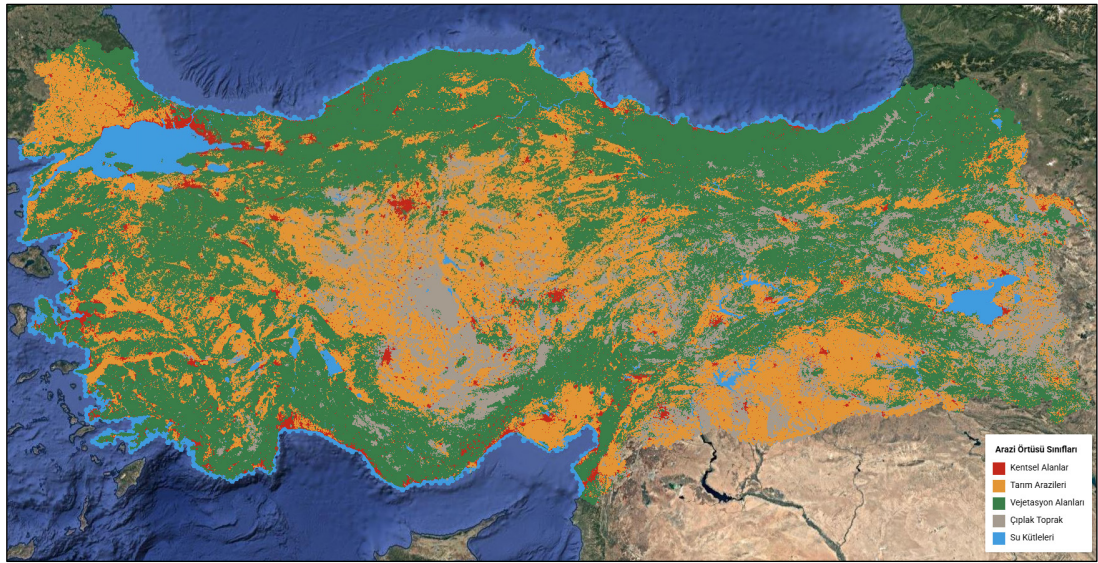
Geliştirilen uygulamanın Ulusal ve Altıgen Grid Seçimi olmak üzere iki analiz modu bulunmaktadır. Her iki modda da son 3 aylık Dynamic World verileri kullanılarak arazi örtüsü sınıflandırması yapılır ve uzaktan algılama tabanlı

gerçekleştirilebilecek analiz türlerine göre mekânsal, radyometrik, spektral ve zamansal çözünürlük değerleri önerilir.

#### 4.2.1. Ulusal Analiz Modu

Ulusal analiz modunda Türkiye geneli için arazi örtüsü verileri sınıflandırılarak görselleştirilmektedir. Şekil 4.5'te uygulama üzerinden Türkiye geneli arazi örtüsü sınıflandırması örneği yer almaktadır.

Şekil 4.5 Türkiye Geneli Arazi Örtüsü Sınıflandırması

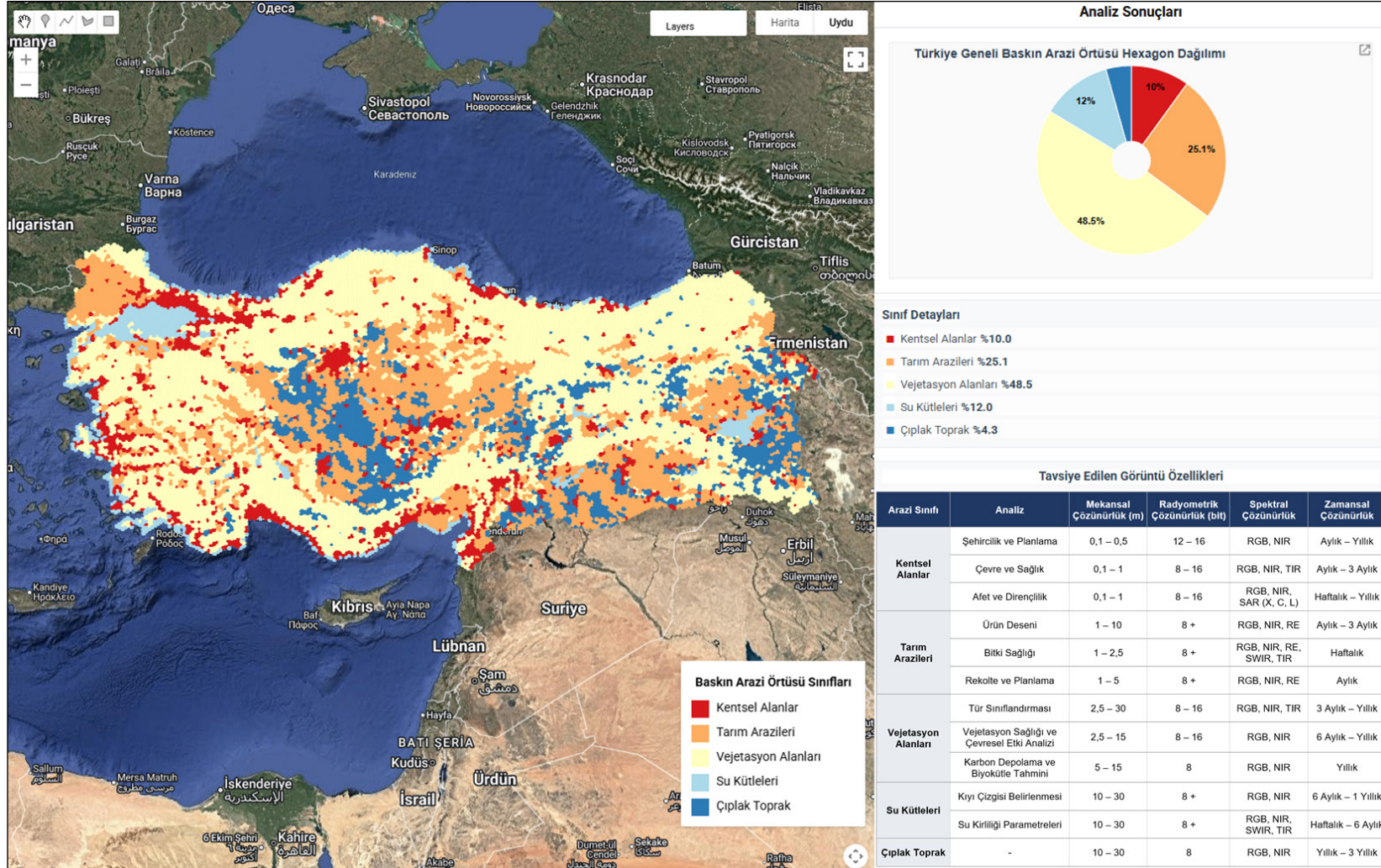


Arazi örtüsü sınıflandırmasının ardından 50 km<sup>2</sup> grid ağında her altıgen alanın baskın arazi örtüsü sınıfı belirlenerek haritada gösterilir. Analiz sonuçları bölümünde altıgen grid bazında baskın arazi örtüsü dağılımı istatistikleri ve önerilen görüntü özellikleri tablosu kullanıcıya sunulur. Şekil 4.6'da uygulama üzerinden yapılan baskın arazi örtüsü analizi haritası örneği yer alırken, Şekil 4.7'de baskın arazi örtüsü analizi ile birlikte altıgen dağılım istatistikleri ve önerilen görüntü özellikleri tablosunun sunum arayüzü yer almaktadır.

Şekil 4.6'da yer alan baskın arazi örtüsü haritası incelendiğinde İç Anadolu Bölgesi'nin geniş bir bölümünde tarım (turuncu) ve çıplak toprak (koyu mavi) arazilerinin baskın olduğu görülmektedir. Karadeniz Bölgesi'nde vejetasyon alanları (sarı) öne çıkarken, Batı Anadolu'da Ege kıyıları ve Marmara Bölgesi'nde kentsel



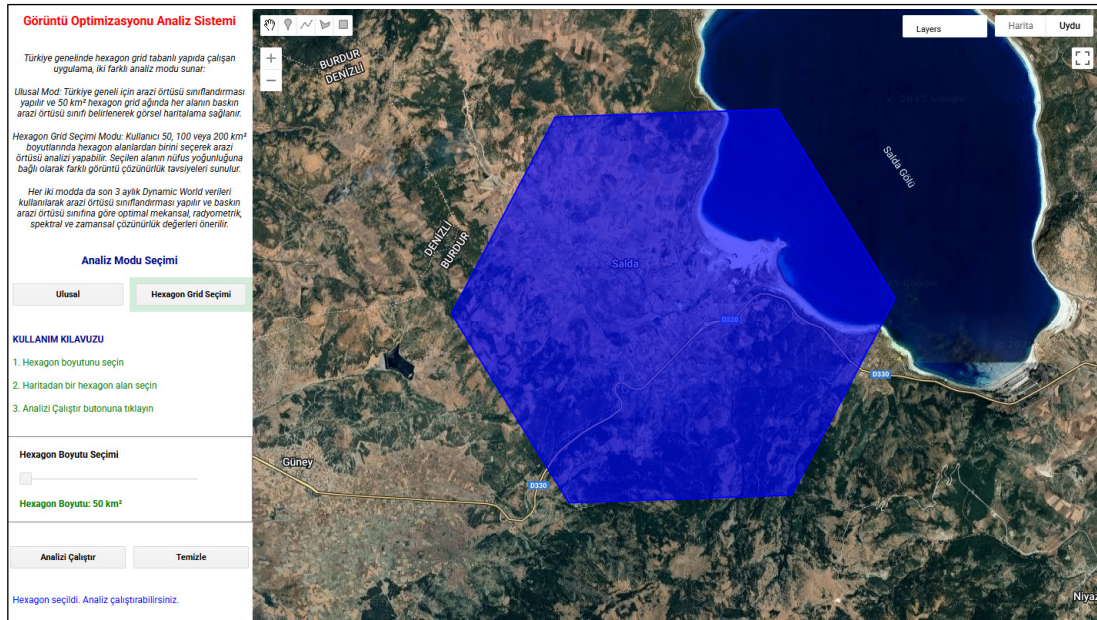
Şekil 4.7 Baskın Arazi Örtüsü Sınıfları ve Tavsiye Edilen Görüntü Özellikleri



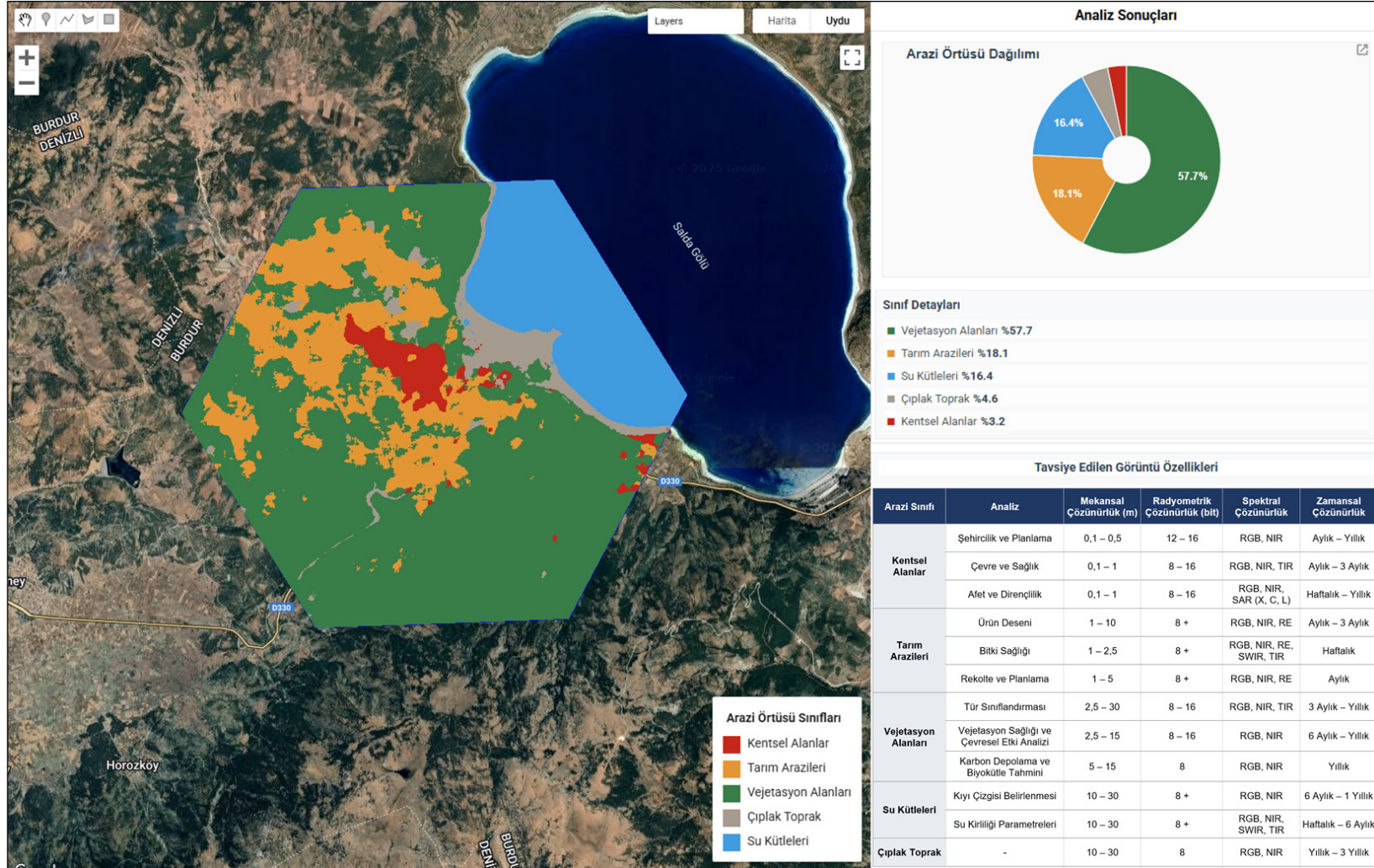
#### 4.2.2. Altıgen Grid Seçimi Analiz Modu

Altıgen Grid Seçimi modunda her biri 50 km<sup>2</sup>, 100 km<sup>2</sup> veya 200 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip altıgen hücrelerden oluşan ağlarından biri seçilebilmektedir. Altıgen boyutu belirlendikten sonra uygulama arayüzünde yer alan harita üzerinden analiz yapılması istenen altıgen hücre seçilebilmesiyle analiz ve ihtiyaç ölçeğine uygun olarak sonuç alınması hedeflenmektedir. Şekil 4.8’te 50 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip bir altıgenin seçildiği örnek uygulama arayüzü gösterilmektedir.

Şekil 4.8 50 km<sup>2</sup> Altıgen Grid Seçimi

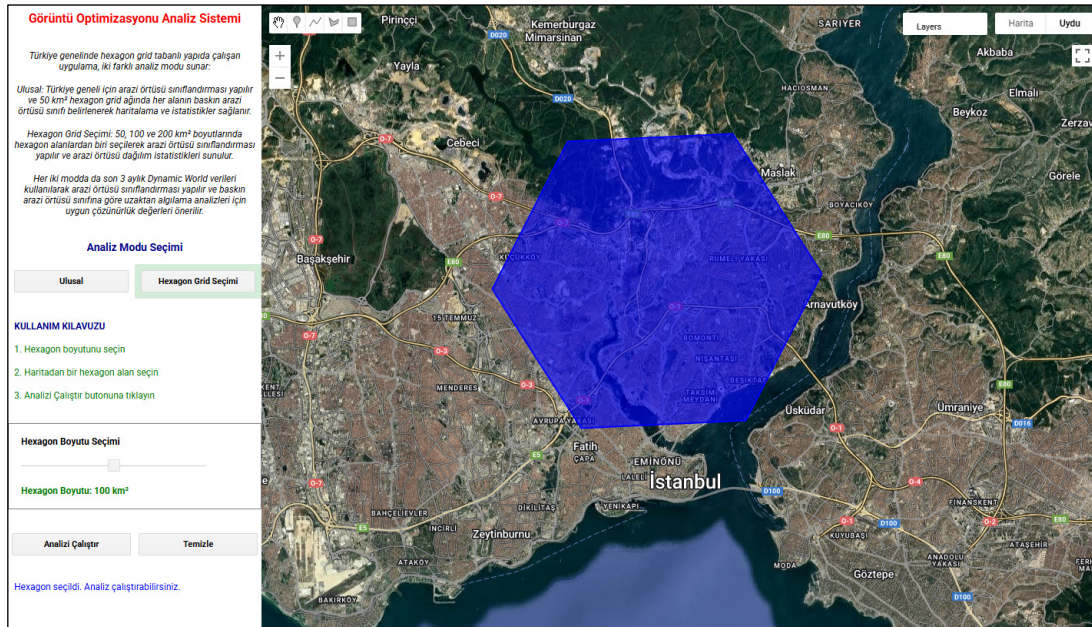


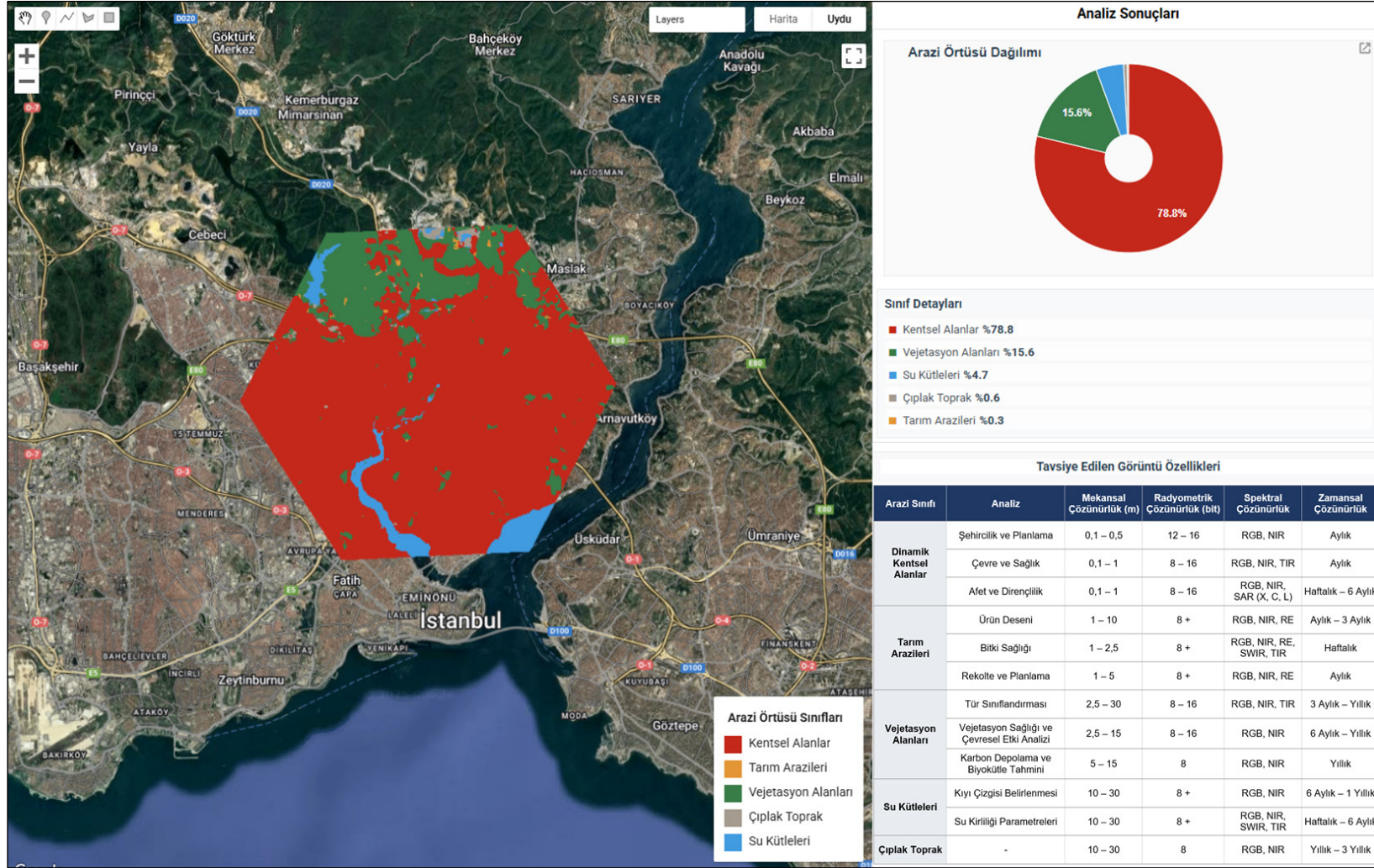
Altıgen boyutu ve harita üzerinden alan seçiminin ardından ilgili bölgede arazi örtüsü verileri sınıflandırılmaktadır. Uygulama arayüzünde sağ bölümde yer alan analiz sonuçları panelinde arazi örtüsü dağılımını gösteren grafik ile önerilen görüntü özelliklerini içeren tablo çıktıları verilmektedir. Şekil 4.9’da örnek olarak seçilen 50 km<sup>2</sup> altıgen alanda gerçekleştirilen sınıflandırma sonucu ve analiz çıktıları yer almaktadır. Salda Gölü’nün bir bölümünü kapsayan bir bölgede yapılan analizde %57,7 oranında vejetasyon alanları, %18,1 tarım arazileri, %16,4 su kütleleri, %4,6 çıplak toprak ve %3,2 kentsel alanlar bulunduğu sınıflandırma sonucu görülmektedir. Bu bölgede yapılacak uzaktan algılama tabanlı analizlerde önerilen görüntü özellikleri de tablo aracılığıyla sunulmaktadır.

Şekil 4.9 Seçilen 50 km<sup>2</sup> Altıgen Grid için Analiz Sonuçları

Bölümün devamında geliştirilen uygulama üzerinden gerçekleştirilen farklı örneklere yer verilmiştir. Şekil 4.10'da sunulan örnekte, 100 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip ve İstanbul Avrupa yakasında yer alan bir alan seçilmiştir. Yapılan arazi örtüsü verileri sınıflandırması sonucunda bölgede %78,8 oranında kentsel alanlar, %15,6 vejetasyon alanları ve %4,7 su kütleleri yer aldığı görülmektedir. Seçilen bölge kilometrekare başına 10.000 kişi üzeri nüfus yoğunluğuna sahip olduğu için dinamik kentsel alan olarak nitelendirilmiştir. Bu kapsamda önerilen görüntü özellikleri tablosu, kentsel alanlar için yapılan özelleştirme dikkate alınarak oluşturulmuş ve analiz sonuçlarında yer almıştır (Şekil 4.11).

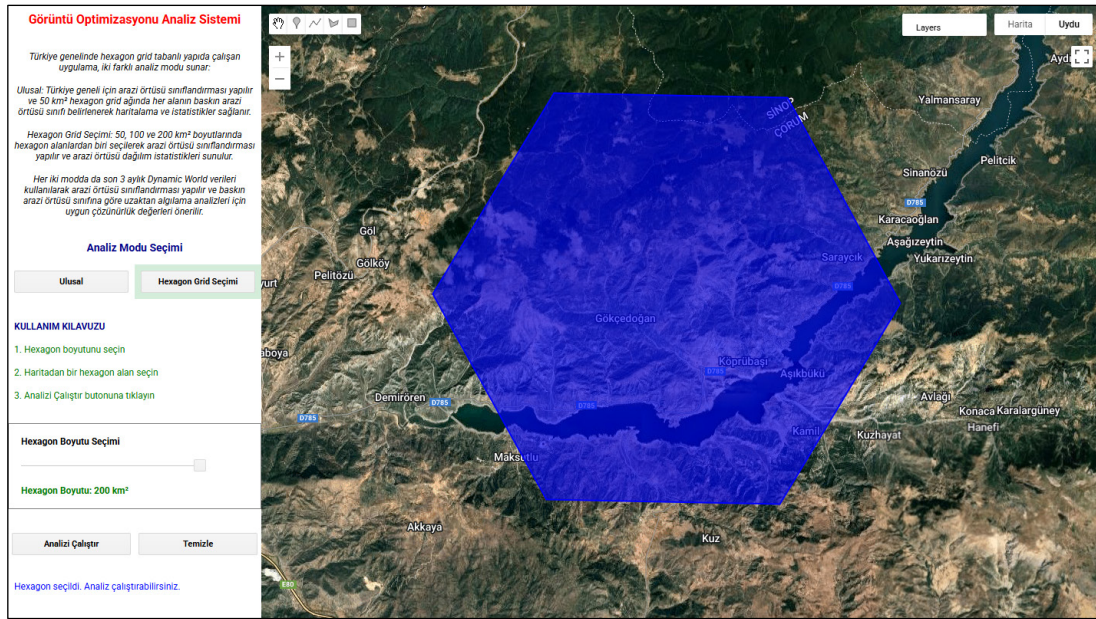
Şekil 4.10 100 km<sup>2</sup> Altıgen Grid Seçimi

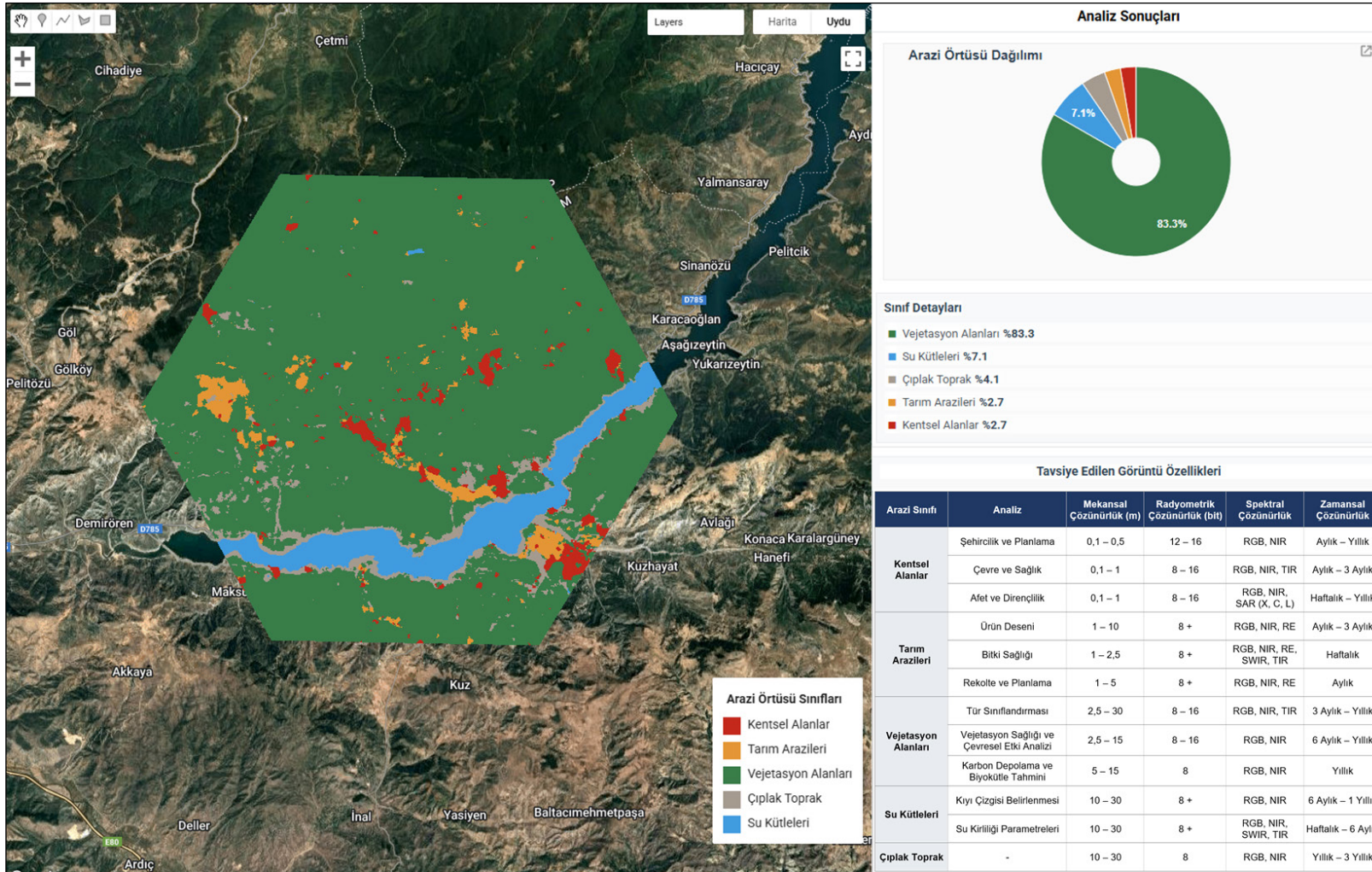


Şekil 4.11 Seçilen 100 km<sup>2</sup> Altıgen Grid için Analiz Sonuçları

Diğer bir örnekte 200 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahip ve Çorum-Sinop illeri sınırında yer alan bir alan seçilmiştir (Şekil 4.12). Gerçekleştirilen arazi örtüsü verileri sınıflandırması analizi sonucunda bölgede %83,3 oranında vejetasyon alanları, %7,1 oranında su kütleleri ve %4,1 oranında çıplak toprak alanlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Arazi örtüsü dağılım istatistiklerinin ardından benzer şekilde önerilen görüntü özellikleri tablosu analiz sonuçları bölümünde sunulmaktadır (Şekil 4.13).

Şekil 4.12 200 km<sup>2</sup> Altıgen Grid Seçimi



Şekil 4.13 Seçilen 200 km<sup>2</sup> Altıgen Grid için Analiz Sonuçları

### 4.2.3. Sonuçlar

Bu alışma kapsamında Türkiye genelinde uzaktan algılama analizlerinde kullanılması önerilen görüntü znrlk değerlerinin belirlenmesine yönelik bir web uygulaması geliştirilmiştir. GEE altyapısı ile hazırlanan uygulama ülke genelinde analiz sağlayabilen Ulusal Analiz Modu ve belirli bir bölge üzerinde detaylı inceleme yapabilen Altıgen Grid Seçimi Modu olmak üzere iki farklı kullanım özelliğine sahiptir. Her iki modda da Dynamic World veri seti kullanılarak arazi örtüsü sınıflandırması gerçekleştirilmekte ve uzaktan algılama analizleri için mekânsal, radyometrik, spektral ve zamansal znrlk değerleri önerilmektedir.

Geliştirilen uygulama hem ülke genelinde hem de seçilen belirli alanlarda etkili sonuçlar vermektedir. GEE altyapısının sağladığı avantajla güncel veriler kullanılarak dakikalar içerinde ulusal çapta arazi örtüsü sınıflandırması ve grid bazında baskın sınıflar haritalanabilmektedir. Ulusal analiz modunda elde edilen baskın arazi örtüsü sınıflarının grid bazlı dağılımı ve istatistikleri, uzaktan algılama analizlerinde ihtiyaç duyulan görüntü özelliklerine yönelik ulusal düzeyde genel bir fikir sunmaktadır. Altıgen seçim modu ise ihtiyaç duyulan daha kk alanlarda saniyeler içerisinde arazi örtüsü sınıflandırması sunarak analizler için uygun değerlerin kolay bir şekilde görüntülenmesini sağlamaktadır. Her arazi örtüsü sınıfın kendi içinde mekânsal ve kullanım amacı açısından farklılık gösterdiğinden bu uygulama kapsamında kentsel alanlar dinamiklik yönünden özelleştirilmiştir. Yapılan bu zelleştirme ile arazi örtüsü verilerinin yanında demografik özelliklerde analiz sürecine dahil edilmiştir. Gelecek çalışmalarda diğer arazi örtüsü sınıflarının da kullanım amaçlarına göre özelleştirilmesi çalışmanın doğruluğunu artıracaktır.

Uygulamada kullanılan Dynamic World veri setinin doğruluk oranları %70 ile %85 arasında değişmektedir. Yapılan literatür incelemeleri, düşük doğrulukların önemli bir kısmının ayır, çalı ve orman gibi vejetasyon sınıflarının birbirinden ayırımında ortaya çıktığını göstermektedir. Bu uygulamada söz konusu üç sınıf tek bir vejetasyon kategorisi altında birleştirildiğinden sonuçların bu anlamda daha güvenilir hale geldiği düşünmektedir. Diğer yandan uygulamada en kk analiz boyutu olan 50 km<sup>2</sup> yzlmne sahip altıgenler, daha kk ölçekteki uygulamalar için yetersiz

kalabilmektedir. Ayrıca uygulamada yer alan farklı boyutlardaki altıgen grid sistemleri arasında daha kolay karşılaştırma yapılmasını sağlayacak hiyerarşik bir ilişki bulunmamaktadır. Bu kapsamda, gelecek çalışmalarda H3 gibi hiyerarşik ilişkisel yapıya sahip grid sistemlerinin kullanılması farklı ölçeklerdeki alanların daha karşılaştırılabilir şekilde analiz edilmesini sağlayacaktır.

Sonuç olarak geliştirilen uygulama, Türkiye coğrafyası üzerinde uzaktan algılama analizlerinde uygun çözünürlük değerlerinin belirlenmesi konusunda başarılı sonuçlar vermektedir. Analizlerde uygun çözünürlük değerlerine sahip görüntülerin üretilmesi, temin edilmesi veya kullanılması, analiz doğruluğu, maliyet ve kaynak kullanımı konularını daha verimli hale getirecektir. Uygulamanın, özellikle kamu kurumları ve yerel yönetimlerin mekânsal analiz süreçlerinde kaynakları daha verimli kullanmalarına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Önerilen geliştirmelerle birlikte uygulamanın gelecek çalışmalarda amacına daha etkili şekilde hizmet etmesi beklenmektedir.

