

Sentinel-3 Verileri ile Aktif Yangın Tespiti ve Sentinel-2 Verileri ile Doğrulanması

Detection of Active Fires with Sentinel-3 Data and Their Verification through the use of Sentinel-2 Data

Ümit Güler^{1*}, Kaan Kalkan²

¹TÜRKSAT Uydu Haberleşme Kablo TV ve İşletme A.Ş., Ankara/Türkiye.

²TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Ankara/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Ümit Güler
uguler75@hotmail.com

doi: 10.48123/rsgis.1095460

Yayın süreci

Geliş tarihi: 29.03.2022
Kabul tarihi: 06.09.2022
Basım tarihi: 18.09.2022

Özet

Küresel ısınmayla birlikte tüm dünyada orman yangınlarında görülmekte olan artış, son zamanlarda ülkemizde de belirgin şekilde hissedilmektedir. Bu artış, bu tür olayların en erken şekilde tespit edilmesi, izlenmesi ve kontrol altına alınmasına yönelik faaliyetlerin hızlı, organize ve doğru biçimde yapılmasını zorunluluk haline getirmiştir. Orman yangınlarının erken evrede tespitine ve takibine yönelik farklı yöntemler mevcuttur. Uydu görüntülerinin kullanımı bu yöntemlerden biridir ve alçak ya da yere eşzamanlı yörüngelerdeki uydular üzerine konulan faydalı yükler vasıtasıyla yangın tespitine yönelik çok değerli veriler alınabilmektedir. Bu çalışmada aktif orman yangınlarının izlenmesi ve yangından zarar gören alanın tespit edilmesi amacıyla 2021 yılında Antalya ili Manavgat ilçesinde büyük miktarda alanın yanması ile sonuçlanan orman yangını, Sentinel-2A ve Sentinel-3A verileri kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda orman yangınlarının izlenmesinde uyduların çok değerli bilgiler sağladığı görülmüş, yere eşzamanlı yörüngede bulunacak gelecek nesil uydularımızın, yangın tespiti ve izlenmesine yönelik veriler de sağlayacak şekilde tasarlanmasının ülkemizde meydana gelecek orman yangınlarının takibini kolaylaştıracağı değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Uzaktan algılama, CBS, Orman yangınları, Uydu, Aktif yangın tespiti

Abstract

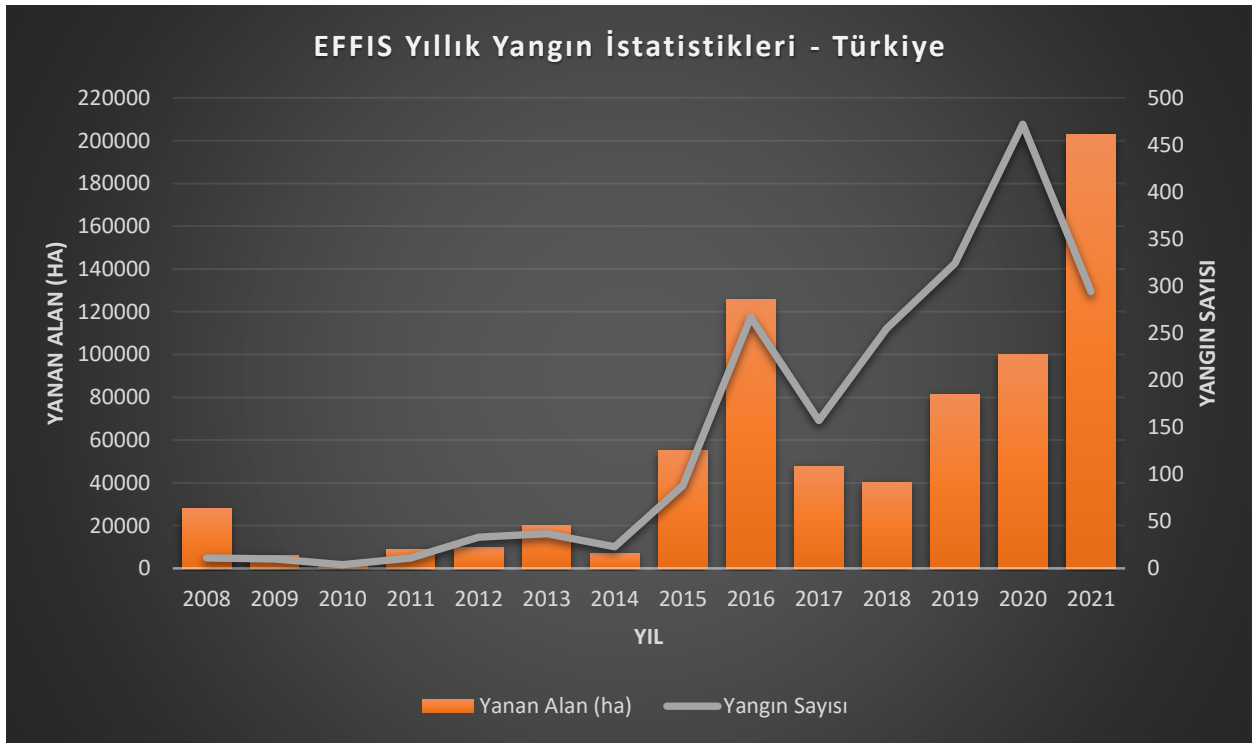
The increase in forest fires worldwide as a result of global warming has recently been felt clearly in our country as well. This increase necessitated the activities to detect, monitor and control such incidents in the earliest way, to be carried out quickly, organized and correctly. There are different methods for detecting and monitoring forest fires at an early stage. Using satellite remote sensing data is one of these methods and valuable data can be obtained for fire detection through payloads placed on different satellites in low or geosynchronous orbit. In this study, in order to monitor forest fires and determine the area damaged by the fire, the forest fire that resulted in the burning of a huge area in Manavgat district of Antalya province in 2021 was examined using Sentinel-2A and Sentinel-3A data. As a result of the study, it has been seen that satellites provide valuable information in the monitoring of forest fires and it has been pointed out that the design of our next-generation satellites in geosynchronous orbit, in a way that will provide data for fire detection and monitoring will facilitate the follow-up of forest fires that will occur in our country.