## BÖLÜM 5

### UYGULAMA-1

#### 2021 Yılı Bodrum – Milas Yangını Sonrası Bitki Örtüsü Yenilenmesinde Yanma Şiddeti Etkilerinin Değerlendirilmesi

##### 5.1. Giriş

Son yıllarda iklim değişikliğinin etkileri, dünya genelinde orman yangınlarının sayısı ve şiddetinde önemli bir artışa neden olmuştur. Türkiye de bu durumdan etkilenmekte olup Akdeniz iklim kuşağında yer alması nedeniyle yangınlara karşı hassas bölgeler arasındadır. OGM verilerine göre Türkiye’de yıllık ortalama 2.200 civarında orman yangını meydana gelmekte ve bu yangınlar 10.000 hektardan fazla alanı etkilemektedir. Ancak 2021 yılında yaklaşık 140.000 hektar alan yangına maruz kalmış, bu anlamda 2021 yılı olağanüstü bir dönem olmuştur [214]. Bodrum-Milas bölgesindeki yangınlar da bu yıl içerisinde gerçekleşen ve geniş alanlarda etkili olan yangınlardan biri olmuştur.

Yangınlar orman ekosistemlerinin özgün yapısını ve bileşimini doğrudan değiştirmekte ve farklı yanma şiddetleri, bitki topluluklarının yenilenmesi üzerinde farklı derecelerde etkiler oluşturmaktadır. Ayrıca yangınlar, türler arasındaki rekabeti yeniden şekillendirerek bazı türlerin avantaj kazanmasına, bazılarının ise baskılanmasına neden olmaktadır [195]. Bu durum ekosistem üzerinde uzun süreli derin etkiler oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu kapsamda yangınların ekosistemler üzerindeki yıkıcı etkilerinin azaltılması için orman yönetimi ve yenileme planlaması büyük bir önem taşımaktadır. İyi planlanmış bir yenileme süreci geleceğin doğal yapısını yeniden inşa ederek iklim değişikliğine daha uyumlu, yangına daha dirençli ve biyolojik çeşitliliği zenginleştiren ekosistemler yaratılmasını sağlayabilir [215].

Uzaktan algılama teknolojileri, yangınların takibi ve bitki örtüsü yenilenme süreçlerinin analiz edilmesinde etkili bir araçtır. Gelişmiş mekânsal ve spektral çözünürlük özellikleri ile Sentinel-2 uydusu, orman yangınları sonrası arazi örtüsü değişimlerini izlemek için ideal bir veri kaynağıdır. Sentinel-2 uydusu, 10 ile 60 metre arasındaki mekânsal çözünürlüğü ve geniş bant aralığı sayesinde vejetasyon indeksi

hesaplamaları için uygundur. Ayrıca yüksek zamansal çözünürlüğü (2-5 gün), zaman serisi analizlerinin kapsamlı ve detaylı bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır.

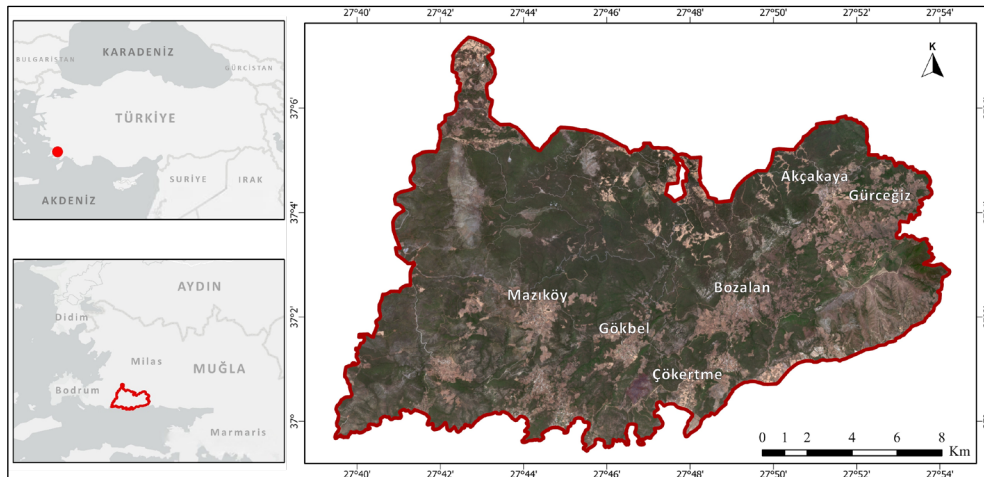
Bu çalışmada, 2021 yılı Bodrum – Milas yangını sonrasında yanma şiddetinin bitki örtüsü yenilenmesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmada, yaklaşık üç yıllık bir zaman dilimine ait Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bitki örtüsü yenilenme süreçlerini izlemek ve yanma şiddeti sınıflarını belirlemek amacıyla Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ile Normalize Edilmiş Yanma Oranı İndeksi (NBR) hesaplanmış, elde edilen sonuçlar grafiklerle görselleştirilmiştir. Sonrasında bitki örtüsü ve yanma şiddeti sınıflandırmaları yapılmış, farklı yanma şiddeti düzeylerine sahip alanlarda bitki örtüsünün yenilenme süreci ve NDVI ile NBR indekslerindeki değişimler analiz edilmiştir.

## 5.2. Materyal

### 5.2.1. Çalışma Alanı

Çalışma, Muğla ilinin Bodrum ve Milas ilçelerinde yer alan ve  $27^{\circ}39'28''$  –  $27^{\circ}54'14''$  doğu boylamları ile  $36^{\circ}59'33''$  –  $37^{\circ}7'21''$  kuzey enlemleri arasında kalan yaklaşık 178,34 km<sup>2</sup> büyüklüğünde bir alanı (Şekil 5.1) kapsamaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre, bölge yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık bir iklim yapısına sahiptir ve en fazla yağışı kış mevsiminde almaktadır [216]. Çalışma alanında orman örtüsü ağırlıklı olarak çam ve meşe ağaçlarından oluşurken, çalı alanlarında ise yabancı zeytin, defne ve zakkum yaygın türler arasında yer almaktadır.

Şekil 5.1 Yangın Bölgesi – Çalışma Alanı



### 5.2.2. Veriler ve Uygulamalar

Bu çalışmada, Sentinel-2 uydu görüntüleri ve ArcGIS Pro 3.0 yazılımı kullanılmıştır. Sentinel-2 görüntüleri, 10 m ile 60 m arasında değişen mekânsal çözünürlükleri (Tablo 5.1), farklı spektral bantlar içermesi ve kısa tekrar ziyaret süresiyle çevresel değişimlerin izlenmesi için ideal bir veri kaynağıdır. Ayrıca, Sentinel-2'nin sağladığı kızılötesi bantlar sayesinde, Normalize Edilmiş Yanma Oranı (NBR) gibi yangın sonrası analizlerde kullanılan indekslerin hesaplanabilmesi, bu verilerin tercih edilmesinde önemli bir etken olmuştur.

Tablo 5.1 Sentinel-2 Bantlar ve Mekânsal Çözünürlük Değerleri

<b>Bantlar</b>	<b>Mekânsal Çözünürlük (m)</b>
Bant 1 – Kıyı / Aerosol	60
Bant 2 – Mavi	10
Bant 3 – Yeşil	10
Bant 4 – Kırmızı	10
Bant 5 – Kırmızı Kenar	20
Bant 6 – Kırmızı Kenar	20
Bant 7 – Kırmızı Kenar	20
Bant 8 – Yakın Kızılötesi	10
Bant 8A – Kırmızı Kenar	20
Bant 9 – Su Buharı	60
Bant 10 – Kısa Dalga Kızılötesi (Cirrus)	60
Bant 11 – Kısa Dalga Kızılötesi	20
Bant 12 – Kısa Dalga Kızılötesi	20

Bodrum – Milas yangını 29 Temmuz 2021 tarihinde başlayıp 9-10 Ağustos 2021 tarihlerinde kontrol altına alınmıştır. Yangının bitki örtüsü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla çalışmada yangın öncesi, yangının hemen sonrası ve ardından gelen 3 yıllık süreci kapsayan, yaklaşık 3 aylık periyotlarla alınan Sentinel-2 görüntüleri kullanılmıştır (Tablo 5.2).

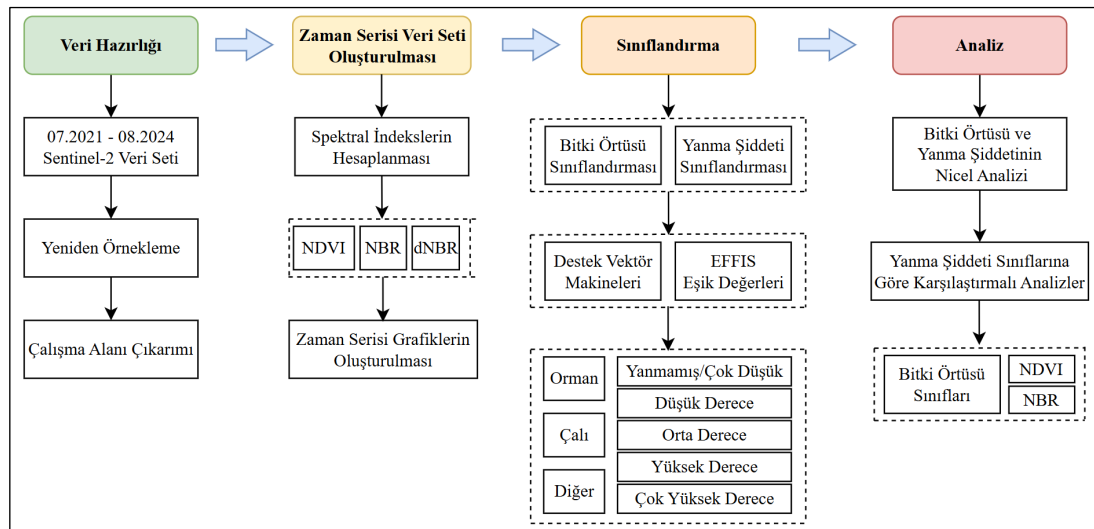
Tablo 5.2 Yangın Çalışmasında Kullanılan Görüntülerin Tarihleri

	Görüntü Tarihleri	Yangın Süreci
1	13 Temmuz 2021	Yangın Öncesi
<i>29 Temmuz 2021 &amp; 9-10 Ağustos 2021</i>		<i>Yangın</i>
2	10 Ağustos 2021	Yangın Sonrası
3	15 Kasım 2021	
4	11 Şubat 2022	
5	07 Mayıs 2022	
6	17 Ağustos 2022	
7	10 Kasım 2022	1 Yıl Sonrası
8	16 Şubat 2023	
9	29 Nisan 2023	
10	17 Ağustos 2023	
11	15 Kasım 2023	2 Yıl Sonrası
12	18 Şubat 2024	
13	13 Mayıs 2024	
14	09 Ağustos 2024	
		3 Yıl Sonrası

### 5.3. Metodoloji

Analizin iş akış şeması Şekil 5.2’te sunulmuştur. İlk aşamada, Temmuz 2021 – Ağustos 2024 tarihleri arasındaki 14 adet Sentinel-2 görüntüsü ile zaman serisi veri seti oluşturulmuş, görüntüler 10 m çözünürlüğe yeniden örneklenecek mekânsal olarak uyumlu hale getirilmiş ve çalışma alanı çıkarımı yapılmıştır.

Şekil 5.2 Yangın Sonrası Bitki Örtüsü Yenilenmesi Analizi – İş Akış Şeması



NDVI ve NBR indeksleri hesaplanarak zaman serisi grafikleri oluşturulmuştur. NDVI, genellikle bitki örtüsünün varlığını, yoğunluğunu ve canlılığını tespit etmek için kullanılmaktadır [217]. NBR indeksi ise yanmış alanların tespiti, yanma şiddetinin belirlenmesi ve yangın sonrası ekosistemin toparlanma hızının değerlendirilmesi için kullanılan bir indekstir [218]. Ayrıca, yangın öncesi (13.07.2021) ve yangın sonrası (10.08.2021) NBR değerleri farkı kullanılarak dNBR indeksi hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan indeks formülleri Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Yangın Çalışmasında Kullanılan İndekslerin Formülleri

İndeks	Formül
NDVI	$(B8A - B4) / (B8A + B4)$
NBR	$(B8A - B12) / (B8A + 12)$
dNBR	$NBR_{\text{önce}} - NBR_{\text{sonra}}$

Takip eden aşamada yangın öncesi, yangın sonrası, yangından 1 yıl sonrası, 2 yıl sonrası ve 3 yıl sonrasına ait görüntülerde bitki örtüsü sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi, Destek Vektör Makineleri (SVM) algoritması ile NDVI indeksi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SVM, verileri sınıflandırmak için her sınıf arasındaki mesafeyi en üst düzeye çıkaran optimal bir doğru veya hiper düzlem bulan, denetimli bir makine öğrenme algoritmasıdır [219]. Bitki örtüsü sınıflandırma sonucu üç kategoriye ayrılmıştır: orman, çalı ve diğer (çıplak arazi, kentsel alanlar).

Çalışmanın devamında yanma şiddetinin belirlenmesi amacıyla dNBR indeksi, Avrupa Orman Yangın Bilgi Servisi (EFFIS) tarafından önerilen eşik değerler kullanılarak sınıflandırılmıştır (Tablo 5.4). Son olarak bitki örtüsü ve yanma şiddeti sınıflarının analizi yapılmış, farklı yanma şiddeti sınıflarında bitki örtüsü sınıflarının zamansal dağılımı ve NDVI ile NBR indekslerinin ortalama değerleri analiz edilmiştir.

Tablo 5.4 EFFIS Tarafından Önerilen dNBR Sınıflandırma Eşik Değerleri

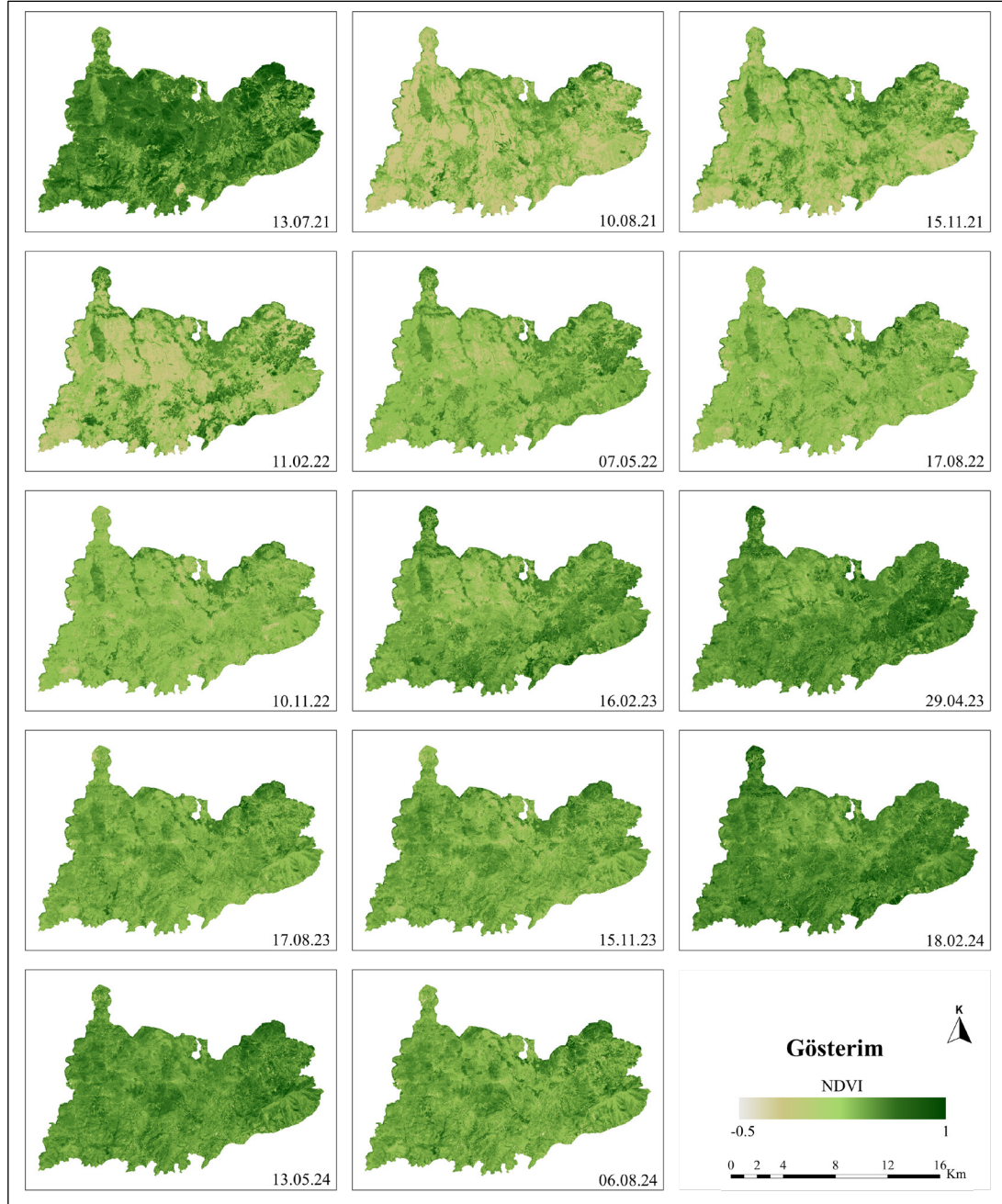
EFFIS Eşik Değerleri	Yanma Şiddeti Sınıfı
$dNBR < 0.100$	Yanmamış / Çok Düşük
$0.100 \leq dNBR \leq 0.255$	Düşük
$0.256 \leq dNBR \leq 0.419$	Orta
$0.420 \leq dNBR \leq 0.660$	Yüksek
$dNBR > 0.660$	Çok Yüksek

## 5.4. Bulgular

### 5.4.1. Zaman Serisi Veri Seti Oluşturulması

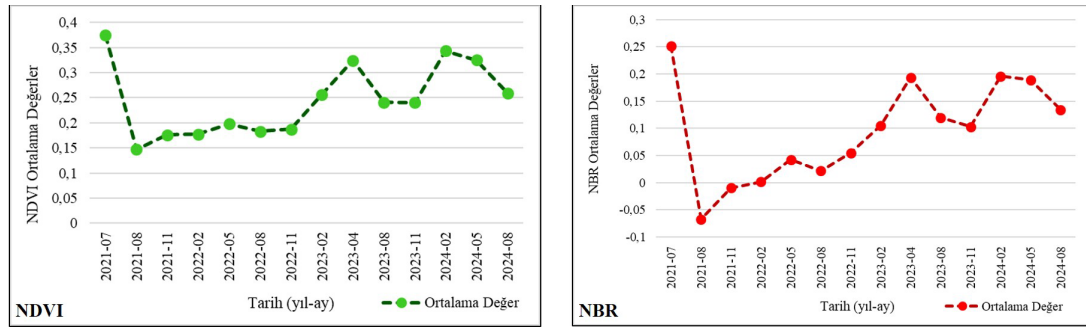
Yangın sonrası bitki örtüsünün yenilenme sürecini anlamak amacıyla, Temmuz 2021 ile Ağustos 2024 tarihleri arasındaki Sentinel-2 görüntülerinden zaman serisi veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti üzerinden NDVI indeksi hesaplanarak zamansal değişimi gösteren haritalar (Şekil 5.3) oluşturulmuştur.

Şekil 5.3 NDVI Zaman Serisi Haritaları



NDVI ve NBR indekslerinin ortalama değerleri, yangından etkilenen alanların toparlanma sürecini değerlendirmek amacıyla hesaplanmış ve zaman serisi grafiklere (Şekil 5.4) dönüştürülmüştür. Yangından önce NDVI ortalama değeri 0,37 olarak hesaplanmışken, yangın sonrası 0,15'e düşmüştür. Yangından bir yıl sonra NDVI değeri 0,18'e yükselmiş, ikinci yılda 0,24 ve üçüncü yılda ise 0,26 değerine ulaşarak bitki örtüsünün toparlanma süreci izlenmiştir. Benzer şekilde, yangın öncesi NBR değeri 0,25 olarak belirlenirken, yangın sonrası bu değer -0,07'e gerilemiştir. Yangından bir yıl sonra NBR 0,02, ikinci yılda 0,12 ve üçüncü yılda ise 0,13 değerine ulaşmıştır. Grafiklerde sunulan değişimler yangının alan üzerindeki etkisinin ve ardından gelen toparlanmanın zamansal olarak nasıl ilerlediğini göstermektedir.

Şekil 5.4 NDVI ve NBR Ortalama Değerler Zaman Serisi Grafikleri

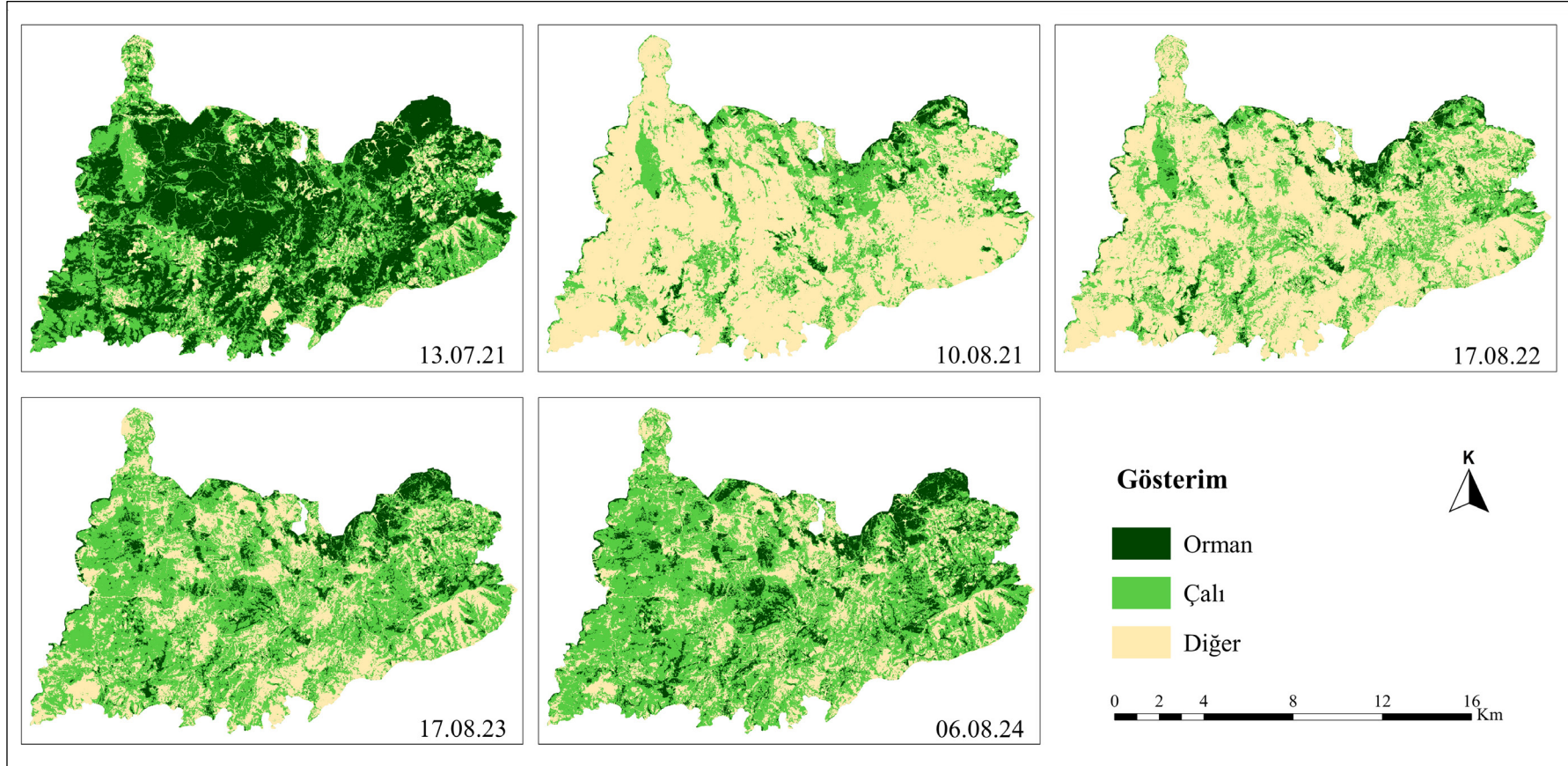


Zaman serisi grafiklerinde, Şubat-Mayıs aylarında NDVI ve NBR indekslerinin yıl içinde zirve yaptığı görülmüştür. Bölgenin Akdeniz ikliminde yer alması, bu piklerin sebebi olarak değerlendirilmektedir. Kış sonu ve ilkbahar aylarında yağışların artması ve sıcaklıkların bitki örtüsünün gelişimi için uygun seviyelere ulaşması, bölgedeki bitki örtüsünün yoğunluğunda belirgin bir artışa yol açmıştır. Aynı yıl içerisindeki Ağustos aylarında ise sıcak ve kurak koşulların su stresini artırması ve yaprakların kuruması nedeniyle indeks değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

#### 5.4.2. Bitki Örtüsü ve Yanma Şiddetinin Sınıflandırılması

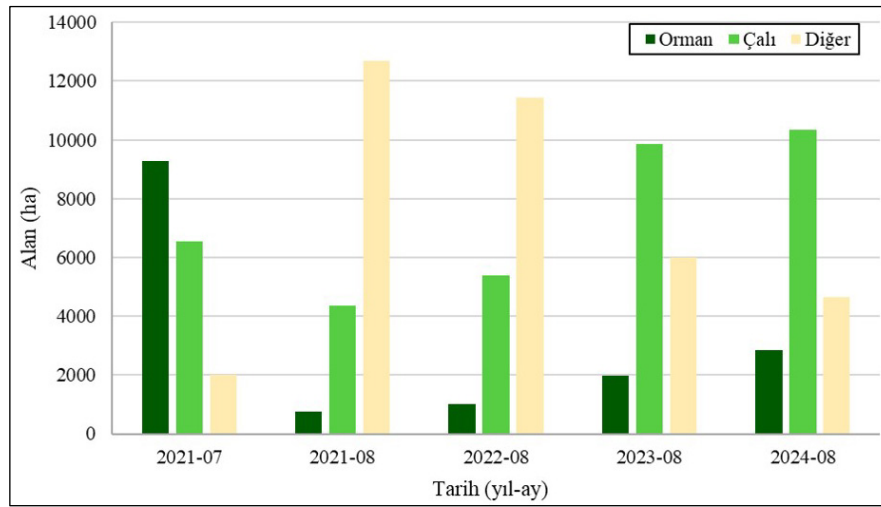
Bitki örtüsü sınıflandırması ve zamansal değişim analizleri sonucunda yangın sonrası bitki örtüsünde önemli değişiklikler gözlemlenmiştir. Yangın öncesi ve sonrası orman ile çalı örtüsündeki yüzey alanı değişimleri, Şekil 5.5'teki haritalar ve Şekil 5.6'daki grafikte detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Şekil 5.5 Bitki Örtüsü Sınıflandırması Zaman Serisi Haritaları



Orman alanları, yangın öncesi (13.07.2021) 9274,61 hektar iken yangın sonrası (10.08.2021) 763,51 hektara düşerek yaklaşık %91 oranında azalma göstermiştir. Çalı alanları ise yangın öncesi 6561,54 hektardan, yangın sonrası 4368,59 hektara düşerek %32'lik azalma yaşamıştır. Yangın öncesinde çalışma alanının %52'si orman, %37'si çalı ve %11'i diğer alanlardan oluşurken, yangın sonrası dönemde %4 orman, %25 çalı ve %71 diğer alanlardan oluşmaktadır. Ayrıca yangından üç yıl sonra çalışma alanı %16 orman, %58 çalı ve %26 diğer alanlardan oluşmaktadır.

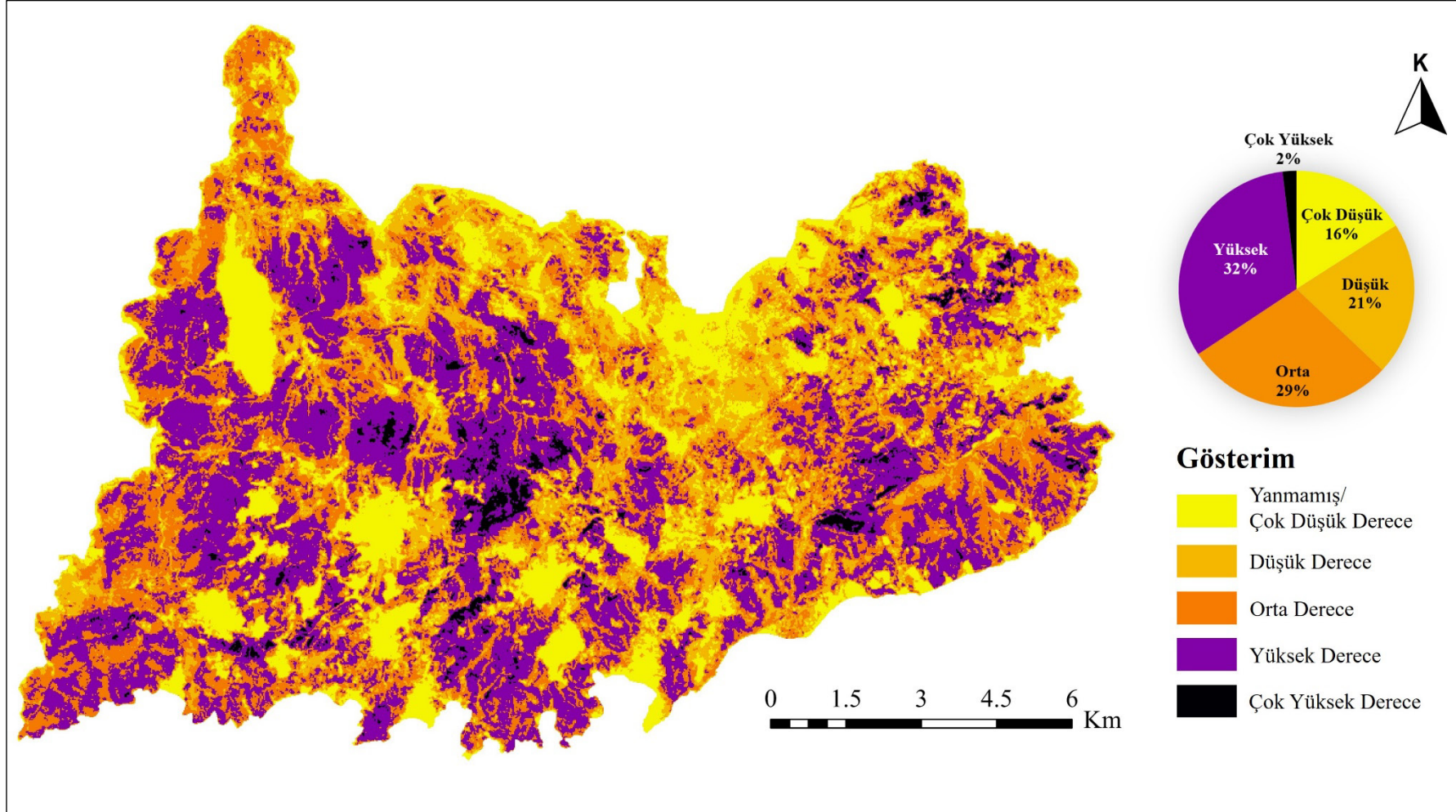
Şekil 5.6 Bitki Örtüsü Sınıflandırması Zaman Serisi Grafiği



Bitki örtüsü yenilenme süreçleri incelendiğinde, orman alanlarının yangından bir yıl sonra (2022-08) yalnızca %3'ünün yenilediği (8500 hektar yanan alanın 240 hektarı yenilenmiştir), yangından üç yıl sonra (2024-08) ise bu oranın %24'e yükseldiği (2070 hektar alanın yenilediği) tespit edilmiştir. Çalı alanlarında ise, yangından bir yıl sonra yanan alanların %47'sinin yenilediği (2190 hektar yanan alanın 1030 hektarı yenilenmiştir) görülmüştür. Ayrıca yangının hemen sonrasında üç yıl sonrasına bakıldığında çalı alanlarının yaklaşık 2,5 katına çıktığı belirlenmiştir.

dNBR indeksi kullanılarak yapılan yanma şiddeti analizi (Şekil 5.7) ile yangının etkisini belirlemek için beş farklı yanma şiddeti sınıfı oluşturulmuştur. Bulgulara göre çalışma alanının %16'sı Yanmamış / Çok Düşük, %21'i Düşük, %29'u Orta, %32'si Yüksek ve %2'si ise Çok Yüksek yanma şiddeti sınıfına girmektedir. Bu sonuçlar, yangının farklı alanlarda farklı şiddetlerde etki gösterdiğini ve yanma şiddetinin en fazla Yüksek ve Orta sınıflarda yoğunlaştığını ortaya koymaktadır.