Keywords: Remote sensing, GIS, Forest fire, Satellite, Active fire detection

1. Giriş

Küresel ısınmayla birlikte artan sıcaklık ve azalan yağış, doğal yangınların oluşumu riskini arttıran kuru yakıt oluşumuna sebep olmaktadır. Bu tehdidin farkında olarak orman ekosistemi yangınlara karşı çok sıkı bir şekilde izlenmelidir. Yangına hızlı müdahale edilmeli, çevreleme ve söndürme prosedürleri doğru bir şekilde planlanmalıdır. Geleneksel yöntemlerde bu gerekliliklerin yerine getirilmesi için çok fazla zaman ve el emeği gerekmektedir, bu nedenle sürecin tatmin edici bir şekilde yönetilmesi imkânsız görünmektedir. Ancak teknolojik ilerlemeler bir orman yangınının her aşamasının daha hızlı ve daha doğru şekilde tespit edilmesini, kontrol altına alınmasını, analiz edilmesini ve izlenmesini mümkün kılmaktadır. Uzaktan Algılama (UA), herhangi bir coğrafi olay ile ilgili olarak hızlı ve doğru verilerin nihai kaynağı olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla etkin bir şekilde analiz edildiğinde ve yardımcı verilerle birleştirildiğinde, erken tespit, kontrol altına alma, söndürme, hasar değerlendirmesi ve rejenerasyon izleme gibi durumlar kolayca ve etkin bir şekilde yönetilebilir (Esemen, 2011).

Orman yangınları ülkemizde her sene hektarlarca alanın yok olmasına neden olmaktadır. EFFIS (The European Forest Fire Information System) verilerine göre, 2020 yılında yanan toplam 99.857 ha alana karşılık 2021 yılında toplam 202.699 ha alan yanmıştır. Benzer bir trend Akdeniz'e komşu ülkeler Yunanistan ve İtalya'da da görülmektedir. Türkiye'de 2008 ile 2020 yılları arasında ortalama yanan alan miktarı 40.827,85 ha'dır. Ülkemizde 2008 yılından bu yana yıllara sâri olarak yangın sayısı ve yıl içerisinde yanan toplam alan miktarı Şekil 1'de verilmiştir (EFFIS, 2022). Türkiye'de ortalama yanan alan miktarı dikkate alındığında 2021 yılında gözlemlenen yüksek değer endişe vericidir.



Şekil 1. Türkiye yıllık yangın istatistikleri (EFFIS, 2022)

Yangınların bu yıkıcı etkilerini azaltmak amacıyla, çıkan yangınların erken tespiti, yayılım yönlerinin izlenmesi ve kontrol edilmesi önemli bir görev olmaktadır. Uydu verisi, bu problemin çözülmesini sağlayabilecek kaynaklardan bir tanesidir (Shumilo vd., 2020).

Bu kapsamda Terra (EOS AM-1) ve Aqua (EOS PM-1) uyduları üzerinde bulunan MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), kritik bir enstrümandır. Terra, kuzeyden güneye ekvator üzerinden sabah saatlerinde geçerken Aqua ise güneyden kuzeye ekvator üzerinden öğleden sonra geçer. Terra MODIS ve Aqua MODIS, Dünya yüzeyini her 1-2 gün içinde gözler (NASA, 2022b). Günde dört MODIS yangın gözlemi, operasyonel yangın yönetimi ihtiyaçları için sunulur. MODIS'in termal anomali/yangın verileri temelde MODIS 4 ve 11 mikrometre radyans ölçümlerinden elde edilir. Yangın tespit stratejisinin temeli, doğrudan tespite (yangın şiddeti tespit etmeye yetecek düzeyde olduğunda) ve arka plana görece tespite (yüzey sıcaklığını ve güneş yansımalarını hesaba katmak amacıyla) dayanır (NASA, 2022c). AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), çok amaçlı görüntüleme ekipmanıdır ve bulutluluk, deniz yüzey sıcaklığı, buz, kar ve bitki örtüsü karakteristiğinin küresel izlenmesi amacıyla kullanılır.

Kullanılabileceği alanlardan biri de yangın tespittir. AVHRR günde iki defa görünür ve kızıl ötesi bantlarda 1 km çözünürlüklü görüntü sağlar (Eumetsat, 2022). Giglio vd. (1999), NOAA'ya (National Oceanic and Atmospheric Administration) ait AVHRR verilerini kullanarak küresel aktif yangın gözlemi için önerilen algoritmalarından seçilenlerin karşılaştırmasını sunmuştur. Küresel gözlem imkânı veren NOAA'nın JPSS (Joint Polar Satellite System) sistemi 5 uydudan oluşur. Bunlar şu an aktif olan NOAA/NASA Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP) uydusu, NAOO-20 (eski adı JPSS-1) ve gelecek olan JPSS-2, JPSS-3 ve JPSS-4 uydularıdır. Her bir uydu, yangın tespiti için de kullanılan VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) ekipmanına da sahiptir. JPSS uyduları kutupsal yörüngede dönerek iki günde küresel kapsama alanı elde eder (NOAA, 2022b, 2022c). NASA'nın FIRMS (Fire Information for Resource Management System) sistemi, NASA'nın Terra ve Aqua uyduları üzerindeki MODIS ve Suomi NPP ile NOAA-20 uyduları üzerindeki VIIRS ekipmanları sayesinde gözlem anından 3 saat içerisinde yangın/termal anomali verisini neredeyse gerçek zamanlı yayınlar (NASA, 2022a). Benzer şekilde FRP (Fire Radiative Power) verisi yere eşzamanlı yörüngede bulunan ikinci nesil Meteosat (MSG) uyduları üzerinde bulunan SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager) ile de sağlanır. Bu FRP verisi 3 km mekansal çözünürlüğe ve 13 dk mekansal çözünürlüğe sahiptir (data europa eu, 2022). Yangınların tespitinde kullanılan diğer bir yere eşzamanlı uydu serisi GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) uydularıdır. Batı yarım küre için 2 km çözünürlüklü görüntü sağlamaktadır (NOAA, 2022a).