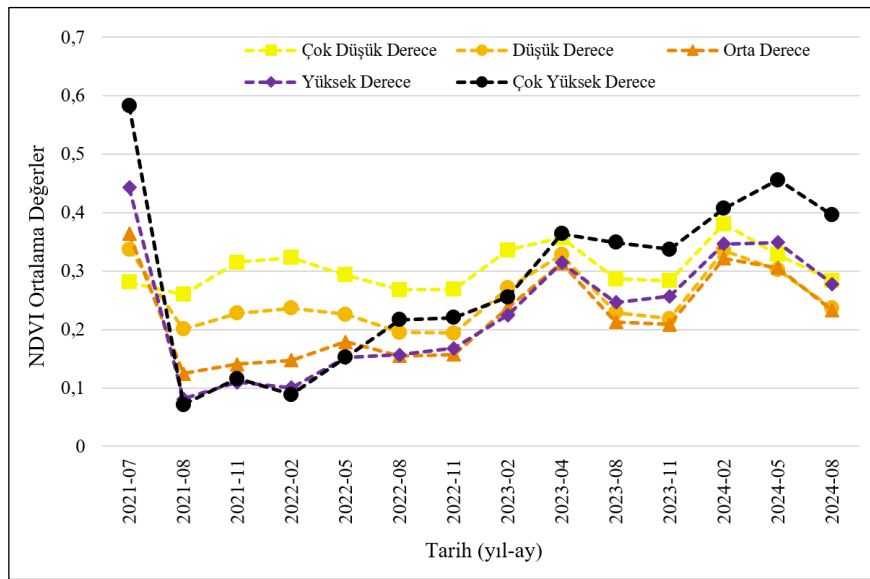
Şekil 5.7 Yanma Şiddeti Analizi Haritası



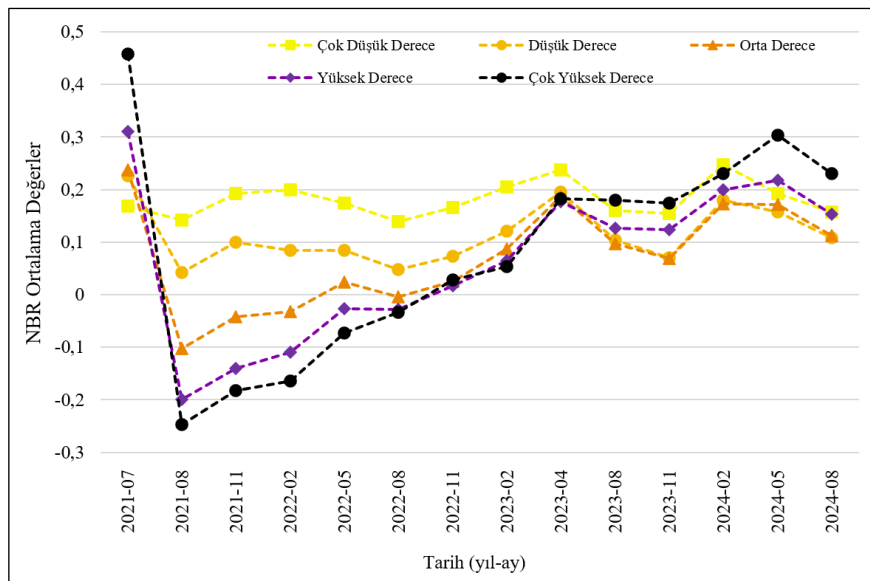
### 5.4.3. Yanma Şiddeti ve Bitki Örtüsü Yenilenmesi Arasındaki İlişki

NDVI ve NBR indeksleri, bitki örtüsünün yenilenme sürecini değerlendirmek için önemli göstergelerdir. Bu indeksler, farklı yanma şiddeti sınıfları altında yangın öncesi (2021-07), yangın sonrası (2021-08) ve yangından 3 yıl sonrasını (2024-08) kapsayan dönemde incelenmiştir (Şekil 5.8 ve Şekil 5.9). Yapılan analizler sonucunda yanma şiddeti ne kadar yüksekse NDVI ve NBR indekslerinde yangın sonrası düşüşün o kadar büyük olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.8 Yanma Şiddeti Sınıflarında NDVI Ortalama Değerler Zaman Serisi Grafiği



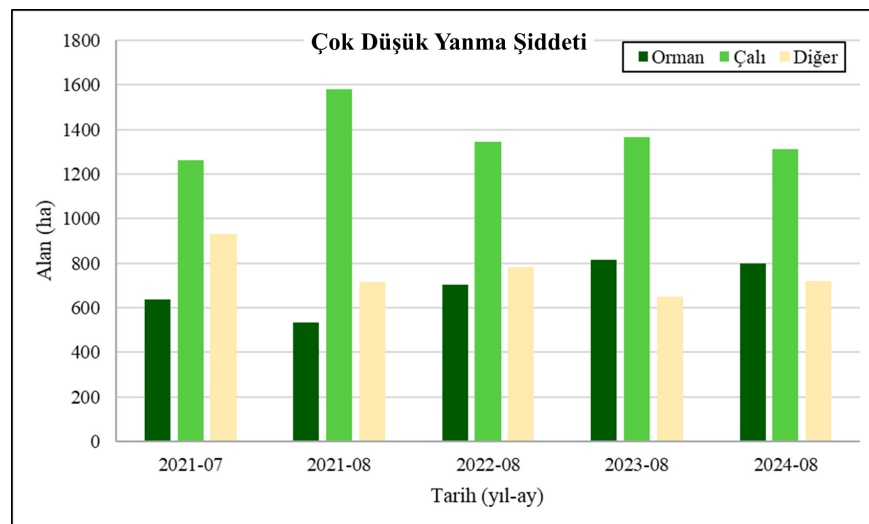
Şekil 5.9 Yanma Şiddeti Sınıflarında NBR Ortalama Değerler Zaman Serisi Grafiği

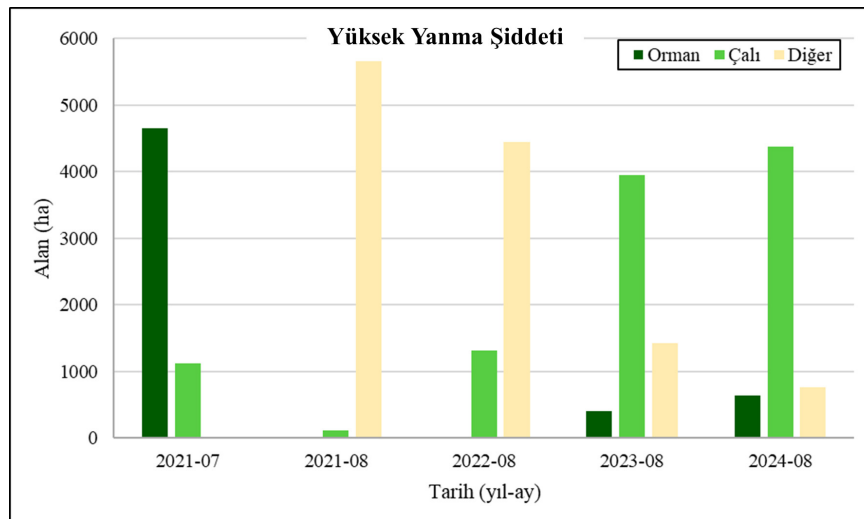
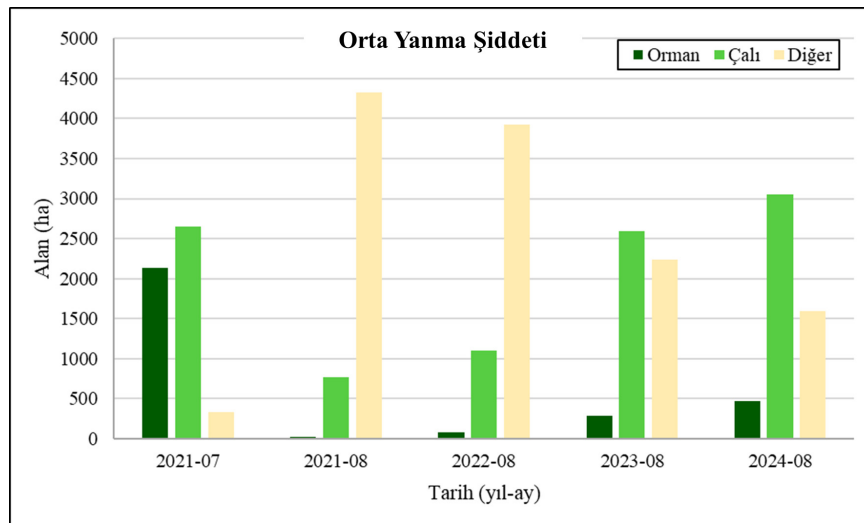
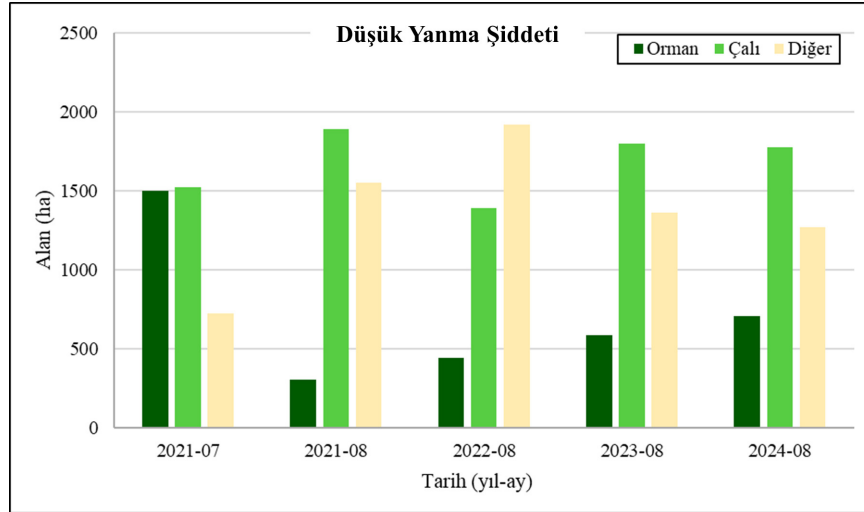


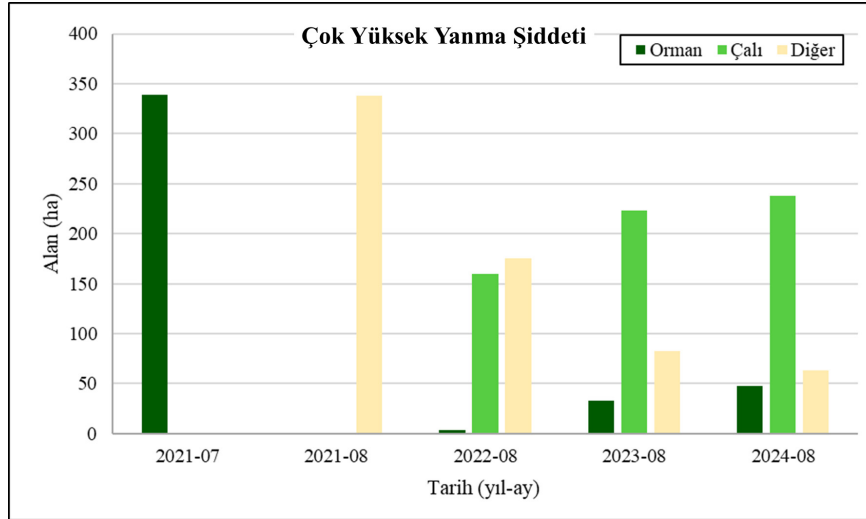
Yangın sonrası yenilenme hızlarına ilişkin yapılan değerlendirmede, hem NDVI hem de NBR indekslerinde yenilenme hızlarının, yanma şiddeti sınıflarına göre sırasıyla çok yüksek > yüksek > orta > düşük > çok düşük şeklinde sıralandığı tespit edilmiştir. Yangından 3 yıl sonrasına bakıldığında, çok yüksek ve yüksek yanma şiddeti sınıflarındaki alanların en yüksek indeks değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bitki örtüsü sınıflandırmaları incelendiğinde bu artışın, çalı alanlarının bu bölgelerde yeniden hızlı gelişmesiyle ilişkili olduğu ve bu çalı alanlarının indeks değerlerinin yükselmesinde önemli katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır.

Bitki örtüsü sınıflandırmaları, farklı yanma şiddeti sınıfları altında yangın öncesi (2021-07), yangın sonrası (2021-08) ve yangından 3 yıl sonrasını (2024-08) kapsayan dönemde incelenmiştir (Şekil 5.10). Yanmamış/Çok Düşük Yanma şiddetine sahip alanlarda, diğer yanma şiddeti sınıflarına kıyasla bitki örtüsünde önemli bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Düşük yanma şiddetine maruz kalan alanlarda ise, orman alanları yangın öncesi 1500,99 hektardan yangın sonrası 306,96 hektara düşmüş, yangından 3 yıl sonra ise 704,40 hektara yükselmiştir.

Şekil 5.10 Yanma Şiddeti Sınıflarında Bitki Örtüsü Sınıflandırması Zaman Serisi Grafikleri







Orta yanma şiddetine maruz kalan alanlarda, orman alanlarının yangın öncesi 2138,68 hektar olduğu, yangın sonrasında ise 16,58 hektara düştüğü tespit edilmiştir. Yangından 1 yıl sonra yenilenme oranı oldukça düşük kalırken, 3 yılın sonunda ormanlık alanların 464,07 hektara ulaştığı belirlenmiştir. Ayrıca bu sınıfta, yangın öncesi 2646,72 hektar olan çalı alanlarının yangın sonrası 770,88 hektara düştüğü, yangından 3 yıl sonra ise 3056,65 hektara yükseldiği görülmüştür.

Yüksek ve çok yüksek yanma şiddetine maruz kalan alanlarda ise orman alanlarının yangın sonrasında neredeyse yok olduğu, yangından 1 yıl sonra neredeyse yenilenme göstermediği tespit edilmiştir. Belirgin bir yenilenme, yangından sonraki 2. yıl itibarıyla gözlemlenmiştir. Yangından 3 yıl sonra ise ormanlar bu yanma şiddeti sınıflarında sırasıyla 640,6 hektar ve 47,2 hektara yükselmiştir. Ayrıca bu sınıflarda yangın sonrası sırasıyla 118,86 hektar ve 0,87 hektar olan çalı alanlarının, yangından 3 yıl sonra sırasıyla 4370,65 hektar ve 237,76 hektara yükseldiği tespit edilmiştir.

## 5.5. Sonuçlar

Bu çalışmada 2021 yılı Bodrum-Milas yangını, Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak yangın öncesi, yangının hemen sonrası ve yangını takip eden üç yıllık süreçte incelenmiştir. Bu dönemde NDVI, NBR ve dNBR indeksleri hesaplanarak ve orman ile çalı bitki örtüsü sınıflandırmaları yapılarak farklı yanma şiddeti sınıflarında bitki örtüsü yenilenme süreçleri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Analizler sonucunda, yangın sonrası orman alanlarının %91, çalı alanlarının ise %32 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yenilenme oranlarına bakıldığında, yanan orman alanlarının yangından 1 yıl sonra yalnızca %3'ünün yenilendiği, 3 yılın sonunda ise bu oranın %24'e ulaştığı ve ormanların yenilenmesi için uzun yıllara ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Çalılar için yapılan incelemede ise yangından 1 yıl sonra yanan çalı alanlarının %47'sinin yenilendiği, 3 yılın sonunda ise çalı alanlarının, yangının hemen sonrası döneme kıyasla yaklaşık 2,5 katına çıktığı ve bu nedenle çalıların bölgede baskın tür haline geldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışma alanının %37'sinin çok düşük ve düşük yanma şiddetine, %63'ünün ise orta, yüksek ve çok yüksek yanma şiddetine maruz kaldığı tespit edilmiştir. Çok düşük ve düşük yanma şiddeti görülen alanlarda ormanların yangına karşı dirençli olduğu, yenilenme hızlarının nispeten yüksek olduğu ve çalılarının bu alanlarda yangından çok fazla etkilenmediği gözlemlenmiştir. Orta, yüksek ve çok yüksek yanma şiddetine maruz kalan alanlarda ise bitki örtüsü indekslerinde ciddi düşüşler görülmüş ve ormanların yangından 1 yıl sonrasında neredeyse hiç yenilenmediği, 2. ve 3. yılların sonunda da yenilenme hızlarının düşük olduğu belirlenmiştir. Buna karşın orta, yüksek ve çok yüksek yanma şiddetine sahip alanlarda çalılarının yenilenme hızının oldukça yüksek olduğu ve baskın tür haline geldiği tespit edilmiştir.

Bitki örtüsünün yenilenme sürecinde, yangın şiddetinin yanı sıra iklim koşulları (yağış ve sıcaklık gibi), toprak özellikleri, bitki türü ve insan müdahalesi gibi birçok faktörün etkili olduğu bilinmektedir. Ayrıca, çalışmada çalı olarak sınıflandırılan bazı alanların aslında yangın sonrası fidanlıklar olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu alanların yenilenme potansiyelleri ve ormanlaşma süreçleri, detaylı saha incelemeleri ile daha doğru bir şekilde değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, orman yönetimi ve yenileme süreçlerinde, yangın şiddetinin belirlenmesi ve buna uygun stratejilerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Farklı yanma şiddeti kategorileri, planlama ve müdahale stratejileri için önemli bir rehber sunmaktadır. Özellikle orta, yüksek ve çok yüksek yanma şiddetine maruz kalan alanlarda daha uzun vadeli ve kapsamlı yenileme çalışmaları yapılması gerekmektedir.

## BÖLÜM 6

### UYGULAMA-2

#### Erzincan İliç Madeni'nde Toprak Kayması Olayı Öncesi Deformasyonların Sentinel-1 ile PS-InSAR Zaman Serisi Analizi

##### 6.1. Giriş

Madencilik faaliyetleri ekonomik kalkınma ve sanayi üretimi açısından büyük önem taşımakla birlikte, çevresel etkileri ve arazi üzerinde meydana getirdiği fiziksel değişimler nedeniyle önemli riskler de taşımaktadır. Altın, gümüş ve bakır gibi değerli metallerin çıkarılmasında kullanılan yığın liçi yöntemi, bu riskleri beraberinde getirmektedir. Yığın liçi yönteminde düşük tenörlü cevher kırılarak yığınlar hâlinde istiflenmekte ve kimyasal çözücüler uygulanarak değerli metallerin çözünmesi sağlanmaktadır. Yığın liçi yöntemi, düşük maliyet ve büyük ölçekli cevher işleme avantajlarına rağmen kimyasal sızıntısı, ağır metal kirliliği ve yığın stabilitesinin bozulması gibi ciddi çevresel ve güvenlik riskleri taşımaktadır [220, 221]. Bu riskler doğru bir şekilde yönetilmediğinde büyük felaketslere yol açabilmektedir. Örneğin 2024 yılında Erzincan ilinin İliç ilçesinde bulunan yığın liçi yöntemiyle işletilen altın madeninde yaşanan toprak kayması, madencilik faaliyetlerinde arazi güvenliğinin doğru bir şekilde sağlanmasının ne kadar önemli olduğunu göstermiştir.

Uzaktan algılama teknolojileri, geniş alanlarda sürekli veri toplama imkânı sunarak yeryüzü değişimlerinin izlenmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. SAR teknolojisi, gece-gündüz koşullarında veri toplayabilmesi ve yüksek hassasiyetle yüzey deformasyonlarını ölçebilmesi nedeniyle toprak kayması çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [222]. Sentinel-1, C-bant SAR sensörü ve 6-12 günlük tekrar ziyaret periyodu ile arazi deformasyonlarının izlenmesinde önemli bir veri kaynağıdır. SAR görüntüleri ile InSAR, diferansiyel InSAR (DInSAR, İng. *Differential InSAR*), Küçük Baz Mesafesi Alt Kümesi (SBAS, İng. *Small Baseline Subset*) ve Kalıcı Saçıcı InSAR (PS-InSAR, İng. *Persistent Scatterer InSAR*) gibi interferometrik yöntemlerle analizler gerçekleştirilerek meydana gelen yüzey değişimleri yüksek doğrulukla tespit edilebilmektedir.

InSAR, iki farklı zaman diliminde elde edilen SAR görüntülerinin faz farklarının analiz edilmesine dayanan ve yüzeyde meydana gelen değişimlerin milimetre hassasiyetinde ölçülmesini sağlayan bir uzaktan algılama tekniğidir [223]. DInSAR ise InSAR verilerini, SYM ile karşılaştırarak topografik etkileri gideren ve böylece zaman içindeki yüzey değişimlerini net bir şekilde ortaya koyan bir yöntemdir. Zamansal değişimin hassas biçimde izlenmesinin gerektiği durumlarda ise geleneksel DInSAR yerine mekânsal-zamansal korelasyonu kullanarak atmosferik bozulma etkilerini azaltabilen SBAS ve PS-InSAR gibi çok zamanlı InSAR yöntemleri daha etkili sonuçlar vermektedir. SBAS yöntemi, birden fazla birincil görüntü kullanarak kısa zamansal ve dikey baz mesafesine (İng. *perpendicular baseline*, iki görüntü/geçiş arasındaki dik mesafe) sahip görüntülerin işlenmesiyle atmosferik etkileri azaltan ve deformasyonların yüksek doğrulukla belirlenmesini sağlayan bir yöntemdir PS-InSAR yöntemi ise, tekrar eden SAR geçişlerinde aynı kalıcı saçıcı (PS) noktaları izleyip tek bir birincil görüntüye bağlayarak sahadaki uzun dönem yer değiştirmeyi milimetre düzeyinde ölçen interferometrik bir tekniktir. [224].

Bu çalışmada, Erzincan İliç Madeni'nde toprak kayması olayı öncesi yaklaşık bir yıllık dönemde gerçekleşen yüzey deformasyonlarının Sentinel-1 tabanlı PS-InSAR zaman serisi analizleriyle belirlenmesi hedeflenmiştir. 2023-2024 dönemine ait görüntüler kullanılarak deformasyonun zamansal eğilimleri ile mekânsal dağılımları incelenmiş ve kaza öncesi erken uyarı göstergeleri değerlendirilmiştir.

## 6.2. Materyal

### 6.2.1. Çalışma Alanı

Erzincan ilinin İliç ilçesinde yer alan altın madeni  $38^{\circ}30'$  –  $38^{\circ}34'$  doğu boylamları ile  $39^{\circ}24'$  –  $39^{\circ}27'$  kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Tesis alanı, siyanür havuzu, açık maden ocağı ve yığın liçi alanı gibi bölümlerden oluşan maden sahası, Sabırlı Deresi ve Fırat Nehri'ne yakın bir konumda yer almaktadır (Şekil 6.1). 13 Şubat 2024 tarihinde gerçekleşen kaza sonucu yığın liçi alanından Sabırlı Deresi ve açık maden ocağı yönünde toprak kayması gerçekleşmiştir.

Şekil 6.1 İliç Maden Sahası – Uygulama Çalışma Alanı



### 6.2.2. Veriler ve Uygulamalar

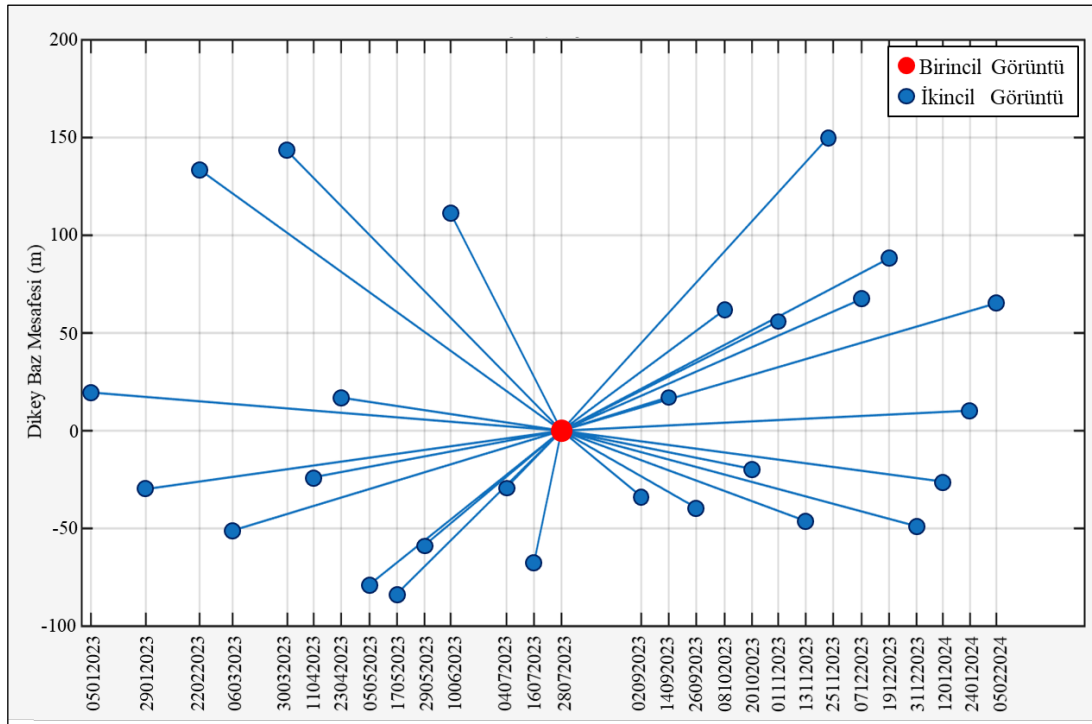
Çalışmada Sentinel-1 SAR uydu verileri kullanılmıştır. Sentinel-1, farklı veri formatı ve görüntüleme modlarına (Tablo 6.1) sahip olup bu çalışmada SLC (İng. *Single Look Complex*) veri formatı, IW (İnterferometrik Geniş Alan) görüntüleme modu ve VV polarizasyonu tercih edilmiştir. SLC formatı, faz bilgisini koruyarak yüksek hassasiyetli interferometrik analizlere olanak tanırken, IW modu deformasyonların geniş bölgelerde izlenmesini sağlamaktadır. VV polarizasyonu ise toprak gibi yüzeylerde güçlü geri saçılım özelliği sayesinde toprak kayması ve deformasyonların güvenilir şekilde tespit edilmesine katkıda bulunmaktadır [51, 225].

Tablo 6.1 Sentinel-1 Uydusu Görüntüleme Modları

Görüntüleme Modu	Polarizasyon	Çözünürlük (m)	Görüntüleme Genişliği (km)
StripMap	Çift (HH+HV, VV+VH)	5x5	80
İnterferometrik Geniş	Çift (HH+HV, VV+VH)	5x20	250
Ekstra Geniş Alan	Çift (HH+HV, VV+VH)	20x40	400
Dalga	Tek (HH, VV)	5x5	20x20

PS-InSAR analizinde kullanılmak üzere 2023 Ocak – 2024 Şubat dönemini kapsayan alçalan (İng. *descending*) yörünge yönüne sahip Sentinel-1 uydu görüntüleri Alaska Uydu Tesisi servisleri kullanılarak indirilmiştir [226]. Zaman serisi dizisinin ortasına yakın konumu, yüksek uyumluluk (İng. *coherence*, görüntü çiftleri arasındaki faz tutarlılığı) ve diğer verilere olan düşük dikey baz mesafesine sahip olmasından dolayı 28 Temmuz 2023 tarihli görüntü birincil (İng. *primary*) olarak seçilmiştir. Veri eşleştirmesinde görüntü çiftleri, zamansal <36 gün ve dikey baz mesafesi <150 m eşikleri ile filtrelenmiş ve sonuç olarak 29 adet görüntü çalışma kapsamında kullanılmıştır. Şekil 6.2’de kullanılan görüntülerin tarihleri ve dikey baz mesafeleri gösterilmektedir.

Şekil 6.2 PS-InSAR Analizinde Kullanılan Görüntüler

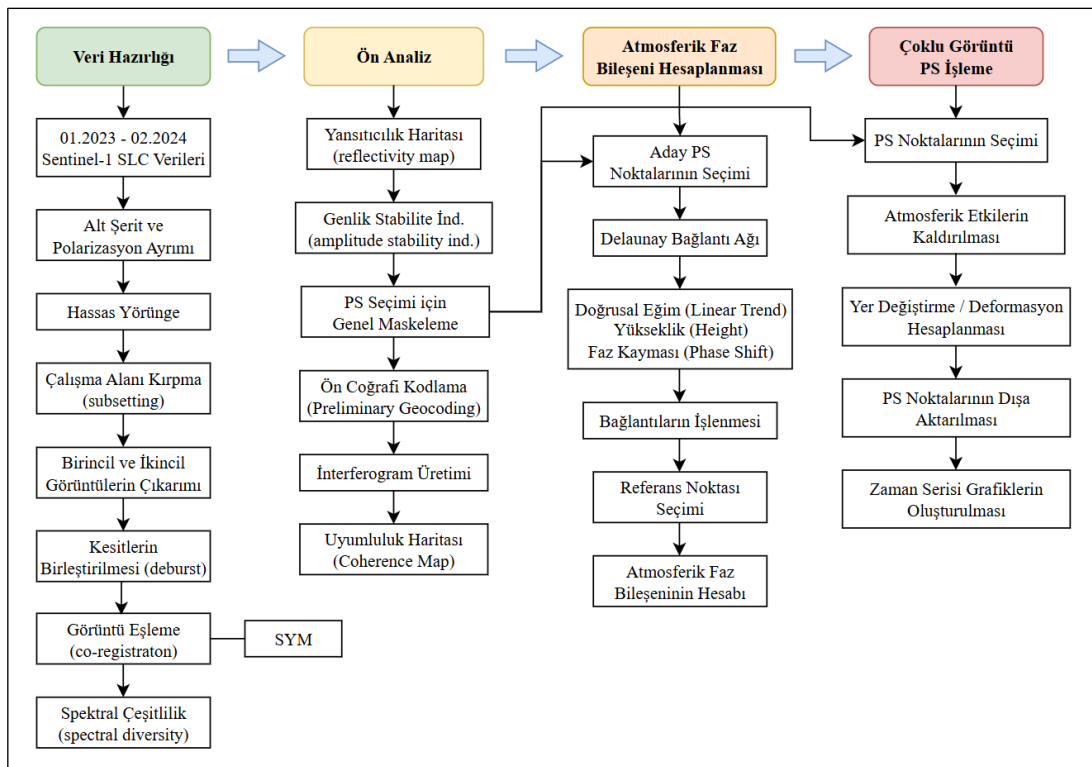


Deformasyonların PS-InSAR yöntemiyle analiz edilmesi amacıyla çalışmada SARPROZ yazılımı kullanılmıştır. SARPROZ, SAR ve InSAR verilerini işleyerek detaylı analizler yapabilen MATLAB tabanlı geliştirilmiş bir yazılımdır [227].

### 6.3. Metodoloji

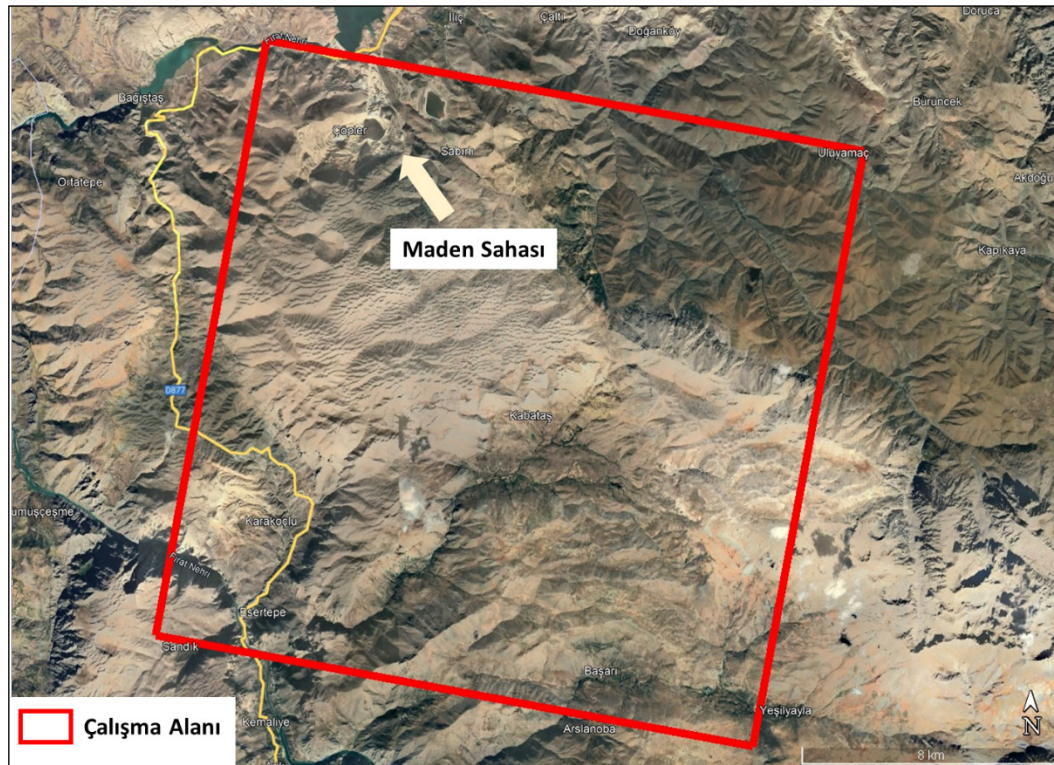
Erzincan İliç Madeni'nde kaza öncesi deformasyonların Sentinel-1 SAR görüntüleri ile zaman serisi analizi için izlenen adımların akış şeması Şekil 6.3'te sunulmuştur. Çalışmada uygulanan PS-InSAR yöntemi, farklı zamanlarda elde edilmiş SAR görüntülerinde değişmeyen noktalar üzerinden yüzey deformasyonun belirlenmeyi hedeflemektedir.

Şekil 6.3 PS-InSAR Analizi İş Akış Şeması



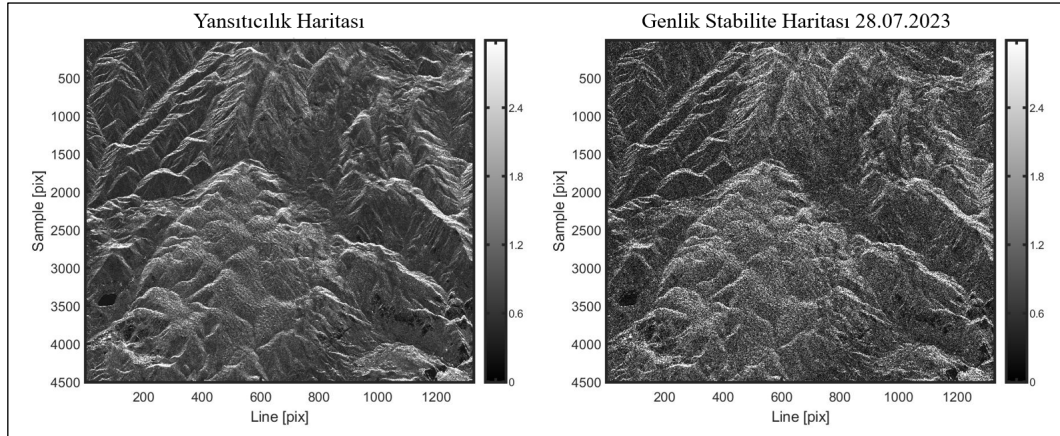
Veri hazırlığı kapsamında görüntüler, ilk olarak IW1 alt şeridi ve VV polarizasyonuna ayrıştırılmıştır. Ardından Copernicus tarafından sağlanan hassas yörünge verileri uygulanarak yörünge hataları düzeltilmiş ve görüntüler arası geometrik doğruluk artırılmıştır. Çalışma alanına göre kırpma (İng. *subsetting*) (Şekil 6.4), birincil/ikincil (İng. *primary/secondary*) görüntülerin çıkarımı işlemlerinin ardından görüntü kesitlerinin birleştirilmesi (İng. *deburst*), görüntü eşleme (İng. *co-registration*) ve spektral çeşitlilik (İng. *spectral diversity*) artırımı işlemleri yapılarak görüntülerin mekânsal olarak uyumlu olması sağlanmıştır.

Şekil 6.4 PS-InSAR Analizinde Kullanılan Görüntülerin İz Düşümleri



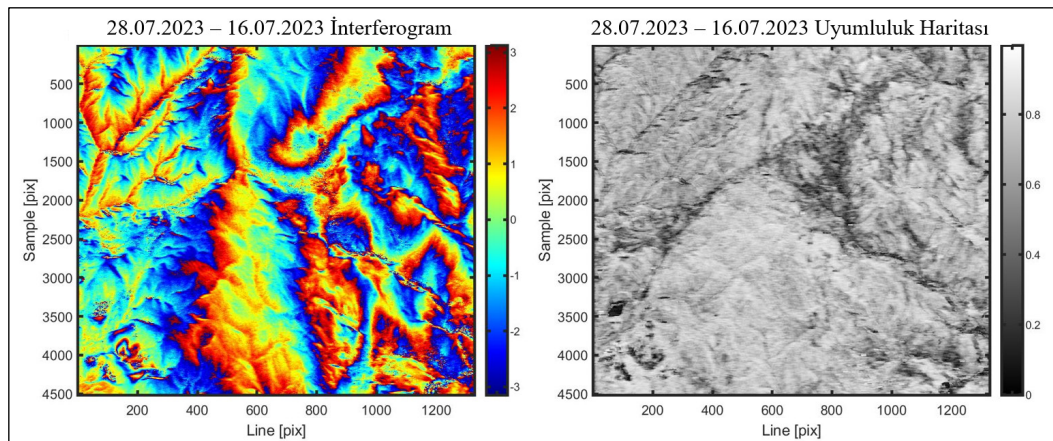
Görüntü eşleştirme işlemlerinin ardından radar geri saçılımının sahadaki mekânsal dağılımını göstermek ve potansiyel PS noktalarının ön seçimine zemin oluşturmak amacıyla yansıtıcılık (İng. *reflectivity/mean amplitude*) ve genlik stabilite indeksi (İng. *Amplitude Stability Index*) haritaları üretilmiştir (Şekil 6.5). Aday PS noktalarının kabaca sınırlandırılması için bu haritalardan genel bir maske oluşturulmuştur. SYM hazırlığında Copernicus karoları denenmiş ancak eksik karo nedeniyle SRTM90 tercih edilerek ilgili karolar indirilmiş, SAR geometrisine yeniden örneklenmiş ve uygulama üzerinden otomatik seçilen bir yer kontrol noktası üzerinden konumsal tutarlılık doğrulanmıştır. Yapılan işlemler sonucunda verilerin, harita koordinatlarına yerleştirilip aynı referans sisteminde hizalanması sağlanmıştır. Ardından interferogram üretimine geçilmiştir. Üretilen interferogramlara yörünge kaynaklı eğimlerin giderilmesi amacıyla düzleştirme (İng. *flattening*), topografik fazı kaldırmak için SYM düzeltmesi uygulanmış, ardından Goldstein filtresi ile faz gürültüsü azaltılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda düzeltilmiş interferogramlar ve uyumluluk haritaları elde edilmiştir.

Şekil 6.5 Yansıtıcılık ve 28.07.2023 tarihli Genlik Stabilite Haritası



Üretilen interferogram ve uyumluluk haritalarına örnek olarak 28.07.2023 – 16.07.2023 tarihli veriler Şekil 6.6’te sunulmaktadır. Solda yer alan interferogram haritası topografik faz kaldırıldığı, düzleştirme ve Goldstein filtrelemesi işlemleri uygulandığı için keskin saçaklar (İng. *fringe*) yerine yumuşatılmış bir artık faz (İng. *residual phase*) yüzeyi oluşturur, çoğunlukla atmosfer etkisini ve olası yavaş deformasyonları gösterir. Sağdaki uyumluluk haritasındaki açık tonların yoğunluğu, ilgili tarihlerde genel uyumluluğun yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir. Haritada görülen yüksek uyumluluk değerleri PS seçimi ve atmosferik etkilerin giderilmesi adımları için yeterli kalite sağlamaktadır.

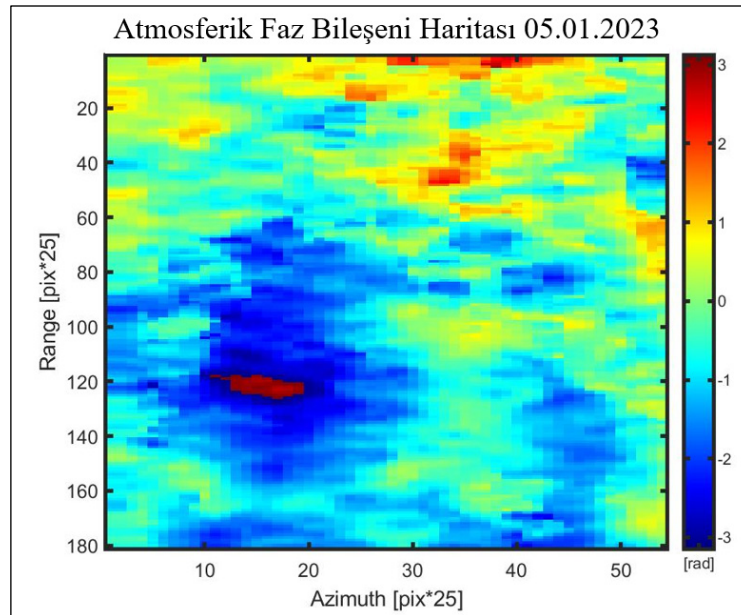
Şekil 6.6 28.07.2023 – 16.07.2023 Tarihli İnterferogram ve Uyumluluk Haritası



Çalışma PS aday noktalarının belirlenmesi ve ağı kurulması ile devam etmiştir. Yansıtıcılık ve genlik stabilitesi haritaları kullanılarak uygun genlik stabilitesi

indeksi eşiği ile PS aday noktaları belirlenmiştir. Yüksek geri saçılma sahip bir küme elde edilmesi hedeflenmiş ve 167.890 aday PS noktası oluşturulmuştur. PS aday noktaları arasındaki bağlantılar Delaunay üçgenleme yöntemi ile kurulmuş ve 503.328 bağlantı içeren bir ağ oluşturulmuştur. Oluşturulan bağlantı ağı, komşu PS'ler arasındaki kısa mesafeli faz farklarını güvenilir biçimde ilişkilendirerek ağ üzerinde atmosferik faz bileşenin belirlenmesi ve ardından referans noktasına göre deformasyon hızı, yükseklik düzeltmesi ve sabit faz farkı gibi parametrelerin grafik tabanlı ters çözümle elde edilmesi sağlar, ayrıca düşük uyumluluğa sahip bağlantıların ayıklanmasına imkân verir [228].

Şekil 6.7 Atmosferik Faz Bileşeni Haritası 05.01.2023

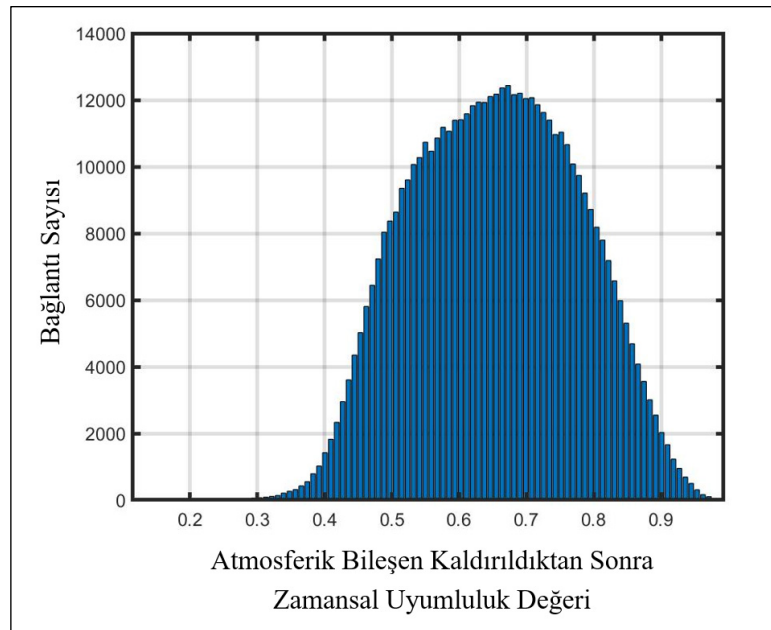


Ağ üzerinde zamansal uyumluluğu (0.96) ve mekânsal uyumluluğu (0.70) yüksek bir piksel referans olarak seçilmiştir. Zamansal uyumluluk, aynı pikselin zaman içindeki faz ölçümlerinin tutarlılığını gösterirken; mekânsal uyumluluk, piksellerin komşu noktalarının birbirine benzerliğini ifade eder ve her iki durumda da değer 1'e yaklaştıkça veriler daha güvenilir kabul edilir [228]. Atmosferik faz bileşeni, SARPROZ'un "Inverted Residuals" algoritması ile doğrusal eğilim (İng. *linear trend*), yükseklik ve faz kayması (İng. *phase shift*) ayarları etkinleştirilerek her görüntü için kestirilmiş ve atmosferik faz bileşeni görüntüleri üretilmiştir. Uygulanan doğrusal eğilim zamana bağlı hız bileşenini çözer, yükseklik ayarı SYM kaynaklı artık

topografik fazı giderir, faz kayması ise her görüntüdeki sabit faz farkını kaldırır. Devamında interferometrik fazlardaki atmosferik bileşen giderildi ve aday PS parametreleri daha doğru şekilde güncellendi.

Şekil 6.7’de üretilen örnek atmosferik faz bileşeni haritası yer almaktadır. Haritada, 05.01.2023 görüntüsü için sahadaki atmosferik faz gecikmesinin mekânsal dağılımını yer almakta ve kırmızılar daha yüksek (pozitif) gecikmeyi, mavi tonlar ise daha düşük (negatif) gecikmeyi ifade etmektedir. Yani yeşil tonlar ( $\sim 0$  rad) atmosferik faz düzeltmesinin küçük olduğu, daha az düzeltmenin ihtiyaç olduğu alanları göstermektedir. Şekil 6.8’de ise ağdaki bağlantıların atmosferik bileşen kaldırıldıktan sonraki zamansal uyumluluğunu gösteren grafik sunulmaktadır. Grafik incelendiğinde dağılım tepesinin  $\sim 0.7$  bandında olması ağın zamansal uyumluluğunun iyi olduğunu ve atmosferik faz düzeltmesi kalitesinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Şekil 6.8 Ağdaki Bağlantıların Zamansal Uyumluluğu



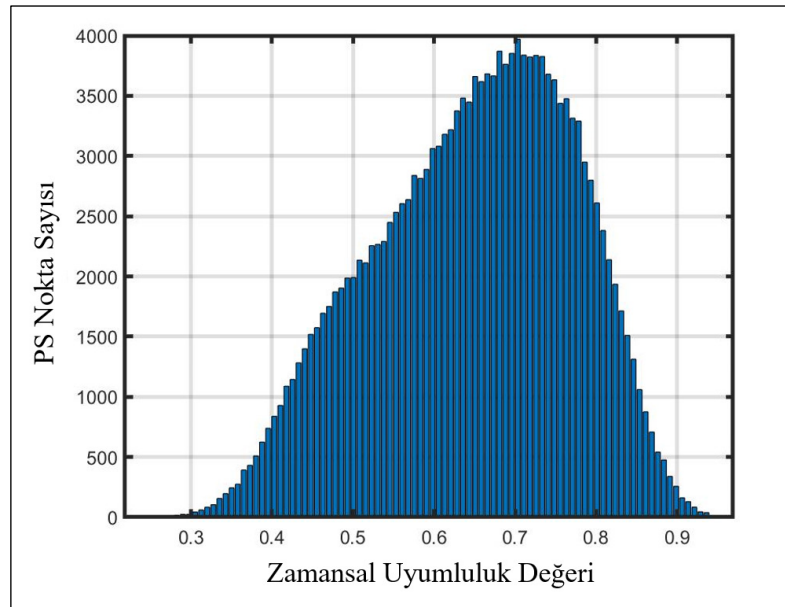
Çalışmanın devamında, atmosfer etkilerinden arındırılmış diferansiyel faz üzerinden radarın bakış doğrultusundaki (LOS, İng. *Line of Sight*) deformasyon hızı ile SYM hata bileşeni modellenmiş ve kestirilmiştir. PS-InSAR yaklaşımı doğrultusunda ağ tabanlı ters çözüm uygulanmış, seçilen referans noktasına göre hız ve artık yükseklik parametreleri elde edilmiştir. Ardından zamansal uyumluluk eşiği

( $\geq 0.60$ ) uygulanarak güvenilir PS'ler filtrelenmiş ve kesin PS noktaları 110.853 adet olarak belirlenmiştir. PS noktaları kullanılarak çalışma alanına ait yıllık deformasyon haritası üretilmiş, yığın liçi bölgesindeki PS noktalarına ait nokta bazlı yer değiştirme zaman serisi grafikleri analiz edilerek bölgedeki deformasyon deseni tespit edilmiştir.

#### 6.4. Bulgular

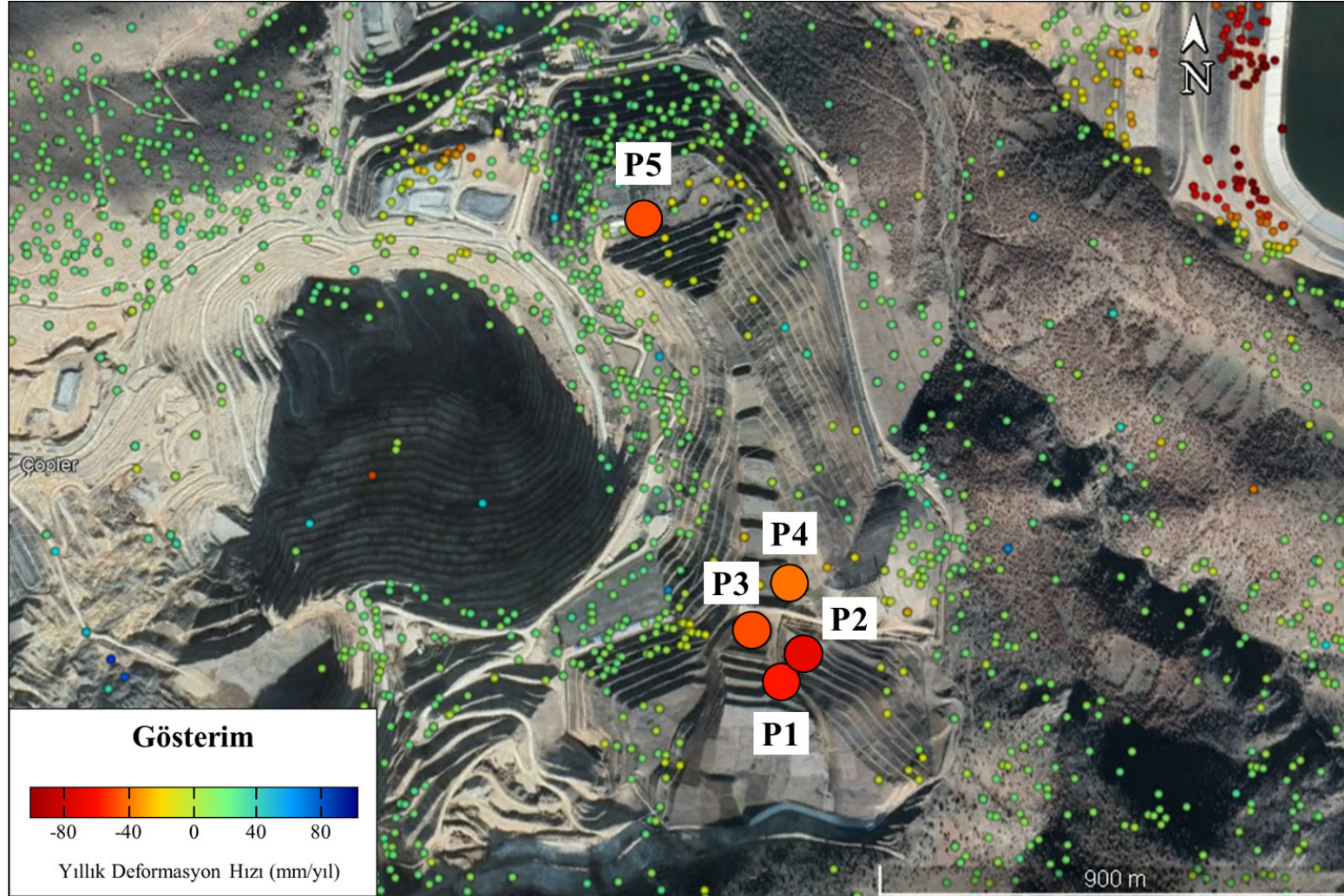
Erzincan İliç Madeni'nde 13 Şubat 2024 tarihinde gerçekleşen toprak kayması kazası öncesi dönemine yönelik yığın liçi alanındaki deformasyonu belirlemek amacıyla Sentinel-1 SAR görüntüleri kullanılmış ve bölgede PS noktaları üretilmiştir. Şekil 6.9'da PS noktalarının zamansal uyumluluk histogramı yer almaktadır.

Şekil 6.9 PS Noktalarının Zamansal Uyumluluk Histogramı



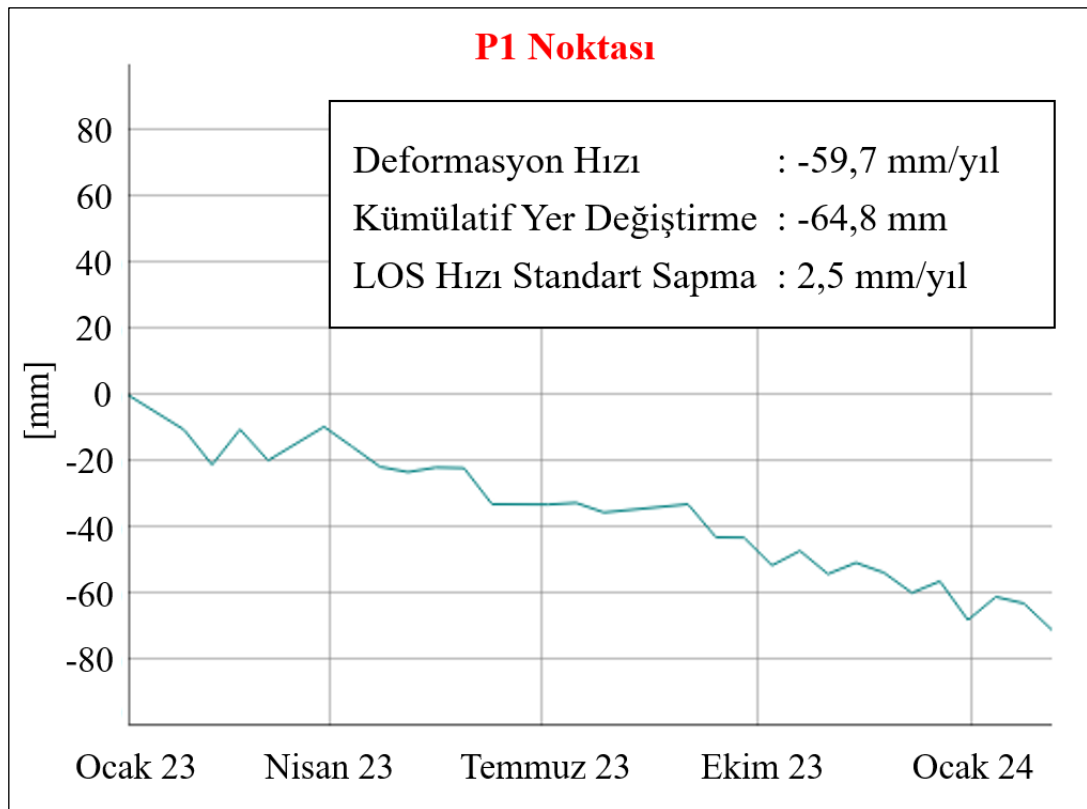
Yığın liçi bölgesine odaklanan LOS doğrultusundaki deformasyon hızı haritası (mm/yıl) Şekil 6.10'da sunulmaktadır. Harita, referans noktasına göre bölgede gerçekleşen yıllık deformasyon hızlarını göstermekte ve haritadaki renkler, LOS doğrultusundaki göreceli hızları temsil etmektedir. LOS doğrultusu, uydudan radar sinyalinin yeryüzüne gönderildiği ve geri alındığı bakış hattını ifade eder, yani yüzey hareketlerinin radar görüş hattı boyunca olan bileşenini temsil eder.

Şekil 6.10 Yiğın Liçi Alanındaki Yıllık Deformasyon Haritası

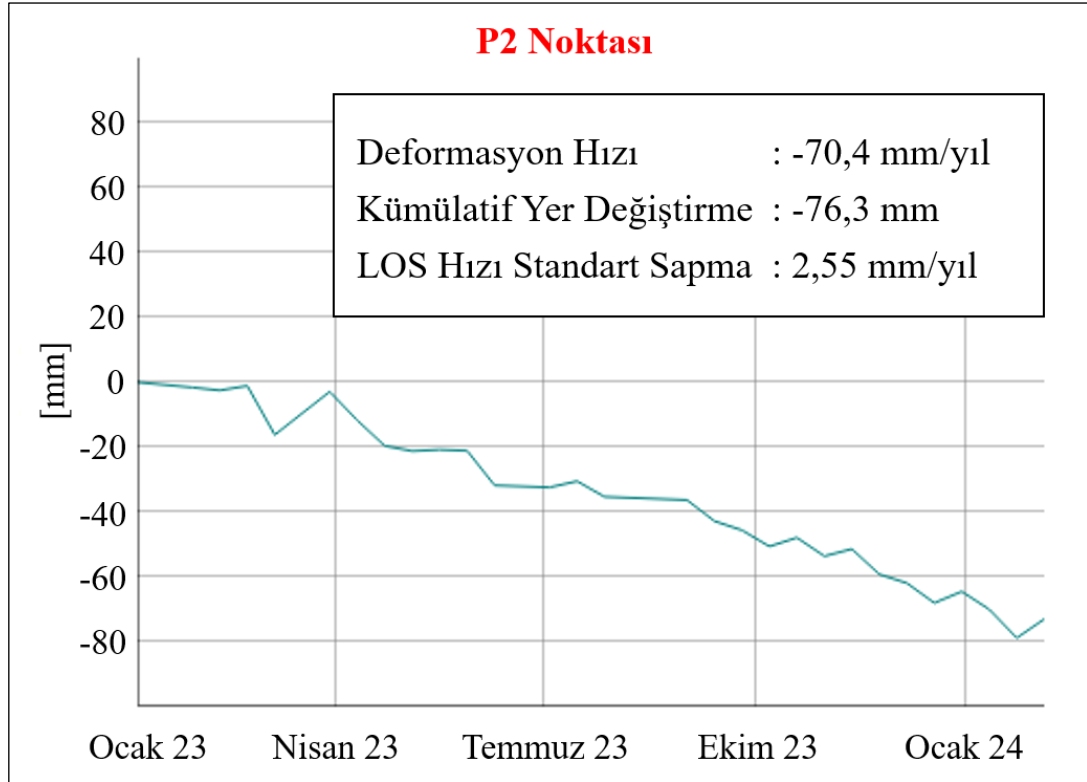


Yığın liçi alanında kalan PS noktalarının yer değiştirme deformasyon değerleri zaman serisi grafikleri üzerinden incelenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda yıllık 60-70 mm'ye varan deformasyonların olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6.10'da gösterilen P1 noktasında -59,7 mm, P2 noktasında -70,4 mm, P3 noktasında -51,4 mm, P4 noktasında -42,3 mm, P5 noktasında -52 mm yıllık deformasyon hesaplanmıştır. İlgili noktaların Ocak 2023 – Şubat 2024 tarihleri arası kümülatif yer değiştirmeleri ise P1 noktasında -64,8 mm, P2 noktasında -76,3 mm, P3 noktasında -55,7 mm, P4 noktasında -45,9 mm, P5 noktasında -56,4 mm olarak bulunmuştur. İncelenen noktalardaki yıllık deformasyon hızı standart sapma aralığı 2,39 – 2,99 mm aralığında değişmektedir. Yığın liçi alanında bulunan PS noktalarının deformasyon değerlerini gösteren grafikler Şekil 6.11, Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'te sunulmaktadır. Zaman serisi grafikleri, yığın liçi alanında süreklilik gösteren ve Nisan 2023 tarihinden itibaren ivmelenen bir deformasyon desenini ortaya koymaktadır.

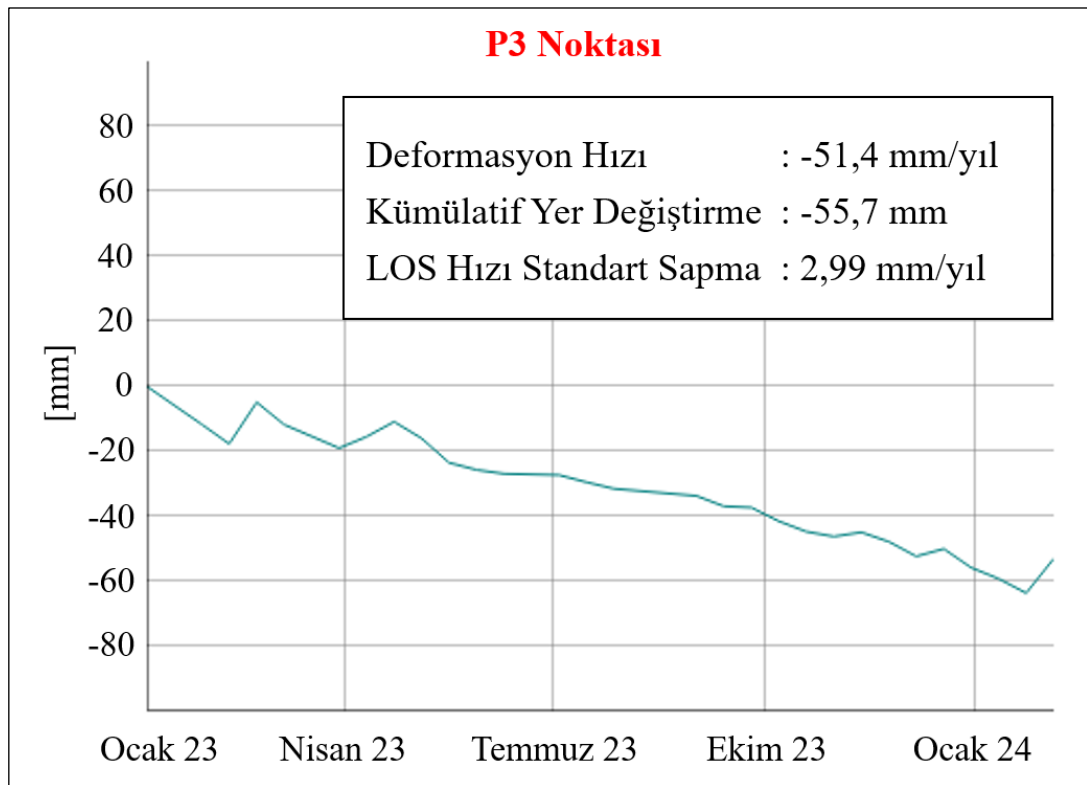
Şekil 6.11 P1 PS Noktasının Deformasyon Zaman Serisi Grafiği



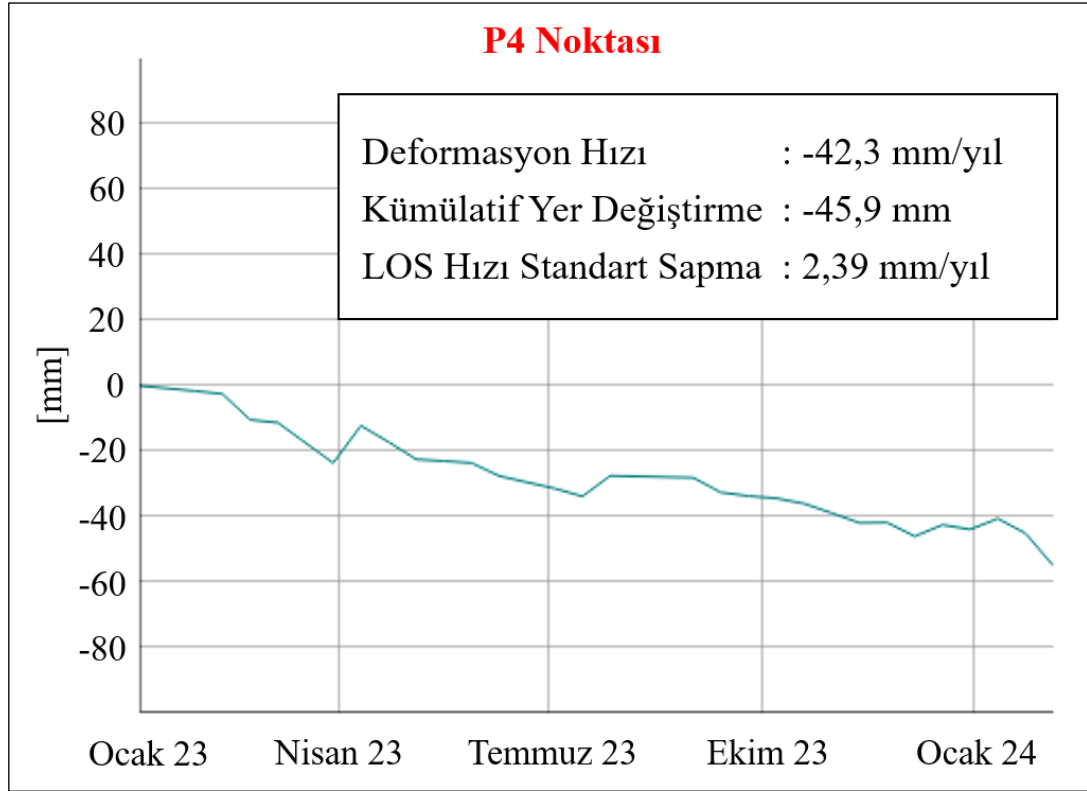
Şekil 6.12 P2 PS Noktasının Deformasyon Zaman Serisi Grafiği



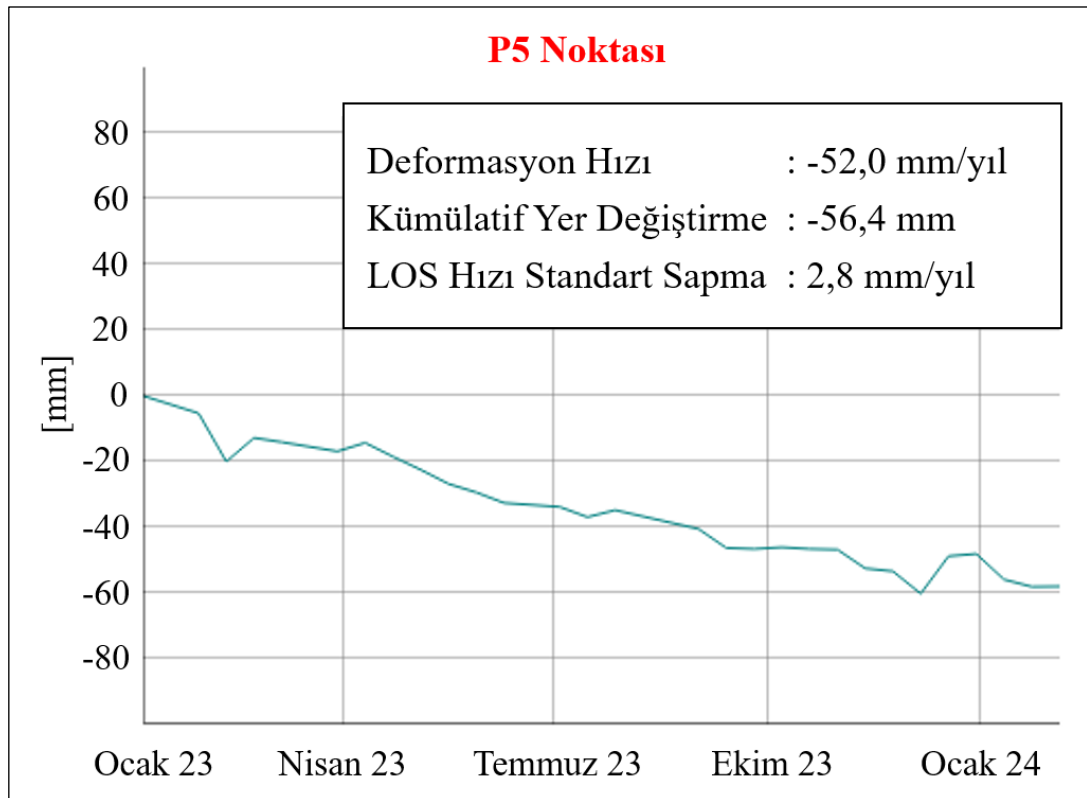
Şekil 6.13 P3 PS Noktasının Deformasyon Zaman Serisi Grafiği



Şekil 6.14 P4 PS Noktasının Deformasyon Zaman Serisi Grafiği



Şekil 6.15 P5 PS Noktasının Deformasyon Zaman Serisi Grafiği



### 6.5. Sayısal Yükseklik Modelleri Oluşturarak Toprak Kaymasının Tespiti

Toprak kayması öncesi deformasyonların izlenmesine yönelik çalışmadan bağımsız olarak, aynı bölgede yürütülen bu analizde Sentinel-1 görüntü çiftlerinden toprak kayması olayı öncesi ve sonrası SYM'ler oluşturulmuş ve SYM'ler incelenerek yığın liçi alanında toprak kaymasının tespit edilmesi amaçlanmıştır. SYM oluşturma sürecinde veri seçimi yapılırken iki temel kriter göz önünde bulundurulmuştur: Birincisi, görüntü çiftleri arasındaki zamansal aralığın mümkün olduğunca kısa olması; ikincisi ise dikey baz mesafesinin 150 m ile 300 m arasında olması gerekliliğidir [229]. Bu kriterlere uygun görüntü çiftleri, Alaska Uydu Tesisi servisleri [226] kullanılarak belirlenmiştir. 13 Şubat 2024 tarihinde gerçekleşen kazanın incelenmesi amacıyla olay öncesi 01/12/2023-25/12/2023 tarihli görüntü çifti, olay sonrası ise 01/03/2024-25/03/2024 tarihli görüntü çifti kullanılmıştır (Tablo 6.2).