Neredeyse gerçek zamanlı yangın takibi için en fazla gelecek vadeden veri kaynağı Sentinel-3 verileridir. Sentinel-3'ün sunduğu bilgi, aktif yangın tespiti ve izlenmesi için kullanılmak üzere 1 km çözünürlüğe sahiptir ve günde iki defa sunulur (Shumilo vd., 2020).

Esemen (2011), 2008 yılında 31 Temmuz ile 5 Ağustos tarihleri arasında Antalya'nın Manavgat ve Serik ilçelerinde çıkan orman yangınlarının meydana getirdiği hasarı 20 m çözünürlüklü SPOT-4 uydu görüntülerini kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmayla UA ve CBS gibi gelişmiş teknolojilerin doğal afetlerin tespiti, değerlendirilmesi ve analizinde ciddi fırsatlar sunduğu ve ülkemizin afet yönetiminde ve özellikle yangın izleme ve değerlendirmede CBS ve UA teknolojilerinin kullanımını standardize etmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Cihan vd. (2022), 1 Temmuz 2017'de İzmir ili Menderes ilçesinde gerçekleşen ve yaklaşık 67 saat süren Deliömerli orman yangınına Landsat-8 uydu görüntülerinden elde edilen yer yüzey sıcaklık haritaları ile analiz etmiştir. Analiz sonucunda yanan alanın kullanım sınıflarına göre yüzdeleri elde edilmiştir.

Nasery ve Kalkan (2020) tarafından yapılan çalışmada, İzmir ili Seferihisar, Menderes ve Karabağlar ilçelerinde 18 Ağustos 2019 tarihinde çıkan orman yangını incelenmiş, basında açıklanan yanan alan miktarının, çalışmada hesaplanan değerler çok altında olduğu ortaya konmuştur. Aynı yangın Özdemir ve Demir (2022) tarafından da UA teknikleri ile incelenmiş, yanan alanların Landsat-8 ve Sentinel-2 uydularına ait multispektral görüntüler (MSI) ile yapılan analizde tespit edilebildiği, C bandını kullanan Sentinel-1A uydusuna ait Yapay Açıklıklı Radar (SAR) görüntü analizlerinde ise yangın öncesi ve sonrası gözle görülür bir fark tespit edilemediği sonucuna varılmıştır.

Avcı ve Korkmaz (2021), Orman Genel Müdürlüğü'nün yangın kayıtları ve orman yangınlarıyla mücadelede tecrübeli 22 uzman ile yapılan mülakatlarla Türkiye'de son yıllarda çıkan orman yangınlarının sayı ve alansal olarak değişimini incelemiş ve çıkış nedenlerini analiz etmiştir. Çalışma sonucunda Türkiye'de yangın sayılarının genel olarak artma eğiliminde olduğu, çıkış sebebi bilinmeyen yangınların son yıllarda arttığı ve tüm yangınların artık yarısından fazlasının "meçhul" olarak kayıtlara geçtiği tespit edilmiştir. Çıkan yangınlar, yangın sayılarındaki artış, iklim değişikliği ve kuraklığa bağlı olarak yangına hassas alanların genişlemesi ve yanıcı madde birikiminin ve sürekliliğinin artması nedeni ile büyümektedir. Bu noktada ülkemizde güncel sorunların, yukarıda sayılan nedenlerden dolayı çıkan yangınların büyümesi, yangınların çoğunluğunun çıkış sebeplerinin belirlenememesi nedeniyle yeterli önlem alınamaması ve deneyimli yangın işçisi sayısının azlığı olduğu değerlendirilmiştir.

Shumilo vd. (2020) tarafından Ukrayna'da ulusal düzeyde otomatik yangın tespiti amacıyla MODIS, Landsat-8, Sentinel-2 ve Sentinel-3 ile elde edilen veriler değerlendirilmiş, Amazon bulut platformunda Horizon-2020 ERA-Planet SMURBS projesi kapsamında, Sentinel-3 verilerini kullanan otomatik yangın algılama iş akışının ve Ukrayna için yangın algılama sisteminin geliştirildiği ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda uydu verilerinin, orman yangınları, turba yangınları ve anız yakma gibi yasa dışı faaliyetlerin tespitini içeren aktif yangın tespiti için harika bir veri kaynağı olduğu ve Sentinel-3 verilerinin, iş akışı otomasyonu için yüksek doğruluk, yüksek zamansal çözünürlük ve basitlik nedeniyle neredeyse gerçek zamanlı yangın algılama görevi için büyük fırsatlar sağladığı ortaya konmuştur. Çalışmada ayrıca MODIS verilerinin yüksek zamansal çözünürlük nedeniyle de faydalı olabileceği, Landsat-8 arazi yüzey sıcaklık verileri ve Sentinel-2 multispektral verilerinin, daha yüksek mekansal çözünürlük nedeniyle yangın alanı ve sonuç analizi görevlerinde kullanılabileceği, en iyi sonuçların ise sadece yüksek doğruluk ve veri güncelleme sıklığını artırmakla kalmayıp aynı zamanda yangınla ilgili olayların ve birçok yönün derinlemesine analizini sağlama imkanı veren heterojen uydu verilerinin birleştirilmesiyle elde edilebileceği değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada 2021 yılında ülkemizde yaşanmış en büyük yangın olan Manavgat yangınının Sentinel-3A uydusu verileri ile analizi yapılmış, aktif yangın tespitine yönelik elde edilen bu analiz sonuçları Sentinel-2A uydusu görüntüleriyle tespit edilen yanan alan verileri ile karşılaştırılmıştır.