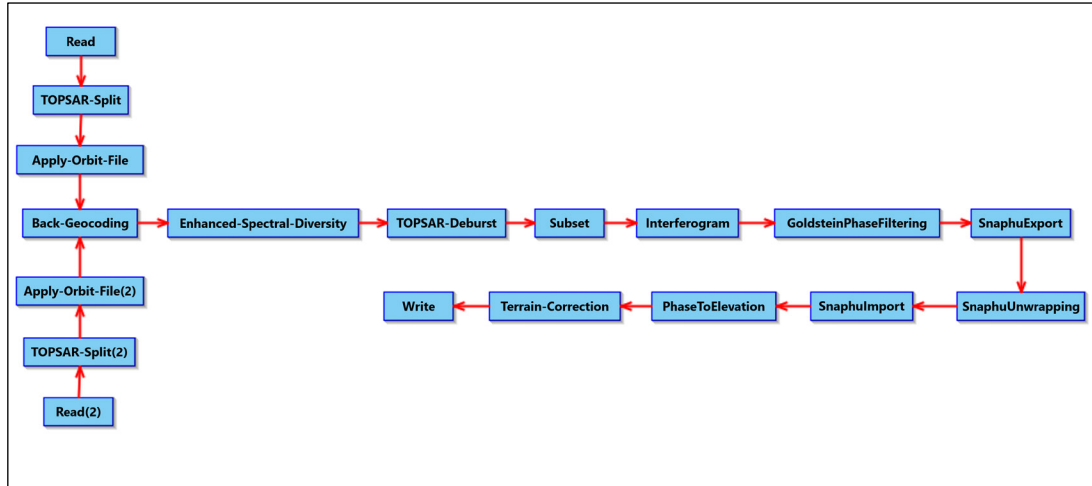
Tablo 6.2 SYM Oluşturulması Çalışmasında Kullanılan Görüntülerin Tarihleri

Çift	Tarih	Uçuş Yönü	P <sub>b</sub> <sup>1</sup>	T <sub>b</sub> <sup>2</sup>
1	01/12/2023 25/12/2023	Yükselen	156 m	24 gün
2	01/03/2024 25/03/2024	Yükselen	178 m	24 gün

<sup>1</sup> P<sub>b</sub>: Dikey Baz Mesafesi. <sup>2</sup> T<sub>b</sub>: Zamansal Aralık.

SAR interferometrisi tekniği kullanılarak toprak kayması olayı öncesi ve sonrasına ait SYM'ler oluşturulmuştur. SYM'lerin üretim süreci, SNAP yazılımının, işlem adımlarını görsel bir şekilde planlamayı ve otomatikleştirmeyi sağlayan GraphBuilder aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.16).

Şekil 6.16 GraphBuilder – SYM Üretim Süreci İş Akış Şeması



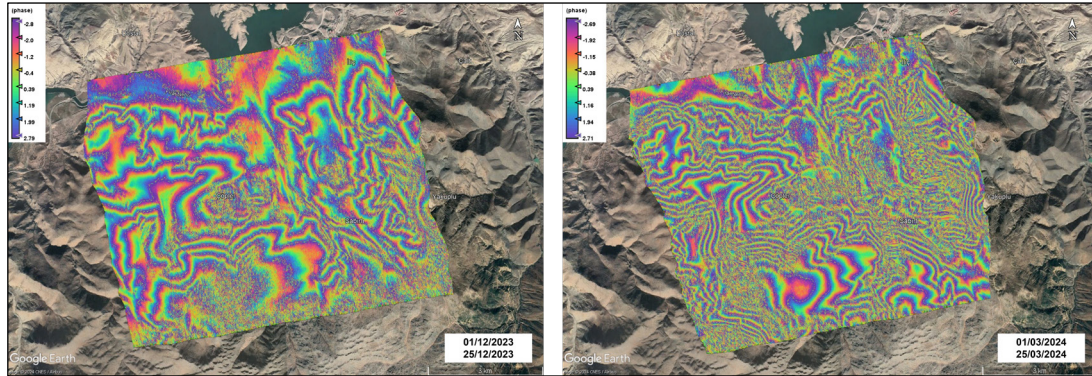
SYM oluşturulması iş akışı, Sentinel-1 SAR görüntülerinin işlenmesini, yörünge düzeltmelerini, interferogram oluşturulmasını, faz çözülmesini ve yükseklik değerlerine dönüştürülmesini içeren aşamalardan oluşmaktadır. İlk olarak ham SAR görüntülerindeki yörünge hataları düzeltilir ve görüntü çiftleri arasında eşleme işlemi gerçekleştirilir. Ardından çalışma alanına uygun hale getirilen veriler yardımıyla interferogram oluşturulur. İnterferogram, iki veya daha fazla radar görüntüsünden faz farkları kullanılarak elde edilen, yüzey deformasyonları veya topografik değişiklikler hakkında bilgi sağlayan bir veridir [230]. Daha sonra faz filtresi kullanılarak interferogramdaki gürültü azaltılır ve faz çözülmesi işlemi gerçekleştirilir. Son olarak elde edilen faz bilgileri yükseklik verilerine dönüştürülür ve topografik düzeltmeler yapılarak SYM elde edilir. Tablo 6.3'de bu süreçte gerçekleştirilen adımlar ve her bir adımın amacı özetlenmiştir.

Toprak kaymasının tespit edilmesi amacıyla olay öncesi ve olay sonrasına ait Sentinel-1 SAR görüntü çiftleri kullanılarak interferogramlar oluşturulmuştur (Şekil 6.17). İnterferogramlar toprak kayması bölgesindeki deformasyonların büyüklüğünü ve yönünü görsel olarak ifade eder. Her bir renk döngüsü maviden-mora ya da mordan-mavi bir çizgi oluşturur. Saçak denilen bu çizgilerde renklerin değişimi, hareketin yönünü ve miktarını gösterir. Renklerin sıklaşması o yönde daha fazla hareket olduğunu gösterir. Dairesel saçaklar da genelde bir çökme ya da yükselme hareketini ifade eder.

Tablo 6.3 SYM Üretim Sürecinde Gerçekleştirilen Adımlar ve Açıklamaları [231]

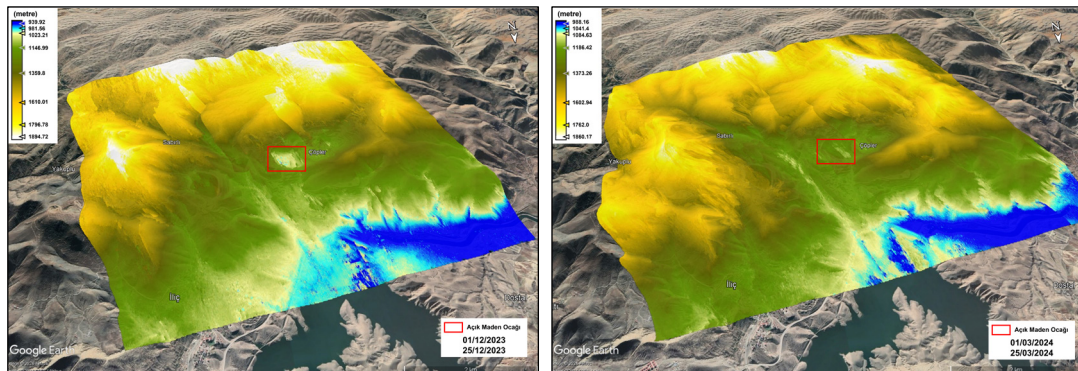
İşlem Adı	Açıklama
Read	Sentinel-1 görüntüleri işleme alınır.
TOPSAR-Split	Ham veriler belirli bir polarizasyon ve şerit seçimiyle alt parçalara ayrılarak daha yönetilebilir hale getirilir.
Apply Orbit File	Güncellenmiş yörünge dosyaları uygulanarak yörünge hataları giderilir ve hassas konumlandırma sağlanır.
Back-Geocoding	Geometrik eşleme (co-register) işlemi yapılarak görüntü çiftlerinin mekânsal olarak uyumlu hale getirilmesini sağlar.
Enhanced Spectral Diversity	Spektral çeşitliliği artırarak yüzeyleri daha iyi ayırt etmeyi sağlar.
TOPSAR-Deburst	Görüntü kesitleri (burst) birleştirilerek sürekli bir görüntü elde edilir.
Subset	İlgili çalışma alanı seçilerek veri sınırlandırılır.
Interferogram	İki görüntü arasındaki faz farkı hesaplanarak interferogram oluşturulur.
Goldstein Phase Filtering	İnterferogramdaki faz gürültüsünü azaltmak için Goldstein filtreleme yöntemini uygular.
Snaphu Export	İnterferogram verilerini Snaphu yazılımında faz çözme işlemi için uygun formata dönüştürür.
Snaphu Unwrapping	Faz çözme (phase unwrapping) işlemi gerçekleştirilerek faz bilgisindeki belirsizlikleri giderir.
Snaphu Import	Snaphu tarafından çözülen faz bilgisini SNAP ortamına geri aktarır.
Phase to Elevation	Faz bilgisini yükseklik verilerine dönüştürerek sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasını sağlar.
Terrain-Correction	Yükseklik verilerine arazi düzeltmeleri yapılarak sayısal yükseklik modeli coğrafi koordinat sistemine dönüştürülür.
Write	İşlenen verileri belirtilen bir formatta (örneğin, GeoTIFF) kaydeder.

Şekil 6.17 Toprak Kayması Olayı Öncesi ve Sonrası Tarihli İnterferogramlar



Çalışmanın devamında, interferogramlar kullanılarak toprak kayması olayı öncesi ve sonrası için SYM'ler oluşturulmuştur. Oluşturulan SYM'ler karşılaştırılarak yığın liçi alanında meydana gelen toprak kayması olayı tespit edilmiştir. Şekil 6.18'te oluşturulan SYM'ler yer almaktadır. Görseller incelendiğinde açık maden ocağı yönündeki toprak kaymasından dolayı alanın yüksekliğinin arttığı görülmektedir.

Şekil 6.18 Toprak Kayması Olayı Öncesi ve Sonrası Tarihli SYM'ler



Sentinel-1 radar verileri kullanılarak üretilen SYM'lerin doğruluğu, veri seçimi ve çalışma alanının özellikleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin Lili Yan ve arkadaşlarının (2024) dağlık alanlarda buzul ve çıplak kayalar üzerine yaptığı çalışmada Sentinel-1 verilerden elde edilen SYM'nin yaklaşık 9 m kök ortalama kare hata (RMSE) ile ölçüldüğü ve bazı küresel SYM'lere göre daha yüksek doğruluk sağladığı rapor edilmiştir [232]. Carolin Walper ve arkadaşları (2022), Sentinel-1 verilerinden SYM üretiminde birçok etkenin doğruluğunu etkilediğini, lakin ideal koşullar ve doğru işleme adımları sağlandığında

bu modellerin, daha yüksek çözünürlüklü kaynaklardan elde edilen modellerle yakın doğruluk sağlayabildiğini göstermiştir [233]. Zahra Dabiri ve arkadaşları (2022) ise çalışmalarında, Sentinel-1 verilerinden üretilen heyelan hacim tahminlerinde kullanılacak SYM'lerin doğruluğunu incelemiş ve elde edilen sonuçların güvenilir tahminler için daha fazla iyileştirmeye ihtiyaç duyduğunu ortaya koymuştur [234].

Yukarıdaki çalışmaların da ortaya koyduğu üzere, Sentinel-1 verilerinden üretilen SYM'ler belirli ölçüde doğruluk sunsa da hata payı barındırmaktadır. Bu çalışmada da heyelan olayı öncesi ve sonrası üretilen SYM'ler karşılaştırılarak toprak kayması olayı tespit edilmiştir. Sentinel-1 verilerinden üretilen SYM'lerde, kullanılan verilerin dikey baz mesafesi ve zamansal aralığı, arazinin eğimi ve yüzey pürüzlülüğü, atmosferik etkiler gibi pek çok etken doğruluğu etkileyebilmektedir. Bu hatalar hassas hacimsel metrik hesaplamaların güvenilirliğini düşürdüğü için, bu çalışmada ayrıntılı bir hacim analizi yapılmamıştır.

## 6.6. Sonuçlar

Bu çalışmada, Erzincan İliç Madeni'nde toprak kayması olayı öncesi yığın liçi alanındaki deformasyonların SAR görüntüleri yardımıyla tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, zaman serisi analiz yöntemlerinden PS-InSAR tekniği uygulanmış ve 2023-2024 dönemine ait 29 adet Sentinel-1 görüntüsü değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda yığın liçi alanında seçilen PS noktaları üzerinden deformasyon zaman serileri elde edilmiştir. Zaman serisi deformasyon grafikleri alanda meydana gelen yer değiştirmelerin büyüklüğü ve başlangıç zamanı hakkında detaylı bilgiler sunmuştur.

Çalışmanın sonuçları, yığın liçi alanının belirli bölgelerinde yıllık 60-70 mm seviyelerinde süregelen bir deformasyon eğilimi bulunduğunu göstermektedir. Nisan 2023 tarihinden itibaren deformasyonun hızlandığı ve sürekli hale geldiği tespit edilmiştir. Düzenli aralıklarla güncellenen PS-InSAR gibi SAR tabanlı izleme tekniklerinin, liç sahaları ve benzer riskli alanlar için erken uyarı sistemi olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Haftalık ya da aylık yapılacak değerlendirmelerde deformasyon eğiliminin kalıcı hale gelmesi veya değişim hızının belirli eşikleri aşması durumunda sahadaki kontrollerin sıklaştırılması, olası kazaları engelleyebilecektir.

SAR tabanlı zaman serisi yöntemlerinin, maden sahası gibi dinamik alanlarda küçük ölçekli deformasyonların bile güvenilir şekilde izlenmesine olanak tanıdığı gözlemlenmiştir. PS-InSAR tekniği, geleneksel yöntemlere kıyasla hem uzun dönemli hem de milimetre hassasiyetinde deformasyon ölçümleri sağlayarak riskli alanların tespitinde etkili bir uygulamadır. Analiz sürecinde üretilen PS noktalarının yoğunluğu ve zamansal uyumluluğu sonuçların güvenilirliğini desteklemiştir.

Ayrıca yapılan diğer çalışmada İliç Madeni'inde meydana gelen toprak kaymasının tespiti için Sentine-1 SAR görüntüleri kullanılarak sayısal yükseklik modelleri üretilmiştir. Bu kapsamda toprak kayması olayı öncesi ve sonrası maden sahası topografyası haritalanmış, büyük alanlarda meydana gelen ani kaymaların tespit edilmesi ve görselleştirilmesinde SAR verilerinin etkinliğini gösterilmiştir. Çalışmada izlenen metodolojide dikey baz mesafeleri için belirlenen aralık, uygun görüntü çiftlerinin bulunmasını zorlaştırmıştır. Yine de çalışmanın sonuçları, SAR'ın olay öncesi/sonrası SYM'ler üretilerek büyük ölçekli ve hızla gelişen toprak kaymalarını saptamada etkili olduğunu göstermiştir.

Sonuç olarak, Sentinel-1 SAR verileriyle gerçekleştirilen PS-InSAR tabanlı zaman serisi analizi, yığın liçi alanında gelişen yer değiştirme süreçlerini ortaya koyarak olası risklerin erken dönemde tespit edilebileceğini ve bu sayede sahada alınacak önlemlere yön verebileceğini göstermektedir. Bu çalışma SAR tabanlı deformasyon analizlerinin maden sahaları ve benzeri riskli bölgelerde afet izleme ve erken uyarı sistemleri için değerli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir.

## BÖLÜM 7

### UYGULAMA-3

#### Google Earth Engine ile Marmara Denizi'ndeki Müsilajın İzlenmesi

##### 7.1. Giriş

Son yıllarda küresel ısınma ve çevre kirliliği, deniz ekosistemleri üzerinde büyük bir tehdit oluşturmakta ve giderek artan çevre felaketlerine yol açmaktadır. Bu süreçlerin bir sonucu olarak ortaya çıkan müsilaj, ekosistem dengesini bozan ve "deniz salyası" olarak da adlandırılan bir sorundur [206]. Müsilaj, deniz ekosisteminin temel üreticisi olan fitoplanktonların belirli çevresel koşullar altında aşırı çoğalması sonucunda denize salgıladıkları sümüksü, şeffaf ve yapışkan organik maddedir [235]. Deniz suyu sıcaklıklarının yükselmesi, su sirkülasyonunun azalması, özellikle azot ve fosfor gibi maddelerin birikmesiyle artan kirlilik, aşırı balıkçılık ve istilacı türlerin varlığı müsilaj oluşumunu tetikleyen temel faktörler arasındadır [206, 236]. Son yıllarda artan müsilaj olayları, genellikle deniz ortamındaki fiziksel ve biyokimyasal koşullarda meydana gelen ani değişikliklerin ardından gözlemlenmektedir [235]. Müsilaj, su yüzeyinde yoğunlaşarak güneş ışığının alt katmanlara ulaşmasını engellemekte, oksijen seviyelerini düşürmekte ve deniz ekosisteminin dengesini bozarak biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir. Deniz canlıları için risk oluşturan müsilaj, balıkçılık ve turizm gibi ekonomik faaliyetleri de olumsuz etkilemektedir.

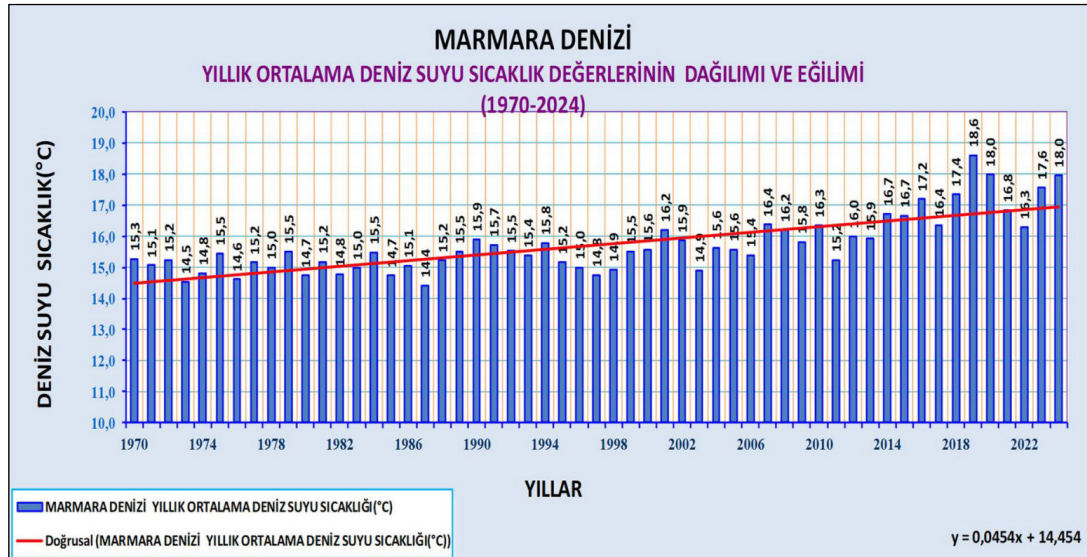
Şekil 7.1 2021 Yılı Marmara Denizi Müsilaj Görüntüsü [237]



Türkiye denizlerinde ilk müsilağ olayı 1992 yılında Marmara Denizi Erdek Körfezi'nde su altında gözlemlenmiştir [206]. Ekim 2007'de Marmara denizinde yoğun bir müsilağ olayı yaşanmış ve bu durum İstanbul ile Çanakkale Boğazı'nı ciddi şekilde etkilemiştir. Mart 2021'de ise Çanakkale Boğazı'nda gözlemlenen daha şiddetli müsilağ olayları, Marmara Denizi'nin doğusuna yayılmaya başlamış ve neredeyse tüm denizi tehdit eder hale gelmiştir (Şekil 7.1) [206, 238].

Marmara Denizi, Karadeniz'i İstanbul ve Çanakkale Boğazları aracılığıyla Ege Denizi'ne bağlayan yarı kapalı bir havzadır. Küresel ısınma nedeniyle Marmara Denizi suyu sıcaklıkları giderek artmakta (Şekil 7.2), bu da ekosistem üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Marmara Denizi'nde yoğun deniz trafiği nedeniyle petrol ve diğer atıkların denize sızması sonucu yüksek deniz kirliliği yaşanmaktadır. Ayrıca Marmara Havzası'nda faaliyet gösteren birçok ağır sanayi tesisi, atıklarını yeterli arıtmadan geçirmeden denize bırakmakta olup bu durum bölgedeki su kalitesinin daha da bozulmasına neden olmaktadır [239]. Bu olumsuz çevresel koşullar, fitoplanktonların aşırı çoğalmasına ve denizdeki biyolojik üretimin dengesinin bozulmasına yol açarak son yıllarda müsilağ olaylarının artmasına neden olmaktadır.

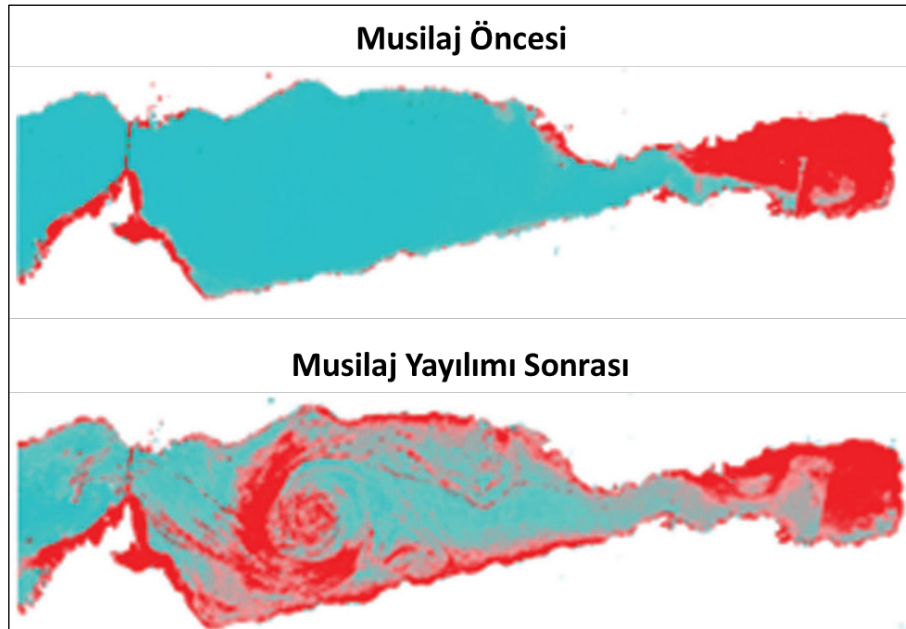
Şekil 7.2 Marmara Denizi Yıllık Ortalama Deniz Suyu Sıcaklık Değerleri [240]



Müsilağ oluşumunda besin seviyeleri, sıcaklık, akıntılar ve organik madde birikimi gibi birçok faktör etkili olup bu sürecin tam olarak anlaşılabilmesi için çeşitli

parametrelerin incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda klorofil-a konsantrasyonu, müsilaj tespiti için fitoplankton dinamiklerini ve karbon döngüsü süreçlerini değerlendirmede yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Şekil 7.3). Zararlı fitoplanktonun ana pigmenti olan klorofil-a, alg patlamalarıyla ilişkili olup suyun besin durumu ve sağlığını yansıtan önemli bir göstergedir. Ancak, klorofil-a seviyelerinin müsilajın tespiti için tek başına yeterli bilgi sağlamadığı göz önünde bulundurulmalıdır çünkü müsilajın doğrudan nedeni klorofil-a değildir. Klorofil-a varlığı, çeşitli çevresel faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Son araştırmalar, klorofil-a ve benzeri su kirliliği göstergelerinin sığ kıyılarda farklı koşullar altında artabileceğini ortaya koymuştur [239].

Şekil 7.3 İzmit Körfezi Müsilaj Öncesi ve Sonrası Klorofil-a Konsantrasyonu [239]



Müsilaj, geniş alanlara yayılma ve zamanla değişim gösterme eğiliminde olduğundan, geleneksel gözlem yöntemleriyle takibi sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, uzaktan algılama teknolojileri müsilajın izlenmesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Uzaktan algılama teknolojileri, aynı bölgeden sık aralıklarla görüntü elde etme imkânı sunarak müsilajın zamansal değişiminin takip edilmesini ve diğer ekolojik parametrelerle ilişkilendirilmesini sağlar. Zaman serisi analizleri sayesinde müsilajın oluşumu, yayılımı ve yoğunluğu detaylı bir şekilde incelenebilmekte ve uzun vadeli eğilimler tespit edilebilmektedir. Sahada yürütülen temizlik çalışmalarının etkilerinin

değerlendirilmesinde de uzaktan algılama etkin bir yöntemdir. Periyodik üretilen müsilağ dağılım haritaları, müsilağ hacminin hesaplanması, rehabilitasyon çalışmaları ve alınacak önlemlerin belirlenmesi gibi birçok sürece temel altlık sağlamaktadır [239, 241]. Bunun yanı sıra uzaktan algılama teknikleri kullanılarak klorofil-a, toplam askıda katı madde, su yüzeyi sıcaklığı ve trofik durum indeksi gibi birçok su kalitesi parametresi hesaplanabilmektedir. Bu göstergeler müsilağ oluşumuyla doğrudan veya dolaylı olarak ilişkilendirilebildiğinden, uzaktan algılama verileri müsilağın nedenleri ve yayılımı hakkında daha kapsamlı değerlendirmeler yapılmasına olanak tanımaktadır.

Sentinel-2 uydu görüntüleri, müsilağ tespiti ve takibi çalışmaları için önemli bir açık erişimli veri kaynağıdır. Su yüzeyindeki değişimleri izlemeye olanak tanıyan 2-5 günlük tekrar ziyaret süresi, müsilağın zamansal değişimini izlemeyi kolaylaştırır. Ayrıca müsilağ tespiti için kullanılan spektral indekslerin hesaplanmasına uygun kızılötesi spektral bantlara sahip olması Sentinel-2 görüntülerinin müsilağ analizlerinde kullanılmasını sağlar. Sentinel-2 görüntülerinin Google Earth Engine (GEE) platformunda doğrudan erişilebilir olması, zaman serisi analizlerini kolaylaştırmakta ve müsilağ gibi dinamikleri sürekliliği izlenmesi gereken çalışmalar için GEE'yi yüksek işlem kapasitesi, büyük veri setlerine erişim imkânı ve tekrarlanabilir analiz süreçleri sunması sayesinde uygun ve etkili bir platform haline getirmektedir.

Bu çalışmada, Sentinel-2 uydu görüntüleri ve GEE platformu kullanılarak Marmara Denizi'ndeki müsilağ oluşumunun tespit edilmesi ve izlenmesine yönelik bir uygulama geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, GEE üzerinde geliştirilen uygulama aracılığıyla, kullanıcılar belirli çalışma alanlarını, tarih aralıklarını ve müsilağ tespitinde kullanılacak indeksi seçerek özelleştirilmiş analizler gerçekleştirebilmektedir. Geliştirilen uygulama, müsilağın mekânsal yayılımını gösteren haritaların ve klorofil-a konsantrasyonuna ait zaman serisi grafiklerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu sayede, müsilağın zamansal ve mekânsal dinamikleri hızlı bir şekilde izlenebilmekte ve müsilağ ile ilişkili klorofil-a konsantrasyonu takip edilebilmektedir.



### 7.2.2. Veriler ve Uygulamalar

Bu çalışmada, Sentinel-2 uydu görüntüleri ve GEE platformu kullanılmıştır. GEE'ye entegre edilmiş olan Sentinel-2 verileri, 2015 yılından günümüze kadar erişilebilir olup geliştirilen uygulamada istenilen tarih aralığında seçilebilmektedir. Sentinel-2 görüntüleri, 10 m ile 60 m arasında değişen mekânsal çözünürlükleri, farklı dalga boyu aralıklarına sahip spektral bantlar (Tablo 7.1) içermesi ve kısa tekrarlama süresiyle müsilajın tespit edilmesi ve takip edilmesi için ideal bir veri kaynağıdır.

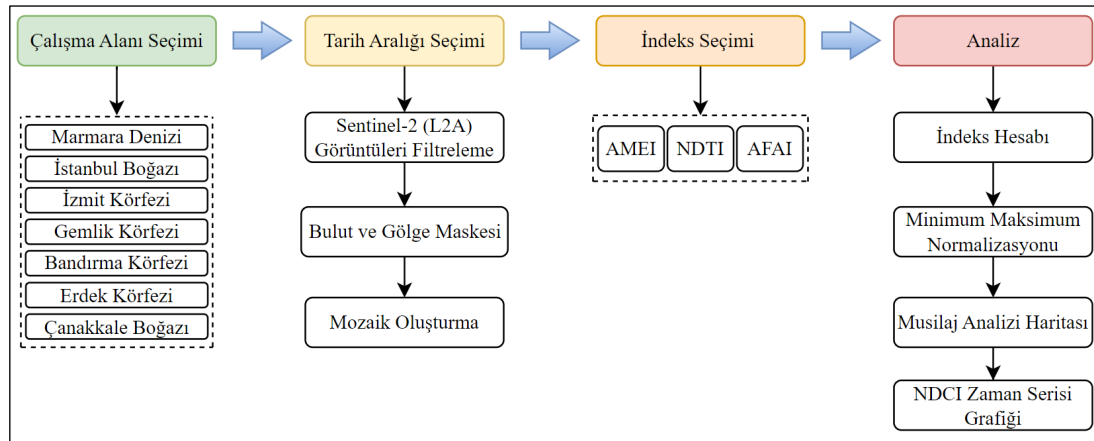
Tablo 7.1 Sentinel-2 Bantları Dalga Boyu Aralıkları

<b>Bantlar</b>	<b>Dalga Boyu Aralıkları (nm)</b>
Bant 1 – Kıyı / Aerosol	433-453
Bant 2 – Mavi	458-523
Bant 3 – Yeşil	543-578
Bant 4 – Kırmızı	650-680
Bant 5 – Kırmızı Kenar	698-713
Bant 6 – Kırmızı Kenar	733-748
Bant 7 – Kırmızı Kenar	773-793
Bant 8 – Yakın Kızılötesi	785-900
Bant 8A – Kırmızı Kenar	855-875
Bant 9 – Su Buharı	935-955
Bant 10 – Kısa Dalga Kızılötesi (Cirrus)	1360-1390
Bant 11 – Kısa Dalga Kızılötesi	1565-1655
Bant 12 – Kısa Dalga Kızılötesi	2100-2280

### 7.3. Metodoloji

Marmara Denizi'ndeki müsilaj oluşumunun tespit edilmesi ve izlenmesine yönelik geliştirilen uygulamanın iş akış şeması Şekil 7.5'te sunulmaktadır. Uygulama, kullanıcıların Marmara Denizi'nde belirli alanlarda müsilaj analizi gerçekleştirebilmesine olanak tanımaktadır. Seçilebilen çalışma alanları arasında Marmara Denizi genelinin yanı sıra, İstanbul Boğazı, İzmit Körfezi, Gemlik Körfezi, Bandırma Körfezi, Erdek Körfezi ve Çanakkale Boğazı gibi yayılımının yoğun gözlemlendiği bölgeler yer almaktadır.

Şekil 7.5 Müsilaj Uygulaması İş Akış Şeması



### 7.3.1. Çalışma Alanı Seçimi

Çalışma alanlarının sayısallaştırılması amacıyla Normalize Edilmiş Su Farkı İndeksi (NDWI) kullanılmıştır. NDWI, yeşil ve yakın kızılötesi spektral bantları kullanarak su alanlarını kara yüzeylerinden ayırt etmeyi sağlayan bir yöntemdir [242]. NDWI değerleri, -1 ile +1 arasında değişmektedir. Çalışma alanlarının sayısallaştırılmasında, su alanlarının tespit edilmesi için NDWI değeri pozitif olan alanlar seçilmiştir. Elde edilen verilere Douglas-Peucker algoritması uygulanarak verilerin sadeleştirilmesi sağlanmıştır. Douglas-Peucker algoritması, vektör veri setlerinde doğruluk kaybını minimumda tutarak ve gereksiz detayları ortadan kaldırarak geometrilerin sadeleştirilmesini sağlayan bir tekniktir [243]. Sayısallaştırılan ve sadeleştirme işlemi uygulanan çalışma alanları, uygulamaya entegre edilerek kullanıcıların analiz için uygun bölgeyi seçebilmesini sağlamıştır.