2. Çalışma Alanı

Çalışmada 28 Temmuz 2021'de Manavgat'ta başlayan ve yaklaşık 9 gün boyunca Gündoğmuş, Alanya, Akseki ve İbradı ilçeleri de dahil 5 ilçede süren orman yangınının yayılımı ve etkileri incelenmiştir.

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi (UHUZAM) tarafından yapılan analizlere göre bölgede toplam yaklaşık 36.500 ha alanın yandığı tespit edilmiştir (NTV, 2022). Bu yangına kadar ülkemizde yaşanan en büyük yangında 2008 yılında Antalya ili Manavgat ilçesi Taşağıl bölgesinde yaklaşık 16.000 ha alan yanmıştır. Bu veri göz önünde bulundurulduğunda, 2021 Manavgat yangını, ülkemizde yaşanmış en büyük yangın felaketi olarak kayıtlara geçmiştir (GTU, 2022).

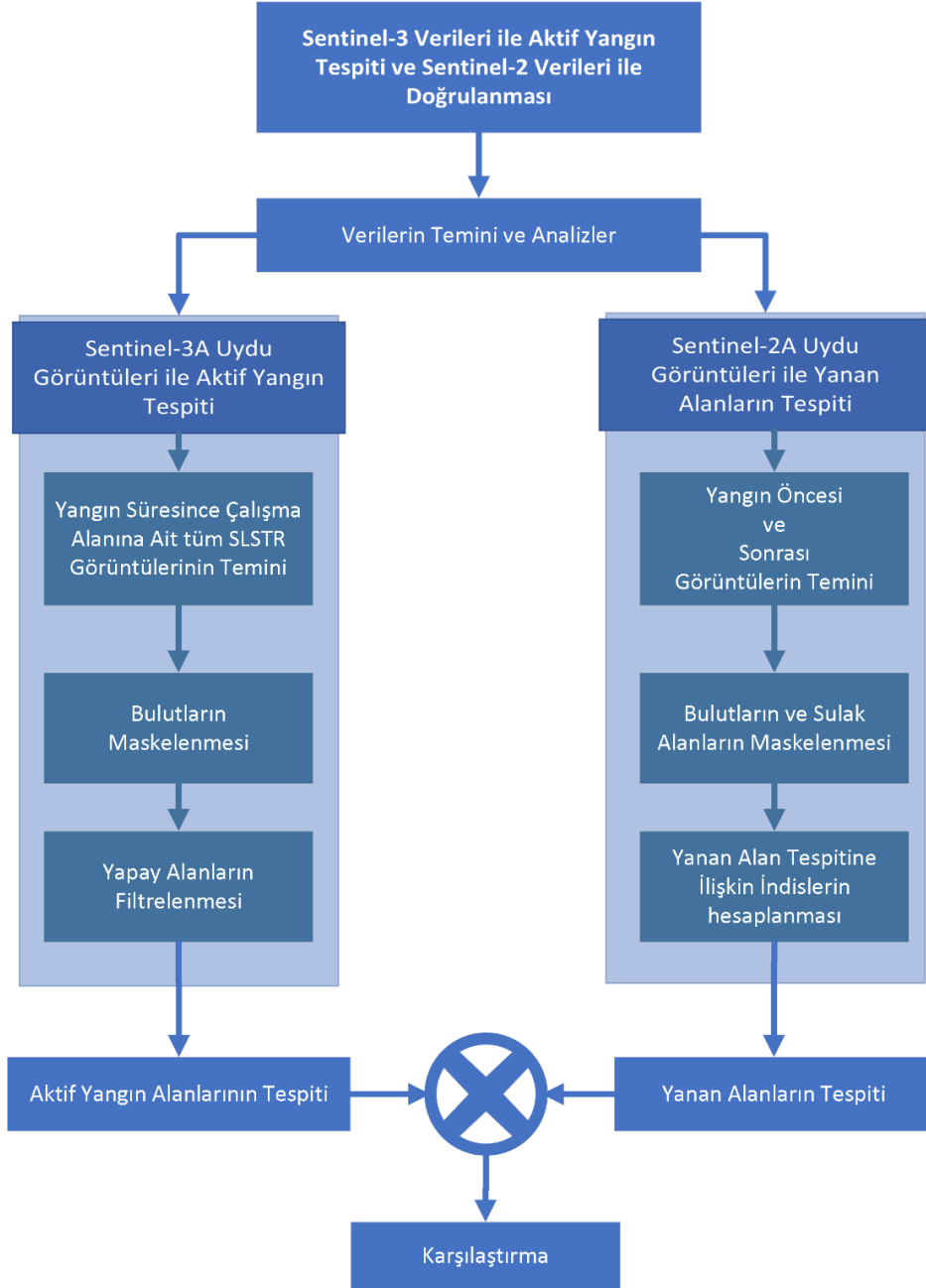
Şekil 2'de verilmiş olan çalışma alanı, Antalya'nın Manavgat İlçesi'ni içine alan $31^{\circ}14'32''$ ile $31^{\circ}7'43''$ Doğu boylamları ve $36^{\circ}40'36''$ ile $37^{\circ}5'57''$ Kuzey enlemleri arasında kalan Akdeniz iklimi etkisi altındaki bölgedir.