### 7.3.2. Tarih Aralığı Seçimi ve Görüntülerin Filtrelenmesi

Uygulamaya analiz yapılması istenilen zaman aralığı, başlangıç ve bitiş tarihleri girilerek belirlenmekte ve bu tarihler arasında elde edilen Sentinel-2 (Level-2A) görüntüleri filtrelenmektedir. Seçilen zaman aralığında bulut oranı %20'nin altında olan görüntüler tercih edilmekte ve en güncel uygun görüntü analiz için kullanılmaktadır. Atmosferik etkileri azaltmak amacıyla görüntülere bulut ve gölge maskesi uygulanmıştır. Bulut maskesi, MSK\_CLDPRB bandında bulut olasılığı %25'in altında olan piksellerin seçilmesi ve SCL (İng. *Scene Classification Layer*)

bandında bulut gölgesi (SCL = 3), orta bulut olasılığı (SCL = 8) ve yüksek bulut olasılığı (SCL = 9) içeren alanların filtrelenmesiyle oluşturulmuştur. Ayrıca, SCL bandında gölge (SCL = 2) olarak sınıflandırılan pikseller filtrelenerek görüntülerden bulut ve gölge etkilerinin temizlenmesi hedeflenmiştir. Ön işleme adımlarının ardından uygun görüntüler birleştirilerek mozaik oluşturulmakta ve analiz için hazır hale getirilmektedir.

### 7.3.3. İndeks Seçimi

Uygulamanın indeks seçimi bölümünde, müsilaj analizi için üç farklı indeksten biri seçilerek işlem gerçekleştirilmektedir. Müsilaj tespiti üzerine yapılan literatür incelemeleri sonucunda, Otomatik Müsilaj Çıkarım İndeksi (AMEI), Normalize Edilmiş Bulanıklık İndeksi (NDTI) ve Alternatif Yüzen Alg İndeksi (AFAI) indekslerinin öne çıktığı belirlenmiş ve bu indeksler uygulamaya dahil edilmiştir. AMEI, görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bölgelerini kapsayan spektral bantları kullanarak su yüzeyindeki müsilaj oluşumunu otomatik olarak tespit etmek amacıyla geliştirilmiş bir indekstir. NDTI, suyun bulanıklık seviyelerini belirlemek amacıyla kullanılan bir indekstir ve askıda katı madde konsantrasyonu ile alg yoğunluğu gibi parametrelerle ilişkili olarak müsilajın tespitinde etkili bir göstergedir. Ancak, ince bulut örtüsüne sahip (örneğin, şeffaf veya sirüs bulutları içeren) görüntülerde NDTI indeksinin müsilaj analizlerinde doğruluğu azalmaktadır [238]. AFAI ise su yüzeyindeki yüzeysel alg yoğunluğunu tespit etmek için kullanılan bir indekstir ve müsilaj oluşumuyla ilişkili alg yoğunluğunun izlenmesinde önemli bir göstergedir. Çalışmada kullanılan indekslerin formülleri ve kullanım amaçları Tablo 7.2’de sunulmuştur.

Tablo 7.2 Müsilaj Çalışmasında Kullanılan İndekslerin Formülleri

İndeks	Formül	Kullanım Amacı
NDWI	$(B3 - B8) / (B3 + B8)$	Kıyı Çizgileri Tespiti
AMEI	$((2 * B4) + B8 - (2 * B12)) / (B3 + (0,25 * B12))$	Müsilaj Analizi
NDTI	$(B4 - B3) / (B4 + B3)$	Müsilaj Analizi
AFAI	$B8 - B4 - (0,5 * (B11 - B4))$	Müsilaj Analizi
NDCI	$(B5 - B4) / (B5 + B4)$	Klorofil-a Analizi

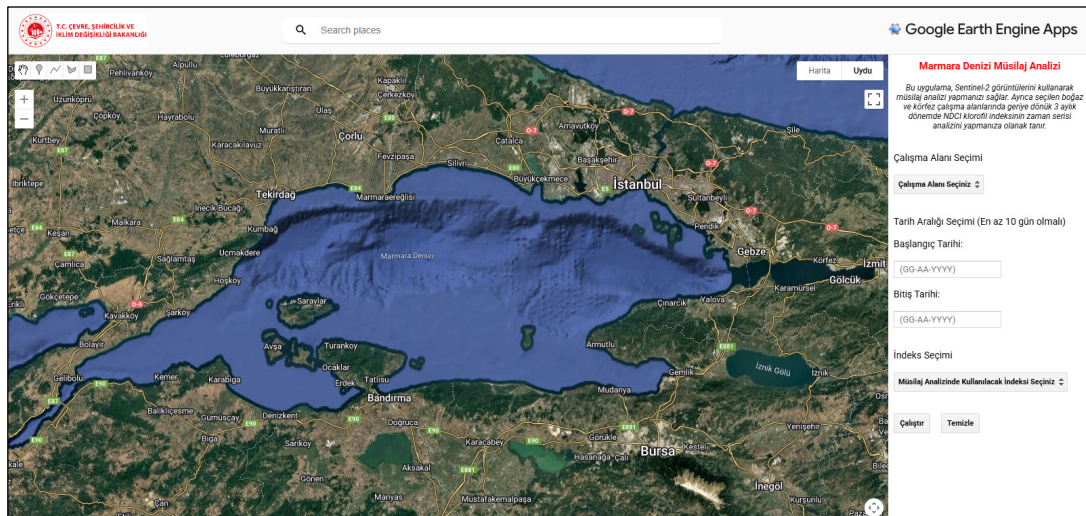
### 7.3.4. Analiz ve Görselleştirme

Analiz aşamasında, kullanıcı tarafından belirlenen tarih aralığı, çalışma alanı ve indeks doğrultusunda müsilağ tespit analizi gerçekleştirilmektedir. Seçilen indeksin hesaplanmasının ardından, elde edilen indeks değerlerine Minimum-Maksimum Normalizasyonu uygulanarak değerler 0 ile 1 arasında ölçeklendirilmiştir. Normalizasyon işlemi, farklı aralıklarda değişen indeks değerlerini ortak bir ölçeğe getirerek analiz sonuçlarının daha tutarlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Normalizasyonun ardından, müsilağın mekânsal dağılımını görselleştiren müsilağ analizi haritası oluşturularak ekrana yansıtılmaktadır. Ayrıca Marmara Denizi alt çalışma alanlarından biri seçildiğinde, Normalize Edilmiş Klorofil İndeksi (NDCI) ortalama değerlerine dayalı zaman serisi analizi, belirlenen son tarihten geriye dönük üç aylık bir dönemi kapsayacak şekilde gerçekleştirilmektedir. NDCI analizi, müsilağ ile ilişkilendirilebilecek klorofil-a konsantrasyonundaki değişimleri izlemeye olanak tanımakta olup elde edilen zaman serisi grafiği kullanıcıya sunulmaktadır.

## 7.4. Bulgular

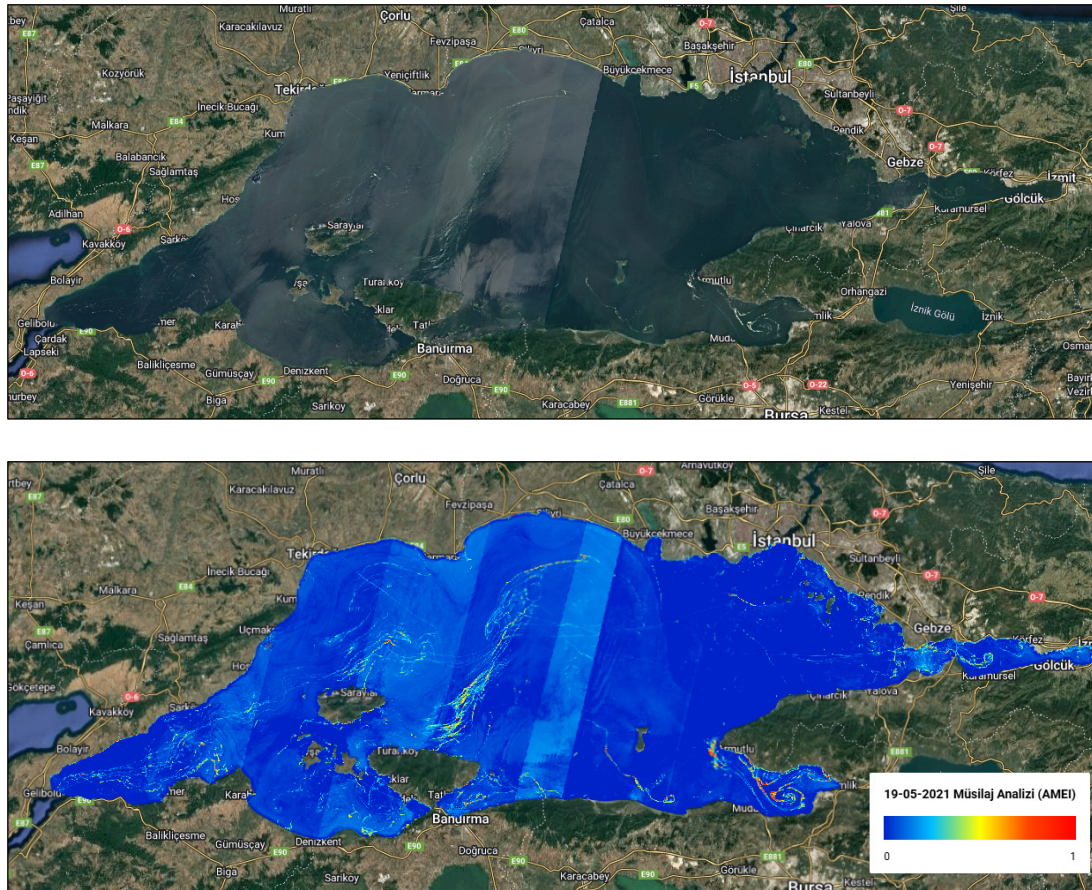
Bu çalışmada geliştirilen uygulama, Google Earth Engine Apps platformu üzerinden web tabanlı olarak erişime sunulmuştur (Şekil 7.6). Uygulamaya internet adresi üzerinden erişilebilmektedir [244].

Şekil 7.6 Müsilağ Analizi Uygulaması Arayüzü



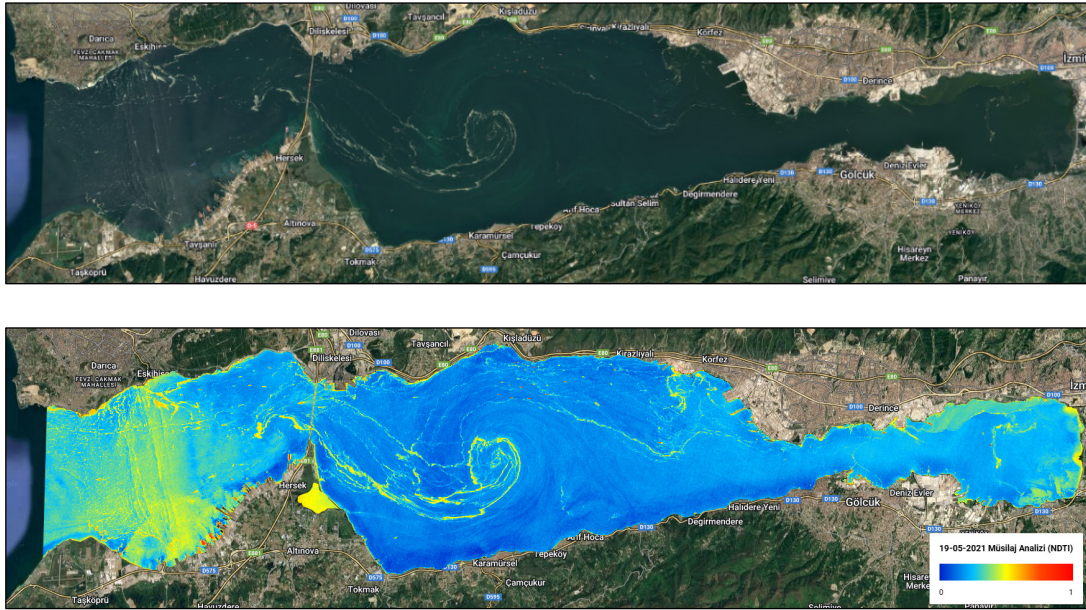
Uygulama, Marmara Denizi'ndeki müsilaj oluşumunu tespit etmede başarılı ve hızlı sonuçlar elde etmiştir. Farklı alışma alanları, tarihler ve indekslerle yapılan testler uygulamanın esnek bir yapıda etkili analizler gerçekleştirebildiğini göstermektedir. 19.05.2021 tarihli AMEI indeksi kullanılarak Marmara Denizi alışma alanında gerçekleştirilen analizde (şekil 7.7), Marmara Yarımadası'ndan Silivri kıyılarına kadar uzanan belirgin bir müsilaj oluşumu tespit edilmiştir. Ayrıca, İzmit ve Gemlik Körfez'lerinde yoğun müsilaj birikimlerinin olduğu analiz sonuçlarında gözlemlenmiştir.

şekil 7.7 Marmara Denizi 19-05-2021 RGB (stte) ve AMEI Analizi (altta)



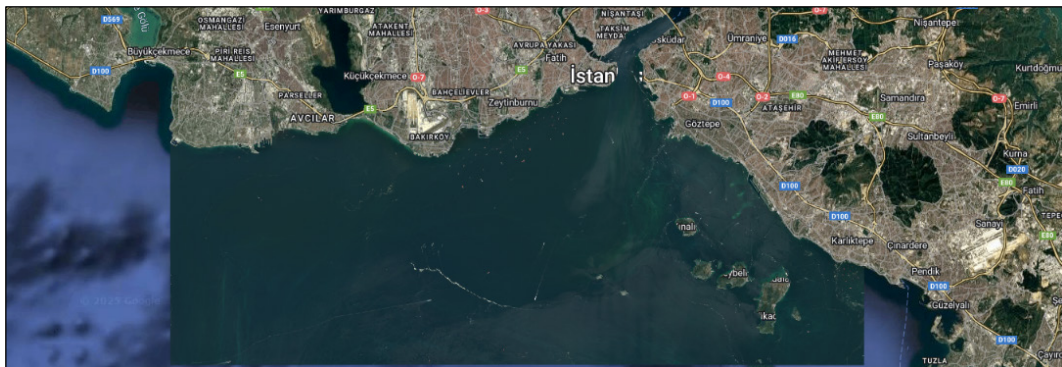
19.05.2021 tarihli NDTI indeksi kullanılarak İzmit Körfezi alışma alanında gerçekleştirilen analizde (şekil 7.8), körfezin batısında (Eskihisar ve Tavşanlı civarı) ve doğusunda (Gölcük ve İzmit kıyıları) yoğun müsilaj oluşumu gözlemlenmektedir. Körfez merkezinde ise akıntı dinamikleri sebebiyle girdap benzeri şekillerde müsilaj birikimi tespit edilmiştir.

Şekil 7.8 İzmit Körfezi 19-05-2021 RGB (üstte) ve NDTI Analizi (altta)



19.05.2021 tarihli AMEI indeksi kullanılarak İstanbul Boğazı ve Adalar çalışma alanında gerçekleştirilen analizde (Şekil 7.9), Adalar açıklarında ve Marmara Denizi'nin güneybatısında müsilağ yoğunluğu görülmektedir. Ayrıca, akıntı dinamikleri sebebiyle müsilağın bazı bölgelerde çizgisel yapılar oluşturduğu tespit edilmiştir.

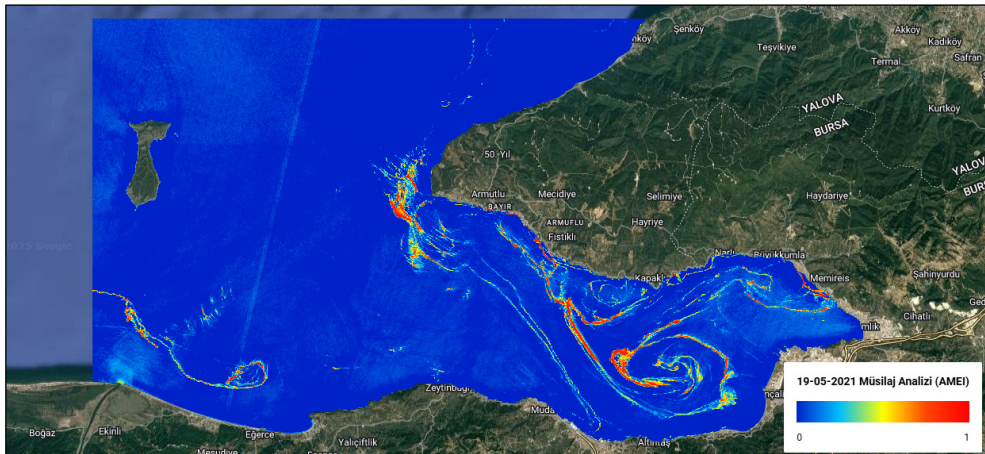
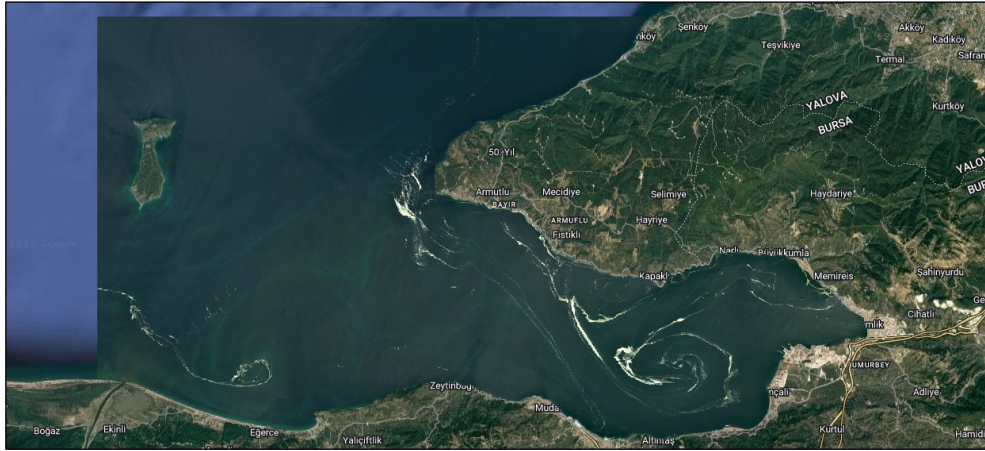
Şekil 7.9 İstanbul Boğazı ve Adalar 19-05-2021 RGB (üstte) ve AMEI Analizi (altta)





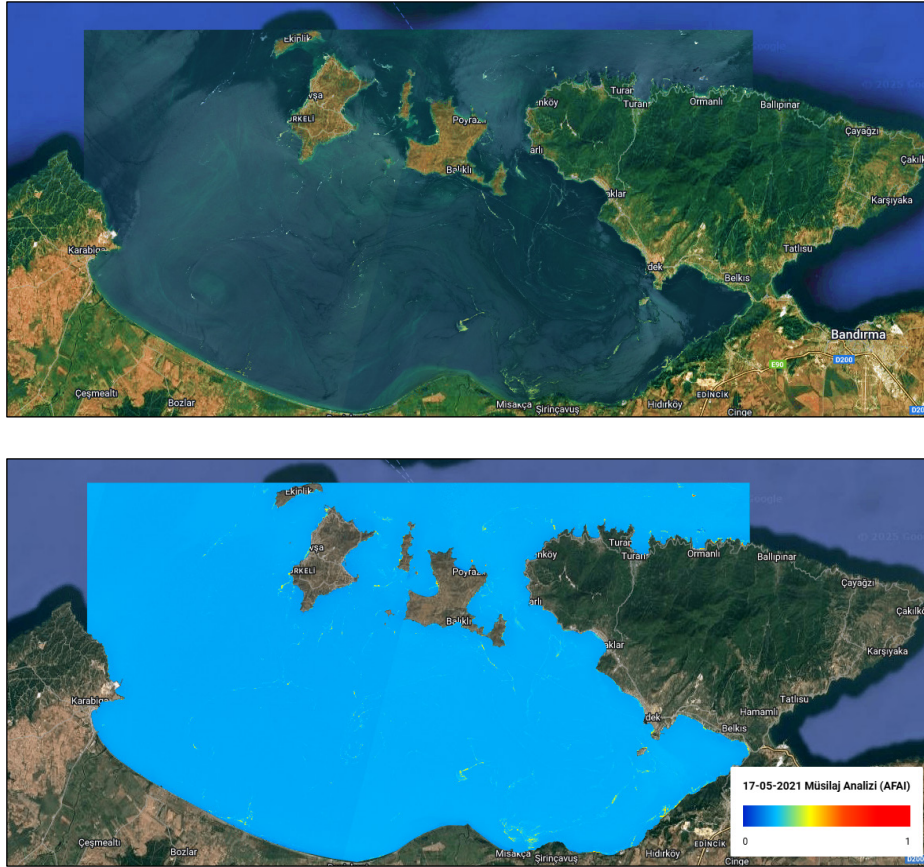
19.05.2021 tarihli AMEI indeksi kullanılarak Gemlik Körfezi çalışma alanında gerçekleştirilen analizde (Şekil 7.10), Armutlu-Karşıyaka kıyılarında, körfezin güneybatısında ve merkezinde yoğun müsilaj oluşumu tespit edilmiştir. Ayrıca İzmit Körfezi'ne benzer şekilde (Şekil 7.8), akıntı dinamikleri nedeniyle körfez merkezinde girdap benzeri müsilaj oluşumları gözlemlenmiştir.

Şekil 7.10 Gemlik Körfezi 19-05-2021 RGB (üstte) ve AMEI Analizi (altta)



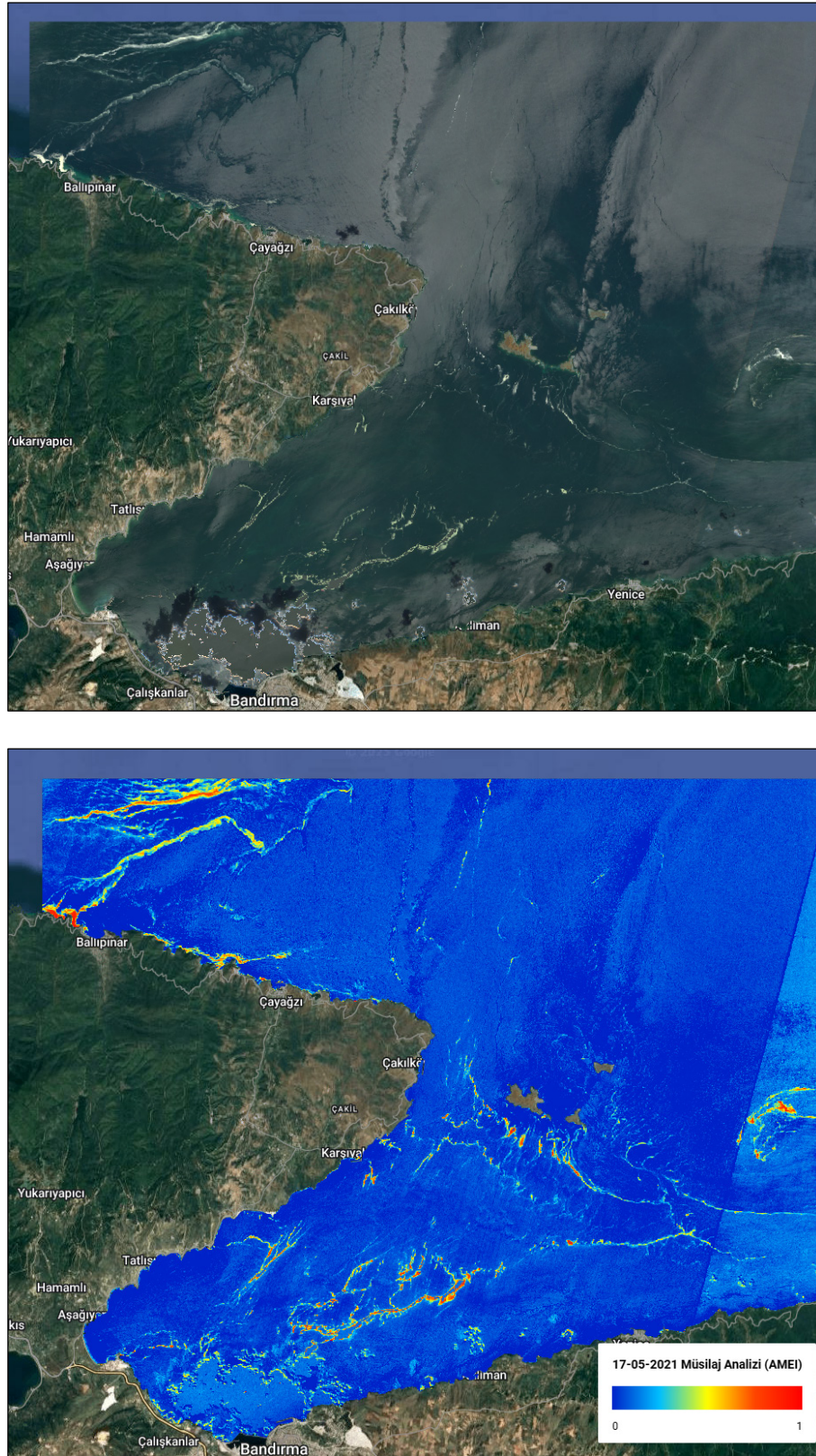
17.05.2021 tarihli AFAI indeksi kullanılarak Erdek Körfezi çalışma alanında gerçekleştirilen analizde (Şekil 7.11), özellikle Misakça kıyıları ve körfezin doğu kesimlerinde (Erdek ve Edincik kıyıları) yoğunlaşan müsilaj oluşumları tespit edilmiştir.

Şekil 7.11 Erdek Körfezi 17-05-2021 RGB (üstte) ve AFAI Analizi (altta)



17.05.2021 tarihli AMEI indeksi kullanılarak Bandırma Körfezi çalışma alanında gerçekleştirilen analizde (Şekil 7.12), Marmara Yarımadası'nın kuzeyi ve körfezin merkez kesimlerin müsilaj oluşumlarının yoğunlaştığı görülmektedir.

Şekil 7.12 Bandırma Körfezi 17-05-2021 RGB (üstte) ve AMEI Analizi (altta)



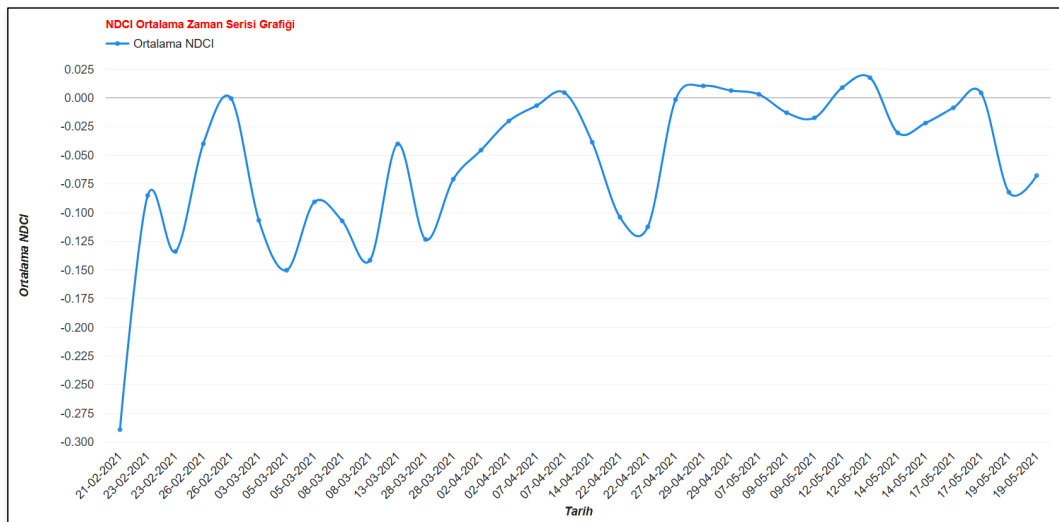
17.05.2021 tarihli AMEI indeksi kullanılarak Çanakkale Boğazı çalışma alanında gerçekleştirilen analizde (Şekil 7.13), boğaz boyunca çizgisel yapılar halinde müsilaj birikiminin olduğu tespit edilmiştir. Akıntı dinamikleri ve su hareketleri nedeniyle müsilaj, dar ve uzun hatlar şeklinde dağılım göstermiştir.

Şekil 7.13 Çanakkale Boğazı 17-05-2021 RGB (üstte) ve AMEI Analizi (altta)

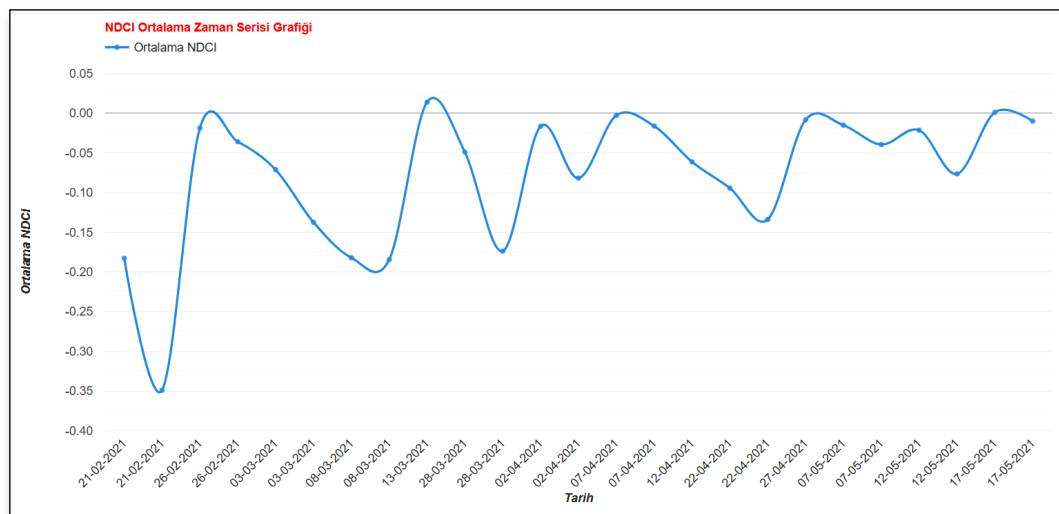


Müsilaj dağılımını gösteren haritaların yanı sıra kullanıcının belirlediği son tarihten geriye dönük üç aylık bir zaman aralığında, seçilen bölgenin NDCI ortalama değerlerine dayalı zaman serisi grafikleri oluşturulmaktadır. NDCI zaman serisi grafikleri müsilaj yoğunluğundaki değişim trendlerini gözlemlemeye ve bölgedeki müsilaj oluşumunu etkilen faktörlerin zaman içindeki seyrini analiz etmeye yardımcı olmaktadır. 21.02.2021 – 19.05.2021 tarihleri arasındaki Gemlik Körfezi (Şekil 7.14) ve 21.02.2021 – 17.05.2021 tarihleri arasındaki Bandırma Körfezi (Şekil 7.15) çalışma alanlarında gerçekleştirilen analizler, NDCI klorofil-a indeksinin 2021 yılı Mayıs ayındaki yoğun müsilaj oluşumu öncesinde artış gösterdiğini göstermektedir.

Şekil 7.14 Gemlik Körfezi 19-05-2021 NDCI İndeksi Zaman Serisi Grafiği



Şekil 7.15 Bandırma Körfezi 17-05-2021 NDCI İndeksi Zaman Serisi Grafiği



## 7.5. Sonuçlar

Bu alışma, Sentinel-2 uydu görüntülerini kullanarak Marmara Denizi'ndeki müsilaj varlığının tespit edilmesi ve izlenmesine yönelik bir web tabanlı uygulama geliştirmeyi amaçlamaktadır. Google Earth Engine platformu üzerinde geliştirilen uygulama, kullanıcının belirlediği tarih aralığında ve çalışma alanında müsilaj analizini gerçekleştirmekte, seçilen indekslere göre müsilaj dağılım haritalarını oluşturmaktadır. Ayrıca belirlenen bölge için son üç aya ait Normalize Edilmiş Klorofil İndeksi (NDCI) zaman serisi grafikleri üreterek müsilaj ile ilişkili klorofil-a konsantrasyonunun değişimini inceleme imkânı sunmaktadır.

Geliştirilen uygulama, müsilaj tespiti konusunda hızlı ve etkili bir analiz süreci sağlamaktadır. Çalışma kapsamında farklı çalışma alanları ve tarihler için yapılan testler, uygulamanın müsilaj dağılımını başarılı bir şekilde haritalandırabildiğini göstermektedir. Web tabanlı olması sayesinde geniş bir kullanıcı kitlesine hitap eden uygulama, müsilaj takibi için uygulanabilirliği yüksek bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Çalışmada bulut maskesi kullanılmasına rağmen ince bulut örtüsünün tamamen kaldırılamaması ve gemi izlerinin müsilaj ile benzer yansıma özellikleri gösterebilmesi bazı durumlarda analiz sonuçlarında karışıklığa neden olabilmektedir. Ayrıca Sentinel-2'nin optik bir uydu olması sebebiyle yoğun bulutluluk durumlarında güncel görüntüler üzerinden analiz yapılamamaktadır. Bunun yanı sıra, klorofil-a konsantrasyonunu belirlemek için uydu görüntüleri ile hesaplanan NDCI değerlerinin, saha ölçümleri ile karışılaştırılarak istatistiksel modeller aracılığıyla kalibre edilmesi klorofil-a konsantrasyonunun daha doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma, uydu görüntüleri kullanılarak Marmara Denizi'ndeki müsilajın tespit edilmesi ve izlenmesi için bir yöntem sunmaktadır. Geliştirilen web tabanlı uygulama hem müsilajın mekânsal dağılımını belirlemede hem de zaman içindeki değişimini analiz etmede başarılı bir performans sergilemektedir. Gelecekte, radar görüntüleri gibi farklı uzaktan algılama verilerinin entegrasyonu ile bulutluluk kaynaklı sınırlamaların azaltılması ve analiz doğruluğunun artırılması mümkündür. Yapılacak geliştirilmelerle birlikte, uygulamanın müsilaj izleme ve yönetim süreçlerinde daha etkili bir araç haline gelmesi beklenmektedir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Türkiye ve farklı ülkelerde uzaktan algılama alanında faaliyet gösteren kurumların çalışmaları ve stratejileri incelenmiştir. Türkiye'nin arazi örtüsü özelliklerine uygun bir görüntü çözünürlük optimizasyonu yöntemi geliştirilmiş ve Google Earth Engine platformun üzerinde uygulanmıştır. Ayrıca yangın sonrası bitki örtüsü yenilenmesi, toprak kayması olayı öncesi deformasyon analizi ve müsilaj olaylarına yönelik zaman serisi analizleri gerçekleştirilmiş ve bu analizlerin Bakanlık çalışmalarına sağlayabileceği katkılar değerlendirilmiştir.

Türkiye'de uzaktan algılama alanında faaliyet gösteren kamu kurumları, son yıllarda giderek artan bir kurumsal yapılanma, stratejik yaklaşım ve uygulama kapasitesi göstermektedir. Türkiye Uzay Ajansı, TÜBİTAK UZAY, TUSAŞ, Harita Genel Müdürlüğü, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü gibi kurumlar sahip oldukları görüntü üretim kapasiteleri, araştırma geliştirme faaliyetleri, geliştirdikleri stratejik yaklaşımlar ve yürüttükleri projelerle ülkenin uzaktan algılama kapasitesine değerli katkılar sunmaktadır. Uydu geliştirme konusunda atılan adımlar, GÖKTÜRK ve İMECE gibi projelerle ulusal gözlem kapasitesinin artırılması yönünde önemli bir ilerlemeyi temsil etse de yer gözlem uydusu kapasitesinin daha da geliştirilmesi gerekliliği devam etmektedir.

Tez kapsamında incelenen kurumların uzaktan algılama alanındaki çalışmaları, farklı kurumlarda üretilen ve kullanılan verilerin dağınık yapısı nedeniyle merkezi bir görüntü arşiv sistemine duyulan ihtiyacı ortaya koymuştur. Ulusal düzeyde oluşturulacak ortak bir görüntü arşiv sisteminin, kurumlar arasında veri paylaşımını kolaylaştıracağı ve afet yönetimi, çevresel izleme, arazi kullanımı ve planlama gibi çok sayıda kurumun birlikte çalıştığı alanlarda daha sağlıklı ve hızlı kararlar alınmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda, Fransa'da kamu kurumlarının yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerine merkezi bir yapı üzerinden erişimini sağlayan DINAMIS sistemi, başarılı bir örnek olarak gösterilebilir. DINAMIS, standartlara uygun bir altyapı aracılığıyla kurumlar arası veri paylaşımını kolaylaştırmakta ve görüntülerin analiz süreçlerinde ortak kullanımını sağlamaktadır. Türkiye'de oluşturulacak sistemin uydu görüntülerinin yanı sıra hava fotoğraflarını da

içerecek şekilde tasarlanması ve TUCBS standartlarıyla uyumlu biçimde yapılandırılması, uzaktan algılama verilerinin kurumsal coğrafi bilgi sistemi altyapılarına entegre edilmesini kolaylaştıracaktır. Ayrıca arşiv sisteminin kullanımı kolay analiz araçlarıyla birlikte çalışması kamu kurumlarının yanı sıra araştırma kuruluşları, üniversiteler ve yerel yönetimler tarafından da kullanılabilmesini sağlayacaktır.

Uluslararası ölçekte yapılan araştırmalar, birçok ülkenin uzaktan algılama verilerini doğrudan stratejik planlama süreçlerine entegre ettiğini ve kurumsal yapıların bu doğrultuda şekillendirildiğini göstermektedir. ABD, Kanada, Çin, Güney Kore ve Avrupa ülkelerinde çevresel izleme, tarım politikaları, afet yöntemi ve şehir planlama gibi alanlarda uzaktan algılama sistemleri planlı bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca bu ülkelerde, kullanıcı ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş çözünürlük değerleriyle uydu sistemleri tasarlanmakta ve her bir kamu kurumu için veri erişimini kolaylaştıran platformlar geliştirilmektedir. Güney Kore örneğinde olduğu gibi, uzaktan algılama verilerini aktif kullanan kamu kurumlarının ihtiyaçları doğrultusunda şekillenen uydu planlamaları Türkiye için de uygulanabilir bir model olarak değerlendirilebilir. Türkiye'nin sektörel ihtiyaçlarını ve coğrafi özelliklerini göz önünde bulundurarak uydu sistemlerini planlaması, uzun vadede gerekli verileri sağlayabilecek uygun sensör özelliklerine sahip sistemlere yatırım yapması açısından büyük önem taşımaktadır.

Ülkelerin yürüttüğü ulusal veya bölgesel projelerde uzaktan algılama verilerinin karar destek sistemlerindeki rolü, uzaktan algılama teknolojilerinin sahip olduğu potansiyeli açıkça yansıtmaktadır. Araştırmalar ayrıca, son dönemde iklim değişikliğiyle mücadele ve karbon emisyonlarının takibine yönelik uydu çalışmalarına olan eğilimin arttığını göstermektedir. Tez kapsamında hazırlanan optik ve SAR uydu sistemlerine yönelik teknik özellik tabloları ise çözünürlük, bant yapısı ve görüntüleme yöntemleri gibi temel parametreleri yan yana sunarak, farklı sistemlerin teknik kapasitelerinin karşılaştırmalı olarak görülmesini sağlamaktadır.

Uzaktan algılama analizlerinde mekânsal, radyometrik, spektral ve zamansal çözünürlük değerlerinin doğru belirlenmesi analiz doğruluğunu artırırken kaynak ve zaman kullanımını da verimli hale getirmektedir. Tez kapsamında geliştirilen görüntü

çözünürlük optimizasyon uygulaması, Türkiye'nin farklı arazi örtüsü türleri ve analiz ihtiyaçlarına yönelik görüntü çözünürlük değerlerinin önerilmesini kapsamaktadır. Geliştirilen uygulama, Türkiye genelini kapsayan analizlerle uzaktan algılama çalışmalarında ihtiyaç duyulan görüntü çözünürlüklerine yönelik ulusal düzeyde genel bir değerlendirme sunmaktadır. Ayrıca bölgesel ölçekte yapılan analizlerle belirli alanlara özel çözünürlük önerilerinin kolayca görüntülenmesini sağlamaktadır.

Uygun görüntü çözünürlük değerlerinin, arazi örtüsü ve analiz türünün yanında arazi kullanım özelliklerine göre de değişebileceği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, uygulamada örnek olarak kentsel alanlar için dinamiklik seviyesine yönelik bir özelleştirme yapılmıştır. Diğer arazi örtüsü sınıfları için de arazi kullanımı özellikleri dikkate alınarak özelleştirmelerin yapılması daha doğru sonuçlar verecektir. Ayrıca gelecek çalışmalarda sisteme daha küçük boyuta sahip gridler eklenmesi ve H3 gibi ilişkisel grid yapılarının kullanılması, sonuçları hem küçük alanlara daha uygun hem de daha kolay karşılaştırabilir bir hale getirecektir.

Tez kapsamında kullanılan Google Earth Engine altyapısı, bulut tabanlı sistemlerin uzaktan algılama analizlerinde sunduğu avantajları somut bir şekilde göstermektedir. Bulut tabanlı analiz sistemi sayesinde, küçük alanlardan ulusal ölçeğe kadar farklı coğrafi bölgelerdeki uzaktan algılama verilerine kolayca erişilebilmekte ve analizler kullanıcı yazılımına gerek kalmadan sunucuların geniş kapasitesi sayesinde hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Gerçekleştirilen zaman serisi analizleri, uzaktan algılama verileriyle çevresel değişimlerin düzenli ve güvenilir şekilde izlenebileceğini göstermiştir. Bu kapsamda ilk olarak, 2021 yılı Bodrum-Milas yangını sonrası farklı yanma şiddeti seviyelerine sahip alanlarda bitki örtüsü yenilenme süreçleri incelenmiştir. Analiz sonuçları orta ve daha yüksek yanma şiddetine maruz kalan bölgelerde bitki örtüsü yenilenme süreçlerine yönelik stratejilerin uzun vadeli ve bölgeye özgü oluşturulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yangın veya benzeri afet sonrası yapılacak zaman serisi analizlerinin Bakanlığın da katkı sağladığı çevresel planlama ve iyileştirme çalışmalarına faydalı olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

SAR görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilen zaman serisi analizi, Erzincan İliç'teki toprak kayması olayın öncesi döneme yönelik anlamlı deformasyon bulguları ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, SAR tabanlı sistemlerin yer hareketlerinin izlenmesinde güçlü bir araç olduğunu ve düzenli izleme ile olası erken uyarı süreçlerine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Ayrıca gelecekte daha yüksek çözünürlüklü radar verilerinin kullanılmasıyla daha hassas tespit ve analizlerin yapılabileceği düşünülmektedir. SAR verileri kullanılarak geliştirilecek deformasyon takibine yönelik otomatik erken uyarı sistemlerinin, risk altındaki yerleşim alanları ile maden sahaları gibi endüstriyel faaliyet alanlarında oluşabilecek ani hareketleri sürekli izleyebileceği ve müdahale süreçlerini destekleyebileceği öngörülmektedir. SAR tabanlı zaman serisi analizlerin, afet öncesi risk azaltma ve afet sonrası etkilerin izlenmesi gibi alanlarda Bakanlık faaliyetlerine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Tez kapsamında yürütülen SAR verisi analiz sürecinde, PS-InSAR gibi ileri seviye radar veri işleme yöntemlerini uygulayabilecek erişilebilir yazılımlara ulaşmanın güç olduğu görülmüştür. SAR tabanlı analizlerin sunduğu yüksek potansiyele rağmen, bu analizleri gerçekleştirebilecek açık kaynaklı yazılımların sayısı sınırlıdır. Ülkemizde planlanan ve geliştirilmekte olan SAR uydu programları da dikkate alındığında ulusal ihtiyaçlara uygun bir SAR analiz platformunun geliştirilmesinin hem teknik kapasiteyi artıracığı hem de kurumsal bağımsızlığı güçlendireceği değerlendirilmektedir.

Marmara Denizi'nde gerçekleştirilen müsülaj izleme çalışması, optik uydu verilerinin su ekosistemlerinin takibinde önemli bir araç olduğunu göstermiştir. Su kütlelerindeki biyolojik ve fiziksel değişimleri takip etme kapasitesine sahip uzaktan algılama sistemlerinin, su kalitesi parametreleriyle ilişkilendirilerek yorumlanmasının daha güvenilir analiz sonuçları sağladığı değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, uydu verilerinin sahadan elde edilen ölçümlerle entegre edilerek mevcut izleme modellerine destek sağlaması, müsülaj benzeri olaylarda erken tespit ve müdahale süreçlerini destekleyebilecek bir yapının kurulmasına yardımcı olabilir. Bakanlık bünyesinde yürütülen su yönetimi, kentsel kıyı planlaması ve deniz kirliliği izleme faaliyetlerine bu

tür uzaktan algılama tabanlı yaklaşımların entegre edilmesi önemli avantajlar sağlayacaktır.

Zaman serisi analizler Bakanlık görev alanına giren çevresel izleme, afet risklerinin değerlendirilmesi ve mekânsal planlama faaliyetlerinde kullanılabilir önemli bir analiz ve karar destek yaklaşımıdır. Zaman ve mekânda meydana gelen değişimlerin birlikte değerlendirmesini sağlayan zaman serisi analizleri çevresel risklerin izlenmesini ve yönetilmesini kolaylaştırmaktadır. Uzaktan algılama tabanlı zaman serisi analizlerinin iklim değişikliği etkilerinin mekânsal izlenmesi, kıyı erozyonu takibi, çölleşme süreçlerinin izlenmesi, kentsel yayılma dinamiklerinin belirlenmesi, afet öncesi risk analizleri, erken uyarı sistemleri ve afet sonrası değişimlerin izlenmesi gibi birçok alanda kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak uzaktan algılama teknolojileri, birçok alanda coğrafi veriye erişimi kolaylaştıran ve günlük hayatta büyük faydalar sunan bir sistemdir. Ülkemizin coğrafi özellikleri dikkate alınarak uzaktan algılama görüntülerinin düzenli şekilde elde edilmesi, bu görüntülerin sistematik bir arşiv altyapısında toplanması ve görüntülerin ihtiyaçlara uygun yöntemlerle analiz edilmesi, kamu kurumlarının karar alma süreçlerini güçlendirecek ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

1. SABUNCU Aslı, 2018, Yüksek Mekânsal Çözünürlüklü Uydu/Uçak Platformlu Görüntüler ve CBS Teknolojisi Kullanılarak Van-Erciş Depremi Sonrası Bina Hasar Tespiti, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
2. DE JONG Steven Michael, VAN DER MEER Freek D., CLEVERS Jan G.P.W., 2004, Basics of Remote Sensing, Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain, s.1-15, [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2560-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2560-0_1)
3. WONG Man Sing vd., 2021, Optical Remote Sensing, Urban Informatics, s.315-341, [http://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6\\_20](http://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_20)
4. GÜLER Ümit vd., 2022, Haberleşme Uygulamalarında Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(2), s.761-775, <https://doi.org/10.21923/jesd.1000582>
5. ALVAREZ-VANHARD Emilien, CORPETTI Thomas, HOUET Thomas, 2021, UAV & Satellite Synergies for Optical Remote Sensing Applications: A Literature Review, Science of Remote Sensing, 3, <https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100019>
6. AGRAWAL S., KHAIRNAR G. B., 2019, A Comparative Assessment of Remote Sensing Imaging Techniques: Optical, SAR and LIDAR, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42(3), s.1-6, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W3-1-2019>
7. TÜBİTAK, Elektromanyetik Spektrum, <https://ansiklopedi.tubitak.gov.tr/kutup/ansiklopedi/elektromanyetik-spektrum> (08.08.2025)
8. PETTORELLI Nathalie vd., 2018, Satellite Remote Sensing for Conservation, WWF Conservation Technology Series 1(4), <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.25962.41926>
9. NASA Earthdata, Remote Sensing, <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing> (08.08.2025)
10. ÇÖLKESEN İsmail, 2015, Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri Kullanarak Benzer Spektral Özelliklere Sahip Doğal Nesnelerin Ayırt Edilmesine Yönelik Bir Metodoloji Geliştirme, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
11. LILLESAND Thomas, KIEFER Ralph W., CHIPMAN Jonathan, 2015, Remote Sensing and Image Interpretation, 7, s.70-75
12. GÜNGÖR Oğuz, SHAN Jie, 2008, Colour-Based and Criteria-Based Methods for Image Fusion, 6th ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) Conference, 03-11 Temmuz 2008, Pekin, Çin, s.1057-1064, <https://doi.org/10.1109/INDIN.2008.4618065>
13. TEKE Mustafa, SAN Ezgi, KOÇ Ezgi, 2018, Unsharp Masking Based Pansharpening of High Resolution Satellite Imagery, 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 02-05 Mayıs 2018, İzmir, s.1-4, <https://doi.org/10.1109/SIU.2018.8404403>

14. Satimaging Corp, WorldView-1 Yokohama Japan, <https://www.satimagingcorp.com/gallery/worldview-1/worldview-1-yokohama-japan> (08.08.2025)
15. NALEPA Jakub, 2021, Recent Advances in Multi- and Hyperspectral Image Analysis, *Sensors*, 21(18):6002, <https://doi.org/10.3390/s21186002>
16. KHAN Muhammad Jaleed vd., 2018, Modern Trends in Hyperspectral Image Analysis: A Review, *IEEE Access*, 6(1), s.14118-14129, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2812999>
17. JAMEEL Syed Muslim vd., 2020, Practical Implications and Challenges of Multispectral Image Analysis, 2020 3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET), 29-30 Ocak 2020, Sukkur, Pakistan, s.1-5, <https://doi.org/10.1109/iCoMET48670.2020.9073821>
18. AMIGO Jose Manuel, 2019, Hyperspectral and Multispectral Imaging: Setting the Scene, *Data Handling in Science and Technology*, 32, s.3-16, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63977-6.00001-8>
19. CHRISTOPHERSON Jon, CHANDRA Shankar N. Ramaseri, QUANBECK Joel Q., 2019, 2019 Joint Agency Commercial Imagery Evaluation—Land Remote Sensing Satellite Compendium, U.S. Geological Survey, <https://doi.org/10.3133/cir1455>
20. PAOLETTI M. E. vd., 2019, Deep Learning Classifiers for Hyperspectral Imaging: A Review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 158, s. 279-317, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.09.006>
21. SHAKER Ahmed, YAN Wai Yeung, EL-ASHMAWY Nagwa, 2012, Panchromatic Satellite Image Classification for Flood Hazard Assessment, *Journal of Applied Research and Technology*, 10(6), s.902-911, <https://doi.org/10.22201/icat.16656423.2012.10.6.350>
22. LACROIX Pascal vd., 2013, Supervised Method of Landslide Inventory Using Panchromatic SPOT5 Images and Application to the Earthquake-Triggered Landslides of Pisco (Peru, 2007, Mw8.0), *Remote Sensing*, 5(6), s. 2590-2616, <https://doi.org/10.3390/rs5062590>
23. HAN Dong-Yeob, LEE Hyo Seong, 2011, Pan-sharpening Effect in Spatial Feature Extraction, *Korean Journal of Remote Sensing*, 27(3), s.359-367, <https://doi.org/10.7780/kjrs.2011.27.3.359>
24. POURSANIDIS Dimitris vd., 2019, On the Use of Sentinel-2 for Coastal Habitat Mapping and Satellite-Derived Bathymetry Estimation Using Downscaled Coastal Aerosol Band, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, s.58-70, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.03.012>
25. KESKİN Merve, 2013, Investigating The Potential of Satellite Images in Topographic Map Production, *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*
26. ZHOU Xiaocheng vd., 2023, Detection of Growth Change of Young Forest Based on UAV RGB Images at Single-Tree Level, *Forests*, 14(1):141, <https://doi.org/10.3390/f14010141>

27. JIWANI Aatif vd., 2021, A Semantic Segmentation Network for Urban-Scale Building Footprint Extraction Using RGB Satellite Imagery, Arxiv, 2104.01263, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.01263>
28. XIE Lu vd., 2022, Estimating Fractional Vegetation Cover Changes in Desert Regions Using RGB Data, Remote Sensing, 14(15):3833, <https://doi.org/10.3390/rs14153833>
29. KAZEMI F., PARMEHR E. Ghanbari, 2023, Evaluation of RGB Vegetation Indices Derived from UAV Images for Rice Crop Growth Monitoring, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 10, s.385-390, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-385-2023>
30. RASHIDIAN Vahid, BAISE Laurie G., KOCH Magaly, 2020, Using High Resolution Optical Imagery to Detect Earthquake-Induced Liquefaction: The 2011 Christchurch Earthquake, Remote Sensing, 12(3):377, <https://doi.org/10.3390/rs12030377>
31. KANG Yupeng vd., 2021, Land Cover and Crop Classification Based on Red Edge Indices Features of GF-6 WFV Time Series Data, Remote Sensing, 13(22):4522, <https://doi.org/10.3390/rs13224522>
32. CHEN Jiahui, XU Hanqiu, 2024, Analysis of the Effectiveness of the Red-Edge Bands of GF-6 Imagery in Forest Health Discrimination, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 17, s.5621-5636, <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3367320>
33. LI Xianju vd., 2017, Effects of RapidEye Imagery's Red-edge Band and Vegetation Indices on Land Cover Classification in an Arid Region, Chinese Geographical Science, 27, s.827-835, <https://doi.org/10.1007/s11769-017-0894-6>
34. MIAO Tianyu vd., 2024, Advanced Soil Organic Matter Prediction with a Regional Soil NIR Spectral Library Using Long Short-Term Memory–Convolutional Neural Networks: A Case Study, Remote Sensing, 16(7):1256, <https://doi.org/10.3390/rs16071256>
35. YUAN Xiangtian, TIAN Jiaojiao, REINARTZ Peter, 2023, Learning-Based Near-Infrared Band Simulation with Applications on Large-Scale Landcover Classification, Sensors, 23(9):4179, <https://doi.org/10.3390/s23094179>
36. DING Yaxin vd., 2021, Monitoring Coastline Changes of the Malay Islands Based on Google Earth Engine and Dense Time-Series Remote Sensing Images, Remote Sensing, 13(19):3842, <https://doi.org/10.3390/rs13193842>
37. VERHULST Margot vd., 2024, Temporal Transferability of Tree Species Classification in Temperate Forests with Sentinel-2 Time Series, Remote Sensing, 16(14):2653, <https://doi.org/10.3390/rs16142653>
38. NALLAPAREDDY Anusha, 2022, Detection and Classification of Vegetation Areas from Red and Near Infrared Bands of LANDSAT-8 Optical Satellite Image, Applied Computer Science, 18(1), s.45-55, <https://doi.org/10.35784/acs-2022-4>
39. XU Meng, JIA Xiuping, PICKERING Mark, 2014, Automatic Cloud Removal for Landsat 8 OLI Images Using Cirrus Band, 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 13-18 Temmuz 2014, Quebec, Kanada, s.2511-2514, <http://doi.org/10.1109/IGARSS.2014.6946983>

40. SIVAKUMAR Vidhya Lakshmi, RAJU Anand, SUNDARAM A.V., 2024, Study of Forest Fire Severity through Normalized Burn Ratio Analysis Using Remote Sensing, International Conference on Environmental Development Using Computer Science (ICECS'24), 11-12 Ocak 2024, Sivakasi, Hindistan, 491:01027, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449101027>
41. PARK Honglyun, CHOI Jaewan, 2021, Mineral Detection Using Sharpened VNIR and SWIR Bands of Worldview-3 Satellite Imagery, Sustainability, 13(10):5518, <https://doi.org/10.3390/su13105518>
42. SWATHANDRAN Sruthi, ASLAM M.A. Mohammed, 2019, Assessing the Role of SWIR Band in Detecting Agricultural Crop Stress: A Case Study of Raichur District, Karnataka, India, Environmental Monitoring and Assessment, 191:442, <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7566-1>
43. LEIGHT C.J. vd., 2024, Compositional Characterization of Glassy Volcanic Material from VSWIR and MIR Spectra Using Partial Least Squares Regression Models, Earth and Space Science, 11(6), <https://doi.org/10.1029/2023EA003439>
44. CSISZAR Ivan vd., 2014, Active Fires from the Suomi NPP Visible Infrared Imaging Radiometer Suite: Product Status and First Evaluation Results, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 119(2), s.803-816, <https://doi.org/10.1002/2013JD020453>
45. JIANG Yuepeng vd., 2023, Validation of MODIS Temperature and Emissivity Products Based on Ground-Based Mid-Wave Hyperspectral Imaging Measurement in the Northwestern Plateau Region of Qinghai, China, Remote Sensing, 15(15):3893, <https://doi.org/10.3390/rs15153893>
46. ALMUTAIRI Menawer K., 2015, Derivation of Urban Heat Island for Landsat-8 TIRS Riyadh City (KSA), Journal of Geoscience and Environment Protection, 3(9), s.18-23, <https://doi.org/10.4236/gep.2015.39003>
47. BAŞAYIĞİT Levent, AKGÜL Mesut, ŞENOL Hüseyin, 2009, Estimation of Different Soil Properties by Using Reflectance Values of TERRA-ASTER Bands, Asian Journal of Chemistry, 21(2), s.1137-1144
48. SOFAN Parwati vd., 2018, Detecting Peatland Combustion Using Shortwave and Thermal Infrared Landsat-8 Data, Advances in Forest Fire Research 2018, s.969-979, [https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506\\_106](https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_106)
49. ÜSTÜNER Mustafa, 2020, Crop Classification with Polarimetric Synthetic Aperture Radar Images: Comparative Analysis, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
50. MOREIRA Alberto vd., 2013, A Tutorial on Synthetic Aperture Radar, IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 1(1), s.6-43, <https://doi.org/10.1109/MGRS.2013.2248301>
51. NASA Earthdata, SAR – Earth Observation Data Basics, <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/earth-observation-data-basics/sar> (08.08.2025)

52. HOSTERT Patrick vd., 2015, Time Series Analyses in a New Era of Optical Satellite Data, Remote Sensing and Digital Image Processing (Remote Sensing Time Series), 22, s.25-41, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-15967-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-15967-6_2)
53. SOUTHWORTH Jane, MUIR Carly, 2021, Specialty Grand Challenge: Remote Sensing Time Series Analysis, Frontiers in Remote Sensing, 2:770431, <https://doi.org/10.3389/frsen.2021.770431>
54. XU Lu vd., 2019, Crop Classification Based on Temporal Information Using Sentinel-1 SAR Time-Series Data, Remote Sensing, 11(1):53, <https://doi.org/10.3390/rs11010053>
55. KOOISTRA Lammert vd., 2024, Reviews and Syntheses: Remotely Sensed Optical Time Series for Monitoring Vegetation Productivity, Biogeosciences, 21, s.473-511, <https://doi.org/10.5194/bg-21-473-2024>
56. YILDIRIM Ömür Aybike, 2019, Arazi Kullanımının Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çiftçi Kayıt Sistemi Analizleri ile Haritalanması, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa
57. LIU Pan vd., 2024, Evaluating the Potential of Sentinel-2 Time Series Imagery and Machine Learning for Tree Species Classification in a Mountainous Forest, Remote Sensing, 16(2):293, <https://doi.org/10.3390/rs16020293>
58. MOLNAR Tamas, 2023, Application of Satellite Image Time Series in the Hungarian Forest Disturbance Monitoring, Doktora Tezi, Sopron Üniversitesi Ormancılık Fakültesi, Sopron, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25653.45286>
59. FUENTES Ignacio vd., 2024, Is the Change Deforestation? Using Time-Series Analysis of Satellite Data to Disentangle Deforestation from Other Forest Degradation Causes, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 35:101210, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101210>
60. YANG Chao vd., 2022, Detecting Spatiotemporal Features and Rationalities of Urban Expansions within the Guangdong–Hong Kong–Macau Greater Bay Area of China from 1987 to 2017 Using Time-Series Landsat Images and Socioeconomic Data, Remote Sensing, 14(16):4108, <https://doi.org/10.3390/rs11192215>
61. KAŞIKÇI Zehranur, ÇELİK Nagihan, SARIYILMAZ Fulya Başak, 2020, Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri ile Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanımı Değişiminin Belirlenmesi: Elmalı Havzası, İstanbul, Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 2(1), s.16-21, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tuzal/issue/52699/649788> (08.08.2025)
62. MELKAMU Tewabe, BAGYARAJ Murugesan, ADIMAW Melkamu, 2022, Spatiotemporal Change Assessment of Lake Beseka, Ethiopia Using Time Series Landsat Images, Hydrosatial Analysis, 6(1), s.27-39, <https://doi.org/10.21523/gcj3.2022060103>
63. GHOLAMREZAIE Hourı vd., 2022, Automatic Mapping of Burned Areas Using Landsat 8 Time-Series Images in Google Earth Engine: A Case Study from Iran, Remote Sensing, 14(24):6376, <https://doi.org/10.3390/rs14246376>
64. WANG Xin vd., 2024, Long-Term Landslide Evolution and Restoration After the Wenchuan Earthquake Revealed by Time-Series Remote Sensing Images, Geophysical Research Letters, 51(2):e2023GL106422, <https://doi.org/10.1029/2023GL106422>

65. HOSONUMA Kohei vd., 2024, Evaluation of Geographical and Annual Changes in Rice Planting Patterns Using Satellite Images in the Flood-Prone Area of the Pampanga River Basin, the Philippines, *Remote Sensing*, 16(3):499, <https://doi.org/10.3390/rs16030499>
66. LARA-ALVAREZ Carlos vd., 2024, A Literature Review on Satellite Image Time Series Forecasting: Methods and Applications for Remote Sensing, *Wires Data Mining and Knowledge Discovery*, 14(3):e1528, <https://doi.org/10.1002/widm.1528>
67. CHENG Guangliang vd., 2024, Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review, *Remote Sensing*, 16(13):2355, <https://doi.org/10.3390/rs16132355>
68. MILLER Lynn, PELLETIER Charlotte, WEBB Geoffrey I., 2024, Deep Learning for Satellite Image Time Series Analysis: A Review, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, s.2-45, <https://doi.org/10.1109/MGRS.2024.3393010>
69. LIU YA vd., 2015, Spatial and Temporal Patterns of Global NDVI Trends: Correlations with Climate and Human Factors, *Remote Sensing*, 7(10), s.13233-13250, <https://doi.org/10.3390/rs71013233>
70. TUA, Türkiye Uzay Ajansı Kurumsal <https://tua.gov.tr/tr/kurumsal> (08.08.2025)
71. TUA, 2022, Milli Uzay Programı Strateji Belgesi, <https://cdn.tua.gov.tr/63da672cab079.pdf> (08.08.2025)
72. TÜBİTAK UZAY, 2024, TÜBİTAK UZAY Kataloğu, [https://uzay.tubitak.gov.tr/wp-content/uploads/sites/132/2024/12/TUBITAK\\_UZAY\\_catalog\\_241223.pdf](https://uzay.tubitak.gov.tr/wp-content/uploads/sites/132/2024/12/TUBITAK_UZAY_catalog_241223.pdf) (08.08.2025)
73. TÜBİTAK, 2024, TÜBİTAK 2024-2028 Strateji Planı, [https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/2024-10/tubitak\\_2024-2028\\_stratejik\\_plani\\_1.pdf](https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/2024-10/tubitak_2024-2028_stratejik_plani_1.pdf) (08.08.2025)
74. TUSAŞ, Yer Gözlem ve Keşif Uyduları, <https://www.tusas.com/urunler/uzay/yer-gozlem-ve-kesif-uydulari> (08.08.2025)
75. TUCBS, UCBP Harita Görüntüleyici, <https://ucbp.tucbs.gov.tr/harita-goruntuleyici> (08.08.2025)
76. CBSGM, 2024, 2024-2030 Ulusal Coğrafi Bilgi Stratejisi ve Eylem Planı, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/dokumanlar/2024-2030--8230-93941-20250221102114.pdf> (08.08.2025)
77. CBSGM, Proje Çalışmaları, <https://cbs.csb.gov.tr/proje-calismalari-i-88743> (08.08.2025)
78. BHİKPK, 2025, Türkiye'nin Uydu Görüntüsü ve Hava Fotoğrafı Görüntü Altlıklarının Güncellenmesi ve 2025 Yılı Görüntü Çekim Planı (HGM), [https://www.harita.gov.tr/uploads/folder/BH%C4%B0KPK%202025%20HGM\\_G%C3%96R%C3%9CNT%C3%9C%20ALTLIKLARININ%20G%C3%9CNCELLENMES%C4%B0%20VE%20C3%87EK%C4%B0M%20PLANI.pdf](https://www.harita.gov.tr/uploads/folder/BH%C4%B0KPK%202025%20HGM_G%C3%96R%C3%9CNT%C3%9C%20ALTLIKLARININ%20G%C3%9CNCELLENMES%C4%B0%20VE%20C3%87EK%C4%B0M%20PLANI.pdf) (08.08.2025)
79. BHİKPK, 2025, TKGM 3B Şehir Modelleri Projesi, [https://www.harita.gov.tr/uploads/folder/BH%C4%B0KPK%202025%20TKGM\\_3B%20C5%9EEH%C4%B0R%20MODELLER%C4%B0%20PROJES%C4%B0.pdf](https://www.harita.gov.tr/uploads/folder/BH%C4%B0KPK%202025%20TKGM_3B%20C5%9EEH%C4%B0R%20MODELLER%C4%B0%20PROJES%C4%B0.pdf) (08.08.2025)

80. CBSGM, 2024, Ulusal Uzaktan Algılama Verilerinin Entegre Yönetimi Stratejisi Çalışma Heyeti Sonuç Raporu, <https://tucbs.gov.tr/wp-content/uploads/2025/01/Ulusal-Uzaktan-Algilama-Verilerinin-Entegre-Yonetimi-Stratejisi-CH-Sonuc-Raporu.pdf> (08.08.2025)
81. AFAD, AYDES Uzaktan Algılama, <https://www.afad.gov.tr/aydes-uzaktan-algilama-uzal55> (08.08.2025)
82. MTA, Uzaktan Algılama Birimi, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/birimler/uzaktan-algilama> (08.08.2025)
83. ÇETİNTÜRK GÜRTEPE İrde, TURAN Fatih, VARANK Fatma, 2024, Yaşamın Kaynağı Nefes: Hava Kalitesi Yönetiminde Dijitalleşme, Çevre, Şehir ve İklim Dergisi, Yıl: 3, Çölleşme, Erozyon ve İklim Değişikliği Özel Sayısı, s. (1-19), <https://dergipark.org.tr/tr/pub/csid/issue/88120/1540620> (08.08.2025)
84. USGEO, 2024, 2024 National Plan for Civil Earth Observations, <https://usgeo.gov/uploads/USGEO-National-Plan-2024.pdf> (08.08.2025)
85. NASA, 2022, NASA 2022 Strategic Plan, <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/09/fy-22-strategic-plan-1.pdf> (08.08.2025)
86. USGS, 2021, USGS 21st-Century Science Strategy 2020–2030, <https://pubs.usgs.gov/circ/1476/cir1476.pdf> (08.08.2025)
87. USGS, 2024, USGS Survey Data Strategy 2023–33, <https://pubs.usgs.gov/circ/1517/cir1517.pdf> (08.08.2025)
88. USDA, 2022, Strategic Plan Fiscal Years 2022–2026, <https://www.rd.usda.gov/sites/default/files/usda-fy-2022-2026-strategic-plan.pdf> (08.08.2025)
89. NOAA, 2022, NOAA FY22-26 Strategic Plan, [https://www.noaa.gov/sites/default/files/2022-06/NOAA\\_FY2226\\_Strategic\\_Plan\\_ExecutiveSummary.pdf](https://www.noaa.gov/sites/default/files/2022-06/NOAA_FY2226_Strategic_Plan_ExecutiveSummary.pdf) (08.08.2025)
90. USGS, Landsat Next, <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-next> (08.08.2025)
91. NASA JPL, NISAR Mission, <https://nisar.jpl.nasa.gov> (08.08.2025)
92. NOAA NESDIS, GeoXO, <https://www.nesdis.noaa.gov/our-satellites/future-programs/geostationary-extended-observations-geoxxo> (08.08.2025)
93. USDA, NAIP, <https://naip-usdaonline.hub.arcgis.com> (08.08.2025)
94. USDA, CDL, [https://www.nass.usda.gov/Research\\_and\\_Science/Cropland/SARS1a.php](https://www.nass.usda.gov/Research_and_Science/Cropland/SARS1a.php) (08.08.2025)
95. USDA, VegScape, <https://nassgeo.csiss.gmu.edu/VegScape> (08.08.2025)
96. University of Nebraska–Lincoln, VegDRI, <https://vegdro.unl.edu> (08.08.2025)
97. U.S. Drought Portal, U.S. Drought Monitor, <https://www.drought.gov/data-maps-tools/us-drought-monitor> (08.08.2025)