Şekil 2. Çalışma alanı

3. Yöntem

2021 yılında Antalya ili Manavgat ilçesinde çıkan yangının farklı uydu görüntüleri ile analiz edildiği bu çalışmada kullanılan yöntem Şekil 3'te gösterilmiştir. Öncelikle zamansal çözünürlüğe bağlı olarak çalışma alanı için mevcut tüm Sentinel-3A uydu görüntüleri kullanılarak yangın süresince çalışma alanında aktif yangınlar tespit edilmiştir. İkinci aşamada yangın öncesi ve sonrası temin edilen Sentinel-2A uydu görüntüleri karşılaştırılarak yanan alanlar tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda birinci aşamada aktif yangın tespiti yapılan alanlar ile ikinci aşamada yandığı tespit edilen alanların karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 3. İş akış şeması

3.1 Aktif Yangın Tespiti

İlk aşamada, Sentinel-3A uydusundan yaklaşık günde iki defa alınan termal kızılötesi yangın bantları kullanılarak aktif yangın tespiti analizleri uygulanmıştır. Bu amaçla yaklaşık 800-830 km LEO yörüngede bulunan Sentinel-3A uydusu üzerindeki 9 spektral banda sahip SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) aracı kullanılmıştır.

SLSTR; 0,555 μm (S1), 0,660 μm (S2), 0,870 μm (S3), 1,6 μm (S5), 3,74 μm (S7), 10,8 μm (S8) ve 12 μm (S9) ile birlikte gelişmiş bulut tespiti için 1,375 μm (S4) ve 2,25 μm (S6) şeklinde iki yeni spektral banda sahiptir. SLSTR ayrıca daha geniş dinamik aralığa sahip 10,8 μm (F2) kanalı ve 3,7 μm 'de (F2) özel algılayıcıları ile aktif orman yangınlarını ölçme yeteneğine sahiptir. Termal kızılötesi (TIR) algılayıcılar (S7-S9, F1, F2) 1 km çözünürlüğe sahipken görünür bölge (VIS) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) kanalları 0,5 km çözünürlüğe sahiptir (ESA, 2022c). Doymuş noktası, F1 bandı için 500 K, F2 bandı için ise 400 K'dir (ESA, 2022d).

28 Temmuz 2021'de Manavgat'ta başlayan yangın 9 gün sürmüştür. Aktif yangın tespiti için aşağıda Tablo 1'de gün ve saatleri verilen Sentinel-3A verileri kullanılmıştır. Bu veriler, Sentinel-3A'nın çalışma alanında yangın süresi için sağladığı tüm verilerdir. Bazı günler sabah ya da gece saatlerinde çalışma alanı için veri mevcut olmadığı da Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan Sentinel-3A verileri

Tarih	Gündüz		Gece	
	Veri Durumu	Saat	Veri Durumu	Saat
28.07.2021	Yok		Var	20:07
29.07.2021	Var	08:24	Var	19:40
30.07.2021	Var	07:57	Var	19:14
31.07.2021	Yok		Yok	
01.08.2021	Yok		Var	20:03
02.08.2021	Var	08:20	Var	19:40
03.08.2021	Var	07:54	Var	19:10
04.08.2021	Yok		Yok	
05.08.2021	Yok		Var	19:59

Tabloda yer alan L1B seviyesinde işlenmiş görüntüler ESA Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) internet sitesinden indirilmiş, indirilen görüntülerin işlenmesi SNAP (Sentinel Application Platform) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada F1 ve F2 bantları aktif yangın tespiti için kullanılırken, S2, S3 ve S9 bantları ise yangın tespitinin önemli bir kısmı olan bulut maskeleyme için kullanılmıştır.

Kalın bulut tabakası aktif yangınların pasif UA ile algılanmasını imkânsız hale getirdiğinden, bulutların maskelenmesi, aktif yangın piksellerinin tespiti için gereklidir. Ayrıca, belirli bulutlardan yansıyan orta kızıl ötesi (MIR) radyasyonu yangın işaretlerine benzerdir ve yangın tespiti öncesi maskelenmemeleri durumunda bazı bulut içeren pikseller hatalı şekilde yangın olarak sınıflandırılabilir (Wooster vd., 2012). Bulut maskesi yansıma değerlerini kullandığı için öncelikle radyans değerlerinin reflektans değerlerine çevrilmesi gerekmektedir. Sonraki aşamada, farklı çözünürlükte bantlar ile işlem yapılamadığı için yeniden örnekleme yapılarak tüm bantlar, asıl kullanacağımız bant olan yangın bantlarının sahip olduğu 1 km çözünürlüğe çevrilmiştir. Sentinel-3A L1B görüntülerinin tümü WGS84 UTM Zone 36 projeksiyonuna çevrilmiş, çalışma alanına göre kesilmiştir. Bu anlatılan işlemler gündüz görüntüleri için uygulanmış olmakla birlikte gece görüntüleri için tek fark reflektans değerlerine dönüşüm yapılmamasıdır.