98. USGS EROS, NLCD, <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/annual-national-land-cover-database> (08.08.2025)
99. NASA GSFC, Harmonized Landsat and Sentinel-2, <https://hls.gsfc.nasa.gov> (08.08.2025)
100. US Forest Service, LANDFIRE Program, <https://www.landfire.gov> (08.08.2025)
101. US Forest Service, FIREHARM, <https://research.fs.usda.gov/firelab/projects/fireharm> (08.08.2025)
102. Monitoring Trends in Burn Severity (MTBS), <https://www.mtbs.gov> (08.08.2025)
103. US Forest Service, Forest Inventory and Analysis Program, <https://research.fs.usda.gov/programs/fia> (08.08.2025)
104. US Forest Service, Forests to Faucets Initiative, [https://www.fs.usda.gov/ecosystems-services/FS\\_Efforts/forests2faucets.shtml](https://www.fs.usda.gov/ecosystems-services/FS_Efforts/forests2faucets.shtml) (08.08.2025)
105. USGS, 3D Hydrography Program, <https://www.usgs.gov/3d-hydrography-program> (08.08.2025)
106. USGS, 3D Elevation Program, <https://www.usgs.gov/3d-elevation-program> (08.08.2025)
107. NOAA, Coastal Change Analysis Program, <https://www.noaa.gov/coastal-change-analysis-program> (08.08.2025)
108. U.S. Fish and Wildlife Service, National Wetlands Inventory, <https://www.fws.gov/program/national-wetlands-inventory> (08.08.2025)
109. FEMA, Flood Maps, <http://fema.gov/flood-maps> (08.08.2025)
110. USGS, Gap Analysis Project, <https://www.usgs.gov/programs/gap-analysis-project> (08.08.2025)
111. USDA NRCS, Soil Survey Geographic Database, <https://www.nrcs.usda.gov/resources/data-and-reports/soil-survey-geographic-database-ssurgo> (08.08.2025)
112. USGS, Rangeland Condition Monitoring Assessment and Projection, <https://www.usgs.gov/data/rangeland-condition-monitoring-assessment-and-projection-rmap-fractional-component-time> (08.08.2025)
113. NASA Scientific Visualization Studio, Tracking Urban Change With Landsat, <https://svs.gsfc.nasa.gov/11506> (08.08.2025)
114. ESA, 2025, ESA Strategy 2040, [https://esamultimedia.esa.int/docs/corporate/ESA\\_Strategy\\_2040\\_InDepth.pdf](https://esamultimedia.esa.int/docs/corporate/ESA_Strategy_2040_InDepth.pdf) (08.08.2025)
115. ESA, Copernicus Sentinel Expansion Missions, [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Copernicus\\_Sentinel\\_Expansion\\_missions](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Copernicus_Sentinel_Expansion_missions) (08.08.2025)
116. ESA, Earth Explorers Missions, <https://earth.esa.int/eogateway/missions/earth-explorers> (08.08.2025)

117. BMWK, 2023, The German Federal Government's Space Strategy, <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Technologie/the-german-federal-governments-space-strategy.pdf> (08.08.2025)
118. Germany Federal Agency for Cartography and Geodesy, Digitale Orthophotos, <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale-orthophotos.html> (08.08.2025)
119. DLR, Projects and Missions, <https://www.dlr.de/en/eoc/research-transfer/projects-missions> (08.08.2025)
120. CNES, 2022, 2022-2025 Contrat D'objectifs et de Performance Etat CNES 2022–2025, <https://cnes.fr/sites/default/files/2024-06/cop-etat-cnes-2022-2025.pdf> (08.08.2025)
121. IGN, Identity Card, <https://www.ign.fr/institut/identity-card> (08.08.2025)
122. DINAMIS, Foundation and Ambition, <https://dinamis.data-terra.org/en/foundation-and-ambition> (08.08.2025)
123. IGN, BD ORTHO, <https://geoservices.ign.fr/bdortho> (08.08.2025)
124. France Ministry of Ecological Transition, Graphic Parcel Registration, <https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr/bases-donnees/registre-parcellaire-graphique> (08.08.2025)
125. UKSA, 2022, Corporate Plan 2022-25, [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/62d66a5ed3bf7f285e787745/6192\\_UKSA\\_Corporate\\_Plan\\_CB\\_v9a\\_Bb.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/62d66a5ed3bf7f285e787745/6192_UKSA_Corporate_Plan_CB_v9a_Bb.pdf) (08.08.2025)
126. OS, OS MasterMap Topography Layer, <https://www.ordnancesurvey.co.uk/products/os-mastermap-topography-layer> (08.08.2025)
127. BGS, Monitoring Coastal Change from Space, <https://www.bgs.ac.uk/geology-projects/coasts-and-estuaries/monitoring-coastal-change-from-space> (08.08.2025)
128. UK Environment Agency, Crop Map of England, <https://environment.data.gov.uk/dataset/a27312b5-d6c9-4710-ad5e-382d727c1b05> (08.08.2025)
129. UK Centre for Ecology & Hydrology, Land Cover Maps, <https://www.ceh.ac.uk/data/ukceh-land-cover-maps> (08.08.2025)
130. UK Government, National LIDAR Programme, <https://www.data.gov.uk/dataset/f0db0249-f17b-4036-9e65-309148c97ce4/national-lidar-programme> (08.08.2025)
131. OS, 2024, Geospatial Commission Public Sector & PSGA Events 2024, <https://www.ordnancesurvey.co.uk/documents/psga/GCxPSGA24-Master-Deck-Edinburgh-Handout.pdf> (08.08.2025)
132. ASI, PRISMA for Extraction of Fire Severity Maps, <https://www.asi.it/en/2022/07/prisma-for-extraction-of-fire-severity-maps> (08.08.2025)
133. ASI, Earth Science, <https://www.asi.it/en/earth-science> (08.08.2025)

134. ISPRA, Project MIRIFICUS, <https://www.isprambiente.gov.it/en/projects/soil-and-territory/project-mirificus> (08.08.2025)
135. CSA, 2022, Canada's Strategy for Satellite Earth Observation, <https://www.asc-csa.gc.ca/pdf/eng/publications/canada-strategy-for-satellite-earth-observation-v2.pdf> (08.08.2025)
136. CSA, Earth Observation Satellites, <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/earth-observation> (08.08.2025)
137. CSA, GeoAI Initiative, <https://geo.ca/initiatives/geobase/geoai> (08.08.2025)
138. NRCAN, National Elevation Data Strategy, <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-publications/satellite-elevation-air-photos/national-elevation-data-strategy> (08.08.2025)
139. NRCAN, Flood Mapping, <https://natural-resources.canada.ca/science-data/science-research/flood-mapping> (08.08.2025)
140. NRCAN, Remote Sensing for Forestry, <https://natural-resources.canada.ca/forest-forestry/sustainable-forest-management/remote-sensing-forestry> (08.08.2025)
141. USCC, 2024, China's Remote Sensing, [https://www.uscc.gov/sites/default/files/2024-12/Chinas\\_Remote\\_Sensing.pdf](https://www.uscc.gov/sites/default/files/2024-12/Chinas_Remote_Sensing.pdf) (08.08.2025)
142. Fujian Provincial Government, 14th Five-Year Plan (2021-2025), [https://www.fujian.gov.cn/english/news/202108/t20210809\\_5665713.htm](https://www.fujian.gov.cn/english/news/202108/t20210809_5665713.htm) (08.08.2025)
143. China Daily, Remote-Sensing Satellite System to Be Built By 2030, <https://www.china-daily.com.cn/a/202307/14/WS64b0967fa31035260b8165d2.html> (08.08.2025)
144. China Hydropower Construction Bridge Knowledge, Anxi Tieganyin-2 Satellite, <https://www.chcbk.com/news/779.html> (08.08.2025)
145. Aerospace Information Research Institute CAS, 2023, May 2023 CropWatch Bulletin, 23(2), <http://cropwatch.com.cn/hm/cn/files/202359819394013.pdf> (08.08.2025)
146. LI Zhuohong, 2023, SinoLC-1: The First 1 M Resolution National-Scale Land-Cover Map Of China Created With A Deep Learning Framework and Open-Access Data, Earth System Science Data, 15(11), <https://doi.org/10.5194/essd-15-4749-2023>
147. PENG Xueli vd., 2024, GF-1 WFV Satellite Images Based Forest Cover Mapping in China Supported by Open Land Use/Cover Datasets, Scientific Data, 11:1355, <https://doi.org/10.1038/s41597-024-04202-2>
148. ZHANG Tao, 2021, A Fine-Scale Mangrove Map of China Derived from 2-Meter Resolution Satellite Observations and Field Data, ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(2):92, <https://doi.org/10.3390/ijgi10020092>
149. GAO Liren vd., 2025, Using Satellites to Monitor Soil Texture in Typical Black Soil Areas and Assess Its Impact on Crop Growth, Agriculture, 15(9): 912, <https://doi.org/10.3390/agriculture15090912>

150. Ministry of Ecology and Environment of People's Republic of China, 2017, Guidelines on Delimitation of Ecological Protection Red Lines, <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201707/W020170728397753220005.pdf> (08.08.2025)
151. China Daily, Chinese Satellites Deployed for Turkish Earthquake Relief, <https://global.chinadaily.com.cn/a/202302/17/WS63ef48d9a31057c47ebaf739.html> (08.08.2025)
152. Japan Cabinet Office, 2020, Outline of the Basic Plan on Space Policy, [https://www8.cao.go.jp/space/english/basicplan/2020/abstract\\_0701.pdf](https://www8.cao.go.jp/space/english/basicplan/2020/abstract_0701.pdf) (08.08.2025)
153. JAXA, High-Resolution Land-Use and Land-Cover Map of Japan, [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/lulc/lulc\\_v2504\\_e.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/lulc/lulc_v2504_e.htm) (08.08.2025)
154. RESTEC, Research and Development, <https://www.restec.or.jp/en/business/research> (08.08.2025)
155. KASA, 2025, Space Transportation / Satellite / Space Science Exploration Strategic Plan, [https://www.kasa.go.kr/bbs/BBSMSTR\\_000000000180/B000000001787Dc9uW8.do?mno=sub02\\_08](https://www.kasa.go.kr/bbs/BBSMSTR_000000000180/B000000001787Dc9uW8.do?mno=sub02_08) (08.08.2025)
156. KARI, Satellite, <https://www.kari.re.kr/eng/contents/159> (08.08.2025)
157. Ministry of Environment of the Republic of Korea, Land Cover Map Service, <https://egis.me.go.kr/intro/land.do> (08.08.2025)
158. NGII, Aerial Photography, <https://www.ngii.go.kr/eng/content.do?sq=114> (08.08.2025)
159. KIM Kyoung-Min vd., 2024, Advancement and Applications of Forest Remote Sensing in Korea: Past, Present, and Future Perspectives, Korean Journal of Remote Sensing, 40(5-2), s.783-812, <https://doi.org/10.7780/kjrs.2024.40.5.2.8>
160. PARK Jongsoo, JEONG Hagyu, LEE Junwoo, 2024, National Disaster Management and Monitoring Using Satellite Remote Sensing and Geo-Information, Korean Journal of Remote Sensing, 40(5-2), s.813-832, <https://doi.org/10.7780/kjrs.2024.40.5.2.9>
161. GEO, About Us, <https://earthobservations.org/about-us> (08.08.2025)
162. The International Charter: Space and Major Disasters, About the Charter, <https://disasterscharter.org/about-the-charter> (08.08.2025)
163. Copernicus Emergency Management Service, 2024, The Copernicus Emergency Management Service Brochure 2024, [https://emergency.copernicus.eu/documents/1/CEMS\\_Brochure\\_2024.pdf](https://emergency.copernicus.eu/documents/1/CEMS_Brochure_2024.pdf) (08.08.2025)
164. United Nations Office for Outer Space Affairs, UN-SPIDER Programme <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/un-spider/> (08.08.2025)
165. CEOS, About CEOS – Background, <https://ceos.org/about-ceos/overview/> (08.08.2025)
166. USGS, Earth Observing Satellites Online Compendium, <https://www.usgs.gov/tools/earth-observing-satellites-online-compendium> (08.08.2025)

167. JACIE, 2022, 2022 Joint Agency Commercial Imagery Evaluation—Remote Sensing Satellite Compendium, <https://pubs.usgs.gov/circ/1500/circ1500.pdf> (08.08.2025)
168. World Meteorological Organization, OSCAR – Observing Systems Capability Analysis and Review Tool, <https://space.oscar.wmo.int> (08.08.2025)
169. KUMAR Lalit, MUTANGA Onesimo, 2018, Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential, Remote Sensing, 10(10):1509, <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
170. ZHAO Qiang vd., 2021, Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine, Remote Sensing, 13(18):3778, <https://doi.org/10.3390/rs13183778>
171. LI Peilin vd., 2025, A Comparison of Recent Global Time-Series Land Cover Products, Remote Sensing, 17(8):1417, <https://doi.org/10.3390/rs17081417>
172. ÇELİK Durmuş Ali, ALTUNEL Arif Oğuz, 2025, Is Dynamic World a Contender in Global Land-Cover Making Race? A Swift Field Assessment from Kastamonu, Türkiye, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 28(2), s.205-13, <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2025.04.002>
173. NARİN Ömer Gökberk, 2024, ESRI Land Cover ve Dynamic World Arazi Örtüsü Verilerinin Karşılaştırılması: Kıbrıs Adası Örneği, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 11(1), s.19-29, <https://doi.org/10.9733/JGG.2024R0002.T>
174. XU Panpan vd., 2024, Comparative Validation of Recent 10 m-Resolution Global Land Cover Maps, Remote Sensing of Environment, 311(114316), <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114316>
175. VENTER Zander S. vd., 2022, Global 10 m Land Use Land Cover Datasets: A Comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover, Remote Sensing, 14(16):4101, <https://doi.org/10.3390/rs14164101>
176. ARSLAN Murat vd., 2024, Ulusal Arazi Örtüsü Sınıflandırma ve İzleme Sistemi (UASİS), Çevre, Şehir ve İklim Dergisi, Yıl: 3, Çölleşme, Erozyon ve İklim Değişikliği Özel Sayısı, s. (119-134), <https://dergipark.org.tr/tr/pub/csid/issue/88120/1558594> (08.08.2025)
177. APTE Mugdha vd., 2013, Understanding Grids and Effectiveness of Hexagonal Grid in Spatial Domain, Proceedings of the International Conference on Recent Trends in Information Technology and Computer Science (ICRTITCS 2012), 1, s.25-27
178. BIRCH Colin, OOM Sander P., BEECHAM Jonathan A., 2007, Rectangular and Hexagonal Grids Used for Observation, Experiment and Simulation in Ecology, Ecological Modelling, 206(3-4), s.347-359, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041>
179. BURDZIEJ Jan, 2019, Using Hexagonal Grids and Network Analysis for Spatial Accessibility Assessment in Urban Environments – A Case Study of Public Amenities in Torun, Miscellanea Geographica, 23(2), s.99-110, <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2018-0037>

180. SHOMAN Wasim, ALGANCI Uğur, DEMİREL Hande, 2018, A Comparative Analysis of Gridding Systems for Point-Based Land Cover/Use Analysis, *Geocarto International*, 34(8), s.867-886 <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1450449>
181. ZHAO K., KAMRAN M., SOHN G., 2020, Boundary Regularized Building Footprint Extraction from Satellite Images Using Deep Neural Networks, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V-2-2020, s.617–624, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-2-2020-617-2020>
182. LI Mengmeng, STEIN Alfred, DE BEURS Kristen M., A Bayesian Characterization of Urban Land Use Configurations from VHR Remote Sensing Images, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 92(102175), <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102175>
183. MUGİRANEZA Theodomir, NASCETTI Andrea, BAN Yifang, 2019, WorldView-2 Data for Hierarchical Object-Based Urban Land Cover Classification in Kigali: Integrating Rule-Based Approach with Urban Density and Greenness Indices, *Remote Sensing*, 11(18):2128, <https://doi.org/10.3390/rs11182128>
184. HUANG Huping, LI Qiangzi, ZHANG Yuang, 2022, A High-Resolution Remote-Sensing-Based Method for Urban Ecological Quality Evaluation, *Frontiers in Environmental Science*, 10:765604, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.765604>
185. LIU Ruoyun, KUFFER Monika, PERSELLO Claudio, 2019, The Temporal Dynamics of Slums Employing a CNN-Based Change Detection Approach, *Remote Sensing*, 11(23):2844, <https://doi.org/10.3390/rs11232844>
186. KROWCZYNSKA Malgorzata vd., 2020, Asbestos—Cement Roofing Identification Using Remote Sensing and Convolutional Neural Networks (CNNs), *Remote Sensing*, 12(3):408, <https://doi.org/10.3390/rs12030408>
187. XIA Haobin vd., 2023, A Deep Learning Application for Building Damage Assessment Using Ultra-High-Resolution Remote Sensing Imagery in Turkey Earthquake, *International Journal of Disaster Risk Science*, 14, s.947–962, <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00526-6>
188. JIAO Shuhui vd., 2022, Parcel-Level Mapping of Horticultural Crop Orchards in Complex Mountain Areas Using VHR and Time-Series Images, *Remote Sensing*, 14(9):2015, <https://doi.org/10.3390/rs14092015>
189. UNDERWOOD Emma C., USTIN Susan L., RAMIREZ Carlos M., 2007, A Comparison of Spatial and Spectral Image Resolution for Mapping Invasive Plants in Coastal California. *Environmental Management*, 39, s.63–83, <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0228-9>
190. ÖZDARICI OK Aslı, OK Ali Özgün, SCHINDLER Konrad, 2015, Mapping of Agricultural Crops from Single High-Resolution Multispectral Images—Data-Driven Smoothing vs. Parcel-Based Smoothing, *Remote Sensing*, 7(5):5611-5638. <https://doi.org/10.3390/rs70505611>
191. THIEME Alison vd., 2024, Intercomparison of Same-Day Remote Sensing Data for Measuring Winter Cover Crop Biophysical Traits, *Sensors*, 24(7):2339, <https://doi.org/10.3390/s24072339>

192. YANG Chenghai vd., 2017, Site-Specific Management of Cotton Root Rot Using Airborne and Satellite Imagery and Variable Rate Technology, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 61(3), s.849-858, <https://doi.org/10.13031/trans.12563>
193. SAGAN Vasić vd., 2021, Field-Scale Crop Yield Prediction Using Multi-Temporal Worldview-3 and PlanetScope Satellite Data and Deep Learning, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 174, s.265-281, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.02.008>
194. VALLENTIN Claudia vd., 2022, Suitability of Satellite Remote Sensing Data for Yield Estimation in Northeast Germany, Precision Agriculture, 23, s.52–82 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09827-6>
195. LIU Qi vd., 2022, Evaluating Effects of Post-Fire Climate and Burn Severity on the Early-Term Regeneration of Forest and Shrub Communities in the San Gabriel Mountains of California from Sentinel-2(MSI) Images, Forests, 13(7):1060, <https://doi.org/10.3390/f13071060>
196. STUART William vd., 2024, Spatiotemporal Analysis of Urban Forest in Chattanooga, Tennessee from 1984 to 2021 Using Landsat Satellite Imagery, Remote Sensing, 16(13):2419, <https://doi.org/10.3390/rs16132419>
197. MACINTYRE Paul, VAN NIEKERK Adriaan, MUCINA Ladislav, 2020, Efficacy of Multi-Season Sentinel-2 Imagery for Compositional Vegetation Classification, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 85:101980, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101980>
198. DOĞAN Hakan Mete, KILIÇ Orhan Mete, YILMAZ Doğaç Sencer, 2014, Tokat İli Bitki Yoğunluk Sınıflarının LANDSAT-7 ETM+ Uydu Görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Araştırılması, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 31(1), s.47-53, <https://doi.org/10.13002/jafag686>
199. MUTHOKA James M. vd., 2025, Classification of Grassland Community Types and Palatable Pastures in Semi-Arid Savannah Grasslands of Kenya Using Multispectral Sentinel-2 Imagery, Frontiers in Sustainable Food Systems, 9:1543491, <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1543491>
200. LASAPONARA Rosa, ABATE Nicodemo, MASINI Nicola, 2024, Early Identification of Vegetation Pest Diseases Using Sentinel 2 NDVI Time Series 2016–2023: The Case of *Toumeyella Parvicorvis* at Castel Porziano (Italy), IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 21:2502305, s.1-5,2024, <http://doi.org/10.1109/LGRS.2024.3386218>
201. YU Xiaolei, GUO Xulin, 2023, Inter-Annual Drought Monitoring in Northern Mixed Grasslands by a Revised Vegetation Health Index from Historical Landsat Imagery, Journal of Arid Environments, 213:104964, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104964>
202. DING Yaxin vd., 2021, Monitoring Coastline Changes of the Malay Islands Based on Google Earth Engine and Dense Time-Series Remote Sensing Images, Remote Sensing, 13(19):3842. <https://doi.org/10.3390/rs13193842>

203. GÜNGÖR Ramazan vd., 2022, Investigation of Spatial Change in Lake Surface with Google Earth Engine: Example of Marmara Lake, *Advanced Remote Sensing Journal*, 2(1), s.8-15
204. LIU Yaolin vd., 2017, Analysis of Coastline Extraction from Landsat-8 OLI Imagery, *Water*, 9(11):816, <https://doi.org/10.3390/w9110816>
205. SUKKUEA Arsanchai vd., 2025, AI-Driven Time Series Forecasting of Coastal Water Quality Using Sentinel-2 Imagery: A Case Study in the Gulf of Thailand. *Water* 2025, 17, 1798. <https://doi.org/10.3390/w17121798>
206. KAVZOĞLU Taşkın, GÖRAL Merve, 2022, Google Earth Engine for Monitoring Marine Mucilage: Izmit Bay in Spring 2021, *Hydrology*, 9(8):135, <https://doi.org/10.3390/hydrology9080135>
207. ABDULLAH Khalid, ARSHAD Muhammad, 2025, Assessing Thermal Pollution from Power Plants Using Landsat Imagery and Google Earth Engine: A Case Study of the Red Sea, *Jordanian Journal of Engineering and Chemical Industries*, 8(1), s.1-8, <https://doi.org/10.48103/jjeci812025>
208. YUE Jibo vd., 2019, Development of Soil Moisture Indices from Differences in Water Absorption Between Shortwave-Infrared Bands, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 154, s.216-230, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.06.012>
209. PANAHİ Hossein vd., 2024, Bare Soil Detecting Algorithms in Western Iran Woodlands Using Remote Sensing, *Smart Agricultural Technology*, 7:100429, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100429>
210. JIA Wei vd., 2022, Monitoring Rock Desert Formation Caused by Ice–Snow Melting in the Qinghai-Tibet Plateau Using an Optimized Remote Sensing Technique: A Case Study of Yushu Prefecture, *Remote Sensing*, 14(3):570, <https://doi.org/10.3390/rs14030570>
211. FIROZJAEI Mohammad Karimi vd., 2021, A Historical and Future Impact Assessment of Mining Activities on Surface Biophysical Characteristics Change: A Remote Sensing-Based Approach, *Ecological Indicators*, 122:107264, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107264>
212. WANG Xin vd., 2024, Long-Term Landslide Evolution and Restoration After the Wenchuan Earthquake Revealed by Time-Series Remote Sensing Images, *Geophysical Research Letters*, 51(2), <https://doi.org/10.1029/2023GL106422>
213. Google Earth Engine Apps, Görüntü Optimizasyonu Analiz Sistemi, <https://berkekarapaca.users.earthengine.app/view/goruntu-cozunurluk-optimizasyonu> (08.08.2025)
214. OGM, Resmi İstatistikler, <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> (08.08.2025)
215. PENA-MOLINA Esther vd., 2024, Fire Vulnerability, Resilience, and Recovery Rates of Mediterranean Pine Forests Using a 33-Year Time Series of Satellite Imagery, *Remote Sensing*, 16(10):1718, <https://doi.org/10.3390/rs16101718>

216. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İklim İstatistikleri, <https://www.mgm.gov.tr/ve-ridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MUGLA> (08.08.2025)
217. RAHMI Muthi'ah Aini, PARIKESIT Parikesit, WITHANINGSIH Susanti, 2024, Vegetation Change Analysis Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Sumedang Regency, E3S Web of Conferences, 495: 02007, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449502007>
218. HISLOP Samuel vd., 2018, Using Landsat Spectral Indices in Time-Series to Assess Wildfire Disturbance and Recovery, Remote Sensing, 10(3):460, <https://doi.org/10.3390/rs10030460>
219. KUZUCU A. Karakan, BEKTAŞ BALÇIK Filiz, 2017, Testing The Potential of Vegetation Indices for Land Use/Cover Classification Using High Resolution Data, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4(4), s.279-283, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-279-2017>
220. GÜNEY Selahattin, AZGIN Şükrü Taner, 2023, Altın Madenciliğinde, Yıgın Liç Alanlarının Rehabilitasyonunda Yeraltı Suyu ile Yıkınma Yaklaşımının Değerlendirilmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 39(2), s.271-290, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3224005> (08.08.2025)
221. GİRĞİNÇ İsmail, 1989, Düşük Tenörlü Cevherlerden Yıgın Liçi Yöntemiyle Altın ve Gümüş Kazanımı, Madencilik Dergisi, 28(1), s.35-40, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/376095> (08.08.2025)
222. TZOUVARAS Marios, DANEZIS Chris, HADJIMITSIS Diofantos G., 2020, Differential SAR Interferometry Using Sentinel-1 Imagery-Limitations in Monitoring Fast Moving Landslides: The Case Study of Cyprus, Geosciences, 10(6):236, <https://doi.org/10.3390/geosciences10060236>
223. VIDAL-PAEZ Paulina vd., 2019, Monitoring of Mining Subsidence in a Sector of Central Chile through the Processing of a Time Series of Sentinel 1 Images Using Differential Interferometry Techniques (DInSAR), Proceedings, 19(1):10, <https://doi.org/10.3390/proceedings2019019010>
224. HU Zhi vd., 2021, Feasibility of Artificial Slope Hazards Identification in Regional Mountainous Highway Using SBAS-InSAR Technique: A Case Study in Lishui, Zhejiang, Applied Sciences, 11(19):8962, <https://doi.org/10.3390/app11198962>
225. Copernicus SentiWiki, Sentinel-1 Processing <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-processing> (08.08.2025)
226. Alaska Satellite Facility, Data Search Vertex, <https://search.asf.alaska.edu> (08.08.2025)
227. SARPROZ, SARPROZ Home, <https://www.sarproz.com/> (08.08.2025)
228. BALZ Timo, EWAIS Mostafa, 2025, The Influence of Parameter Estimation Bounds on Velocity Estimation in PSInSAR, Remote Sensing, 17(5):788, <https://doi.org/10.3390/rs17050788>

229. BRAUN Andreas, 2021, DEM Generation with Sentinel-1 Workflow and Challenges, ESA-Skywatch Sentinel-1 Toolbox, <https://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20DEM%20generation%20with%20Sentinel-1%20IW%20Tutorial.pdf> (08.08.2025)
230. ESA, 2007, InSAR Principles – Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation, ESA Training Manual-19, [https://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/TM-19/TM-19\\_InSAR\\_web.pdf](https://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/TM-19/TM-19_InSAR_web.pdf) (08.08.2025)
231. ESA, Science Toolbox Exploitation Platform, <https://step.esa.int/main/doc/online-help/> (08.08.2025)
232. YAN Lili vd., 2024, Generation and Assessment of Digital Elevation Models by Combining Sentinel-1A and Sentinel-1B Data in Mountain Glacier Area, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 18, s.642-654, <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3489576>
233. WALPER Carolin vd., 2022, Performance evaluation of Sentinel-1 derived DEMs using Copernicus DEM and ICESat-2, ESA Living Planet Symposium, Bonn Almanya, [https://www.researchgate.net/publication/362428905\\_Performance\\_evaluation\\_of\\_Sentinel-1\\_derived\\_DEMs\\_using\\_Copernicus\\_DEM\\_and\\_ICESat-2](https://www.researchgate.net/publication/362428905_Performance_evaluation_of_Sentinel-1_derived_DEMs_using_Copernicus_DEM_and_ICESat-2) (08.08.2025)
234. DABIRI Zahra vd., 2022, Assessing the Suitability of DEMs Derived from Sentinel-1 Data for Landslide Volume Estimation, ESA Living Planet Symposium, Bonn Almanya, [https://www.researchgate.net/publication/365197965\\_Assessing\\_the\\_suitability\\_of\\_DEMs\\_derived\\_from\\_Sentinel-1\\_data\\_for\\_landslide\\_volume\\_estimation](https://www.researchgate.net/publication/365197965_Assessing_the_suitability_of_DEMs_derived_from_Sentinel-1_data_for_landslide_volume_estimation) (08.08.2025)
235. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Müsilaj Nedir, <https://marmarahepimizin.csb.gov.tr/musilaj-nedir-i-102106> (08.08.2025)
236. ÇÖLKESEN İsmail vd., 2021, Determination of Sea Surface Mucilage Formations Using Multitemporal Sentinel-2 Imagery, The 42nd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2021), 22-24 Kasım 2021, Can Tho City, Vietnam
237. Anadolu Ajansı, Marmara Denizi'ndeki Müsilajın Tamamen Temizlenmesi için 7/24 Esasıyla Acil Müdahale Çalışması Başlıyor, <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/marmara-denizindeki-musilajin-tamamen-temizlenmesi-icin-7-24-esasiyla-acil-mudahale-calismasi-basliyor/2265557> (08.08.2025)
238. ÇÖLKESEN İsmail vd., 2023, Automated Mucilage Extraction Index (AMEI): A Novel Spectral Water Index for Identifying Marine Mucilage Formations from Sentinel-2 Imagery, International Journal of Remote Sensing, 44(1), s.105–141, <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2158049>
239. POLAT Ahmet Batuhan, BALIK ŞANLI Füsün, AKÇAY Özgün, 2022, The Relationship Between Mucilage Covered Areas and Chlorophyll-a Concentration: The Sea of Marmara Case, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 40(3):673-684, <http://doi.org/10.14744/sigma.2022.00079>
240. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Marmara Deniz Suyu Sıcaklığı Analizi 2024, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/denizSuyu/2024-Marmara.pdf> (08.08.2025)

241. KAVZOĞLU Taşkın, ÇÖLKESEN İsmail, SEFERCİK Umut Güneş, 2021, Marmara Denizindeki Müsilaj Olayının Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Tespiti ve İzlenmesi, Türkiye Bilimler Akademisi, Marmara Denizi'nin Ekolojisi: Deniz Salyası Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri, s.200-224, <https://doi.org/10.53478/TUBA.2021.012>
242. ACAR Uğur vd., 2021, Determination of Mucilage in The Sea of Marmara Using Remote Sensing Techniques with Google Earth Engine, International Journal of Environment and Geoinformatics, 8(4), s.423-434, <https://doi.org/10.30897/ijegeo.957284>
243. LIU Bo vd., 2020, A Vector Line Simplification Algorithm Based on the Douglas–Peucker Algorithm, Monotonic Chains and Dichotomy, ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(4):251, <https://doi.org/10.3390/ijgi9040251>
244. Google Earth Engine Apps, Marmara Denizi Musilaj Analizi, <https://berkekarapaca.users.earthengine.app/view/marmara-denizi-musilaj-analizi> (08.08.2025)

## ETİK KURALLARINA UYGUNLUK BEYANI

Uzmanlık tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı dsecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlardan her seferinde değinme yaparak yararlandığımı ve Coğrafi Bilgi Sistemi Uzmanlığı Yönetmeliğine uygun olarak hazırladığımı belirtir, bunu onurumla doğrularım.

evre, şehirlik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

21/08/2025

Berke KARAPAÇA

## ÖZGEÇMİŞ

1995 yılında Keşan’da doğdu. Lise öğrenimini Tekirdağ Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2018 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. Askerliğini 2019 yılında Milli Savunma Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı’nda yedek subay olarak yaptı.

2022 yılında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından ilan edilen Coğrafi Bilgi Sistemi Uzman Yardımcılığı sınavını kazanarak göreve başladı. 2025 yılında Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda tezli yüksek lisans eğitimine başlamış olup öğrenimine devam etmektedir. Halen Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü’nde Coğrafi Bilgi Sistemi Uzman Yardımcısı olarak görevini sürdürmektedir.