Gündüz görüntülerindeki pikseller aşağıdaki koşullar gerçekleştiğinde bulut tarafından engellenmiş olarak değerlendirilir (Giglio vd., 2003). Burada, ρ_{λ} , λ (μm) dalga boyunda yansıma, T_{λ} ise λ (μm) dalga boyunda termal bantı göstermektedir.

$$(\rho_{0,65} + \rho_{0,86} > 0.9) \text{ veya } (T_{12} < 265 \text{ K}) \text{ veya } (\rho_{0,65} + \rho_{0,86} > 0.7) \text{ ve } (T_{12} < 285 \text{ K})$$

Gece görüntülerindeki pikseller ise $T_{12} < 265 \text{ K}$ koşulu gerçekleştiğinde bulut tarafından engellenmiş olarak değerlendirilir. Bu basit kriterlerin avantajı, yangın piksellerinin hiçbir zaman yanlışlıkla bulut olarak algılanmamasıdır (Giglio vd., 2003).

ESA Sentinel-3 uydusu üzerinden bulunan SLSTR sensöründen elde edilen verilerin kullanıldığı çok kanallı aktif yangın tespiti ve yangın tanımlaması algoritmasının teorisi, Wooster vd. (2022) tarafından açıklanmaktadır.

Aktif yangınlar, bu esnada F1 ve F2 bantları radyans değerleri arasında ortaya çıkan fark ile tespit edilmektedir. 1x1 km'lik piksel içerisindeki bir sıcak bölge, bu bantlar arasında fark yaratacak kadar etkilidir. Buna ilişkin matematiksel ifadeyi uygulamadan önce yapay alanların filtrelenmesi gerekir. Zira şehir yapıları gibi yapay alanlar hatalı pozitif neden olabilmektedir. Bu amaçla SNAP'te "Add Land Cover Band" modülü kullanılmış, arazi örtüsü (CCI-LC, 2022) seçenekleri içerisinde doğal alanları ifade eden 50 ile 130 arasındaki sınıflar seçilmiştir. Aktif yangın tespiti için kullanılan koşullar Tablo 2'de verilmiştir. Gece koşullarında bulut maskesi ve orman olmayan piksellerin maskelenmesi aynı şekilde yapılmıştır. Fakat gece arka plan daha soğuk olduğu için eşik değerleri bir miktar düşürülmüştür (Serco Italia SPA, 2022a).

Tablo 2. Aktif yangın tespiti hesaplama kriterleri (Serco Italia SPA, 2022a)

Kriter	Koşul (Gündüz)	Koşul (Gece)
İlk Test	F1_BT_in > 325 K	F1_BT_in > 315 K
Sıcak arka planın bertaraf edilmesi	(F1_BT_in - F2_BT_in) > 18 K	(F1_BT_in - F2_BT_in) > 15 K
Bulutların maskelenmesi	cloud_mask == 0	
Orman olmayan piksellerin maskelenmesi	'land_cover_CCILandCover-2015' >= 50 and 'land_cover_CCILandCover-2015' <= 130	

SNAP ile elde edilen sonuç haritası GeoTiff formatında QGIS yazılımına aktarılmış, vektör formatında görselleştirilmesi sağlanmıştır.

3.2 Yanan Alanların Tespiti

Çalışmanın ikinci aşamasında yangın etki tespiti yapılmıştır. Bu amaçla 15 Temmuz 2021 tarihine ait yangın öncesi görüntüler ile 14 Ağustos 2021 tarihine ait yangın sonrası görüntüler kullanılmıştır. Çalışma alanını kapsayan, Sentinel-2A uyduyu isimlendirme kuralına göre T36SUF, T36SUG, T36SVF ve T36SVG olarak isimlendirilen bölgelere ait olan ve UTM/WGS84 projeksiyonunda, Level-2A seviyesinde işlenerek radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapılmış bu görüntüler ESA Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) internet sitesinden indirilmiştir. İndirilen görüntülerin işlenmesi de SNAP yazılımı ile yapılmıştır. Çalışmada kullanılan bantlar 10 metre çözünürlüklü B3 (Yeşil) ve B8 (yakın kızılötesi, NIR) ile 20 metre çözünürlüklü B12 (SWIR) bantlarıdır. İlk aşamada çalışmayı olumsuz etkilememesi için bulutların maskelenmesi amacıyla bulut maskesi bandı hazırlanmıştır. SNAP'in "subset" modülü ile görüntü toplam bu dört banda (3, 8, 12 bantları ile daha önce hazırlanmış olduğumuz bulut maskesine ilişkin bant) indirgenmiş ve çözünürlüklerin aynı olmasını sağlamak üzere 10 metre çözünürlüklü banda göre yeniden örnekleme işlemi uygulanmıştır. Çalışma alanını oluşturan dört görüntü, mozaikleme işlemi ile birleştirilmiş, projeksiyon işlemi de yapılarak çalışma alanına göre kesilmiştir. Aynı işlemler yangın sonrası görüntüler için de tekrarlanmıştır.

Yanan alanları tespit etmek üzere NBR (Normalized Burn Ratio) indeksi kullanılmaktadır. Düşük NBR değeri çıplak alan ya da yeni yanmış alanları, yüksek NBR ise sağlıklı bitki örtüsünü göstermektedir. Yeni yanan alanlar NIR bandında düşük yansıma, SWIR bandında ise yüksek yansıma değerine sahiptir.

NBR indeks hesabı aşağıda Denklem 1 ile (Escuin vd., 2008; García ve Caselles, 1991), Sentinel-2 bantları özelinde ise Denklem 2 ile verilmiştir. Bu indeks çıplak alanlar ile yeni yanan alanları ayırt edemez gibi görüne de yangından önce ve sonraki görüntüler arasındaki farklar alınacağı için yanan alanlar ortaya çıkartılacaktır.

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (1)$$

$$NBR = \frac{B8 - B12}{B8 + B12} \quad (Sentinel - 2) \quad (2)$$

Yangından önce ve sonrası için elde edilen NBR görüntülerinin karşılaştırılabilmesi için iki görüntünün histogramları eşitlenmiştir. SNAP yazılımında sonraki aşamada bu iki görüntü "collocation" işlemine tabi tutularak birleştirilmiştir. NBR neticesinde sulak alanlar ile yanmış alanlar benzer sonuçlar verdiği için sulak alanların maskelenmesi gerekmektedir. Bu durumu maskeleyen için NDWI (Normalized Difference Water Index) indeksi kullanılacaktır. NDWI indeks hesabı aşağıda Denklem 3 ile Sentinel-2 bantları özelinde ise Denklem 4 ile verilmiştir. Bu indeks uygulandığında su alanları pozitif değerler alırken, toprak ve karasal bitki alanları ise yeşile göre NIR bölgesinde daha yüksek yansıma sergiledikleri için 0 ya da negatif değerler alır (McFeeters, 1996).

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (3)$$

$$NDWI = \frac{B3 - B8}{B3 + B8} \quad (Sentinel 2) \quad (4)$$

Yangın öncesi ve sonrası görüntülerden hesaplanan NBR değerlerinin farkları kullanılarak Relativized Burn Ratio (RBR) elde edilmektedir. NBR fark değerleri Denklem 5 ile RBR değeri ile Denklem 6 ile hesaplanmaktadır.

RBR, dNBR değerinin normalize edilmiş şeklidir. En yalın haliyle RBR, dNBR değerinin yangın öncesi NBR değerinin 1.001 fazlasına bölümü ile hesaplanır. Paydaya 1.001 değerinin eklenmesi paydanın 0 olmasını ve denklemin sonsuz değerine ulaşmasını önler (Parks vd., 2014).

$$dNBR = NBR_{yangin_öncesi} - NBR_{yangin_sonrası} \quad (5)$$

$$RBR = \frac{dNBR}{(NBR_{yangin_öncesi} + 1.001)} \quad (6)$$

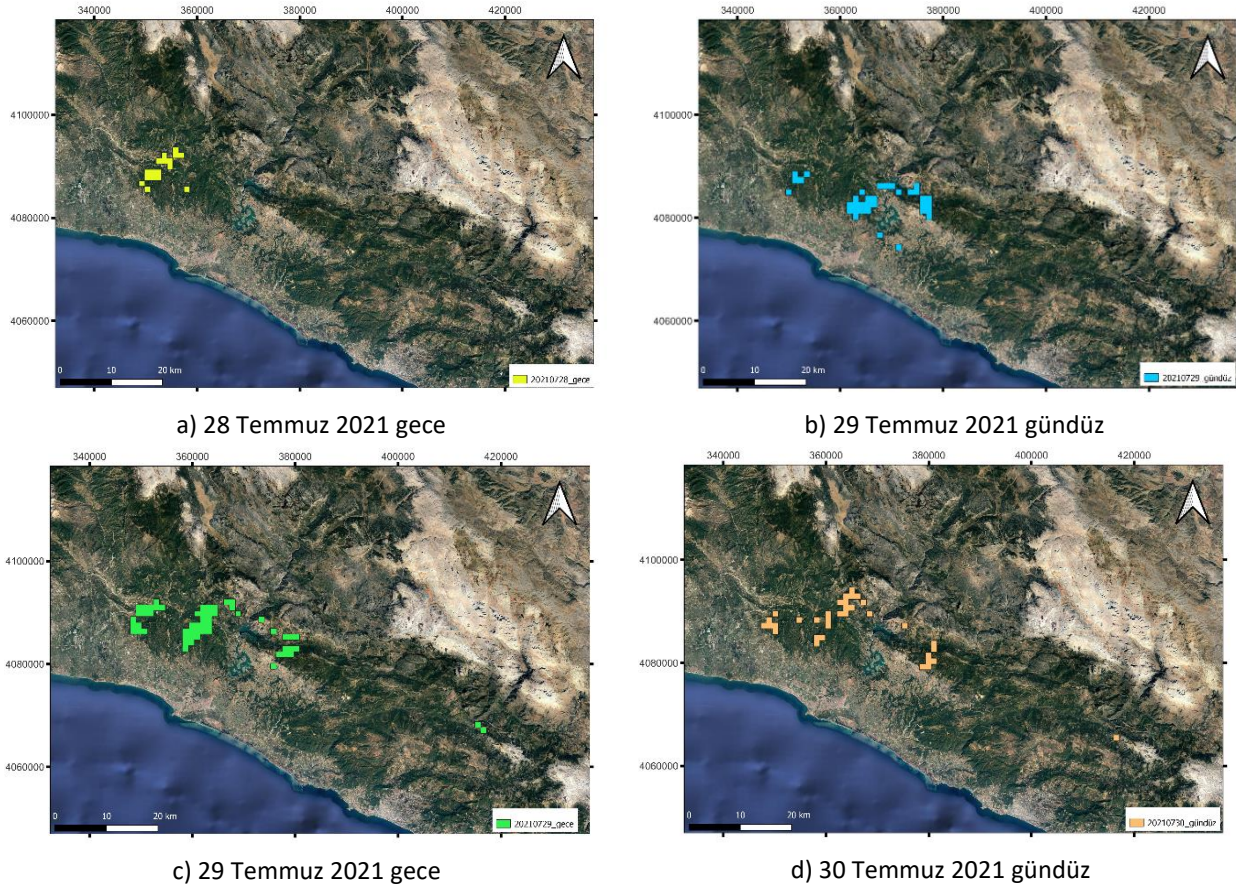
Bulut ve su maskesi uygulanan ve RBR dönüşümü uygulanan görüntülerde yanmış alanlar daha parlak görünmektedir. Zira yangın öncesi ve sonrası değişim daha fazladır. Sonuçta 0.27 değerinden daha büyük değer alan pikseller yanmış olarak sınıflandırılmıştır (Serco Italia SPA, 2022b). SNAP ile elde edilen sonuç haritası, GeoTiff formatında QGIS yazılımına aktararak vektörel olarak haritalandırılması sağlanmıştır. Bununla birlikte, elde edilen günlük aktif yangın verileri raster formatında ArcGIS yazılımında bulunan "Math" fonksiyonuyla birleştirilerek tekrar vektör formatına çevrilmiş, bu veri Sentinel-2A ile elde edilen yangından etkilenen alan verileri ile kıyaslamada kullanılmıştır.

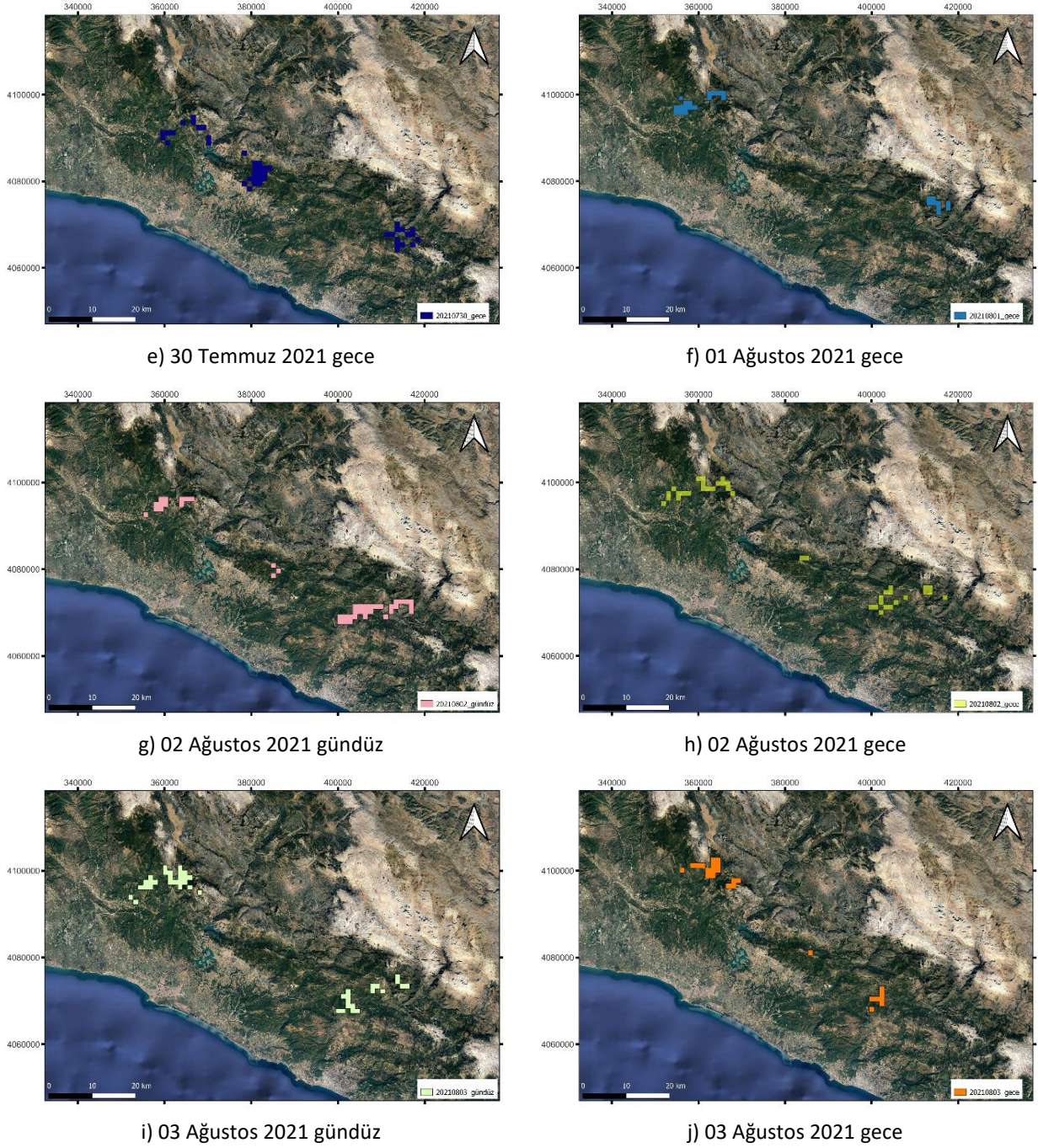
3.3 Aktif Yangın Alanları ile Yandığı Tespit Edilen Alanların Karşılaştırılması

Çalışma sonucunda öncelikle Sentinel-2A ve Sentinel-3A verileri ile elde edilen yanmış alanların yüzölçümleri hesaplanmıştır. Sentinel-2A ve 3A görüntüleri ile elde edilen görüntülerin kıyaslanabilir olması amacıyla, Sentinel-3A ile elde edilen görüntülerin çözünürlüğü, yeniden örnekleme yapılarak Sentinel-2A ile aynı değere getirilmiş ve Sentinel-2A ile yandığı tespit edilen alanların Sentinel-3A ile tespit edilen aktif yangınlar ile ne oranda örtüştüğü hesaplanmıştır.

4. Bulgular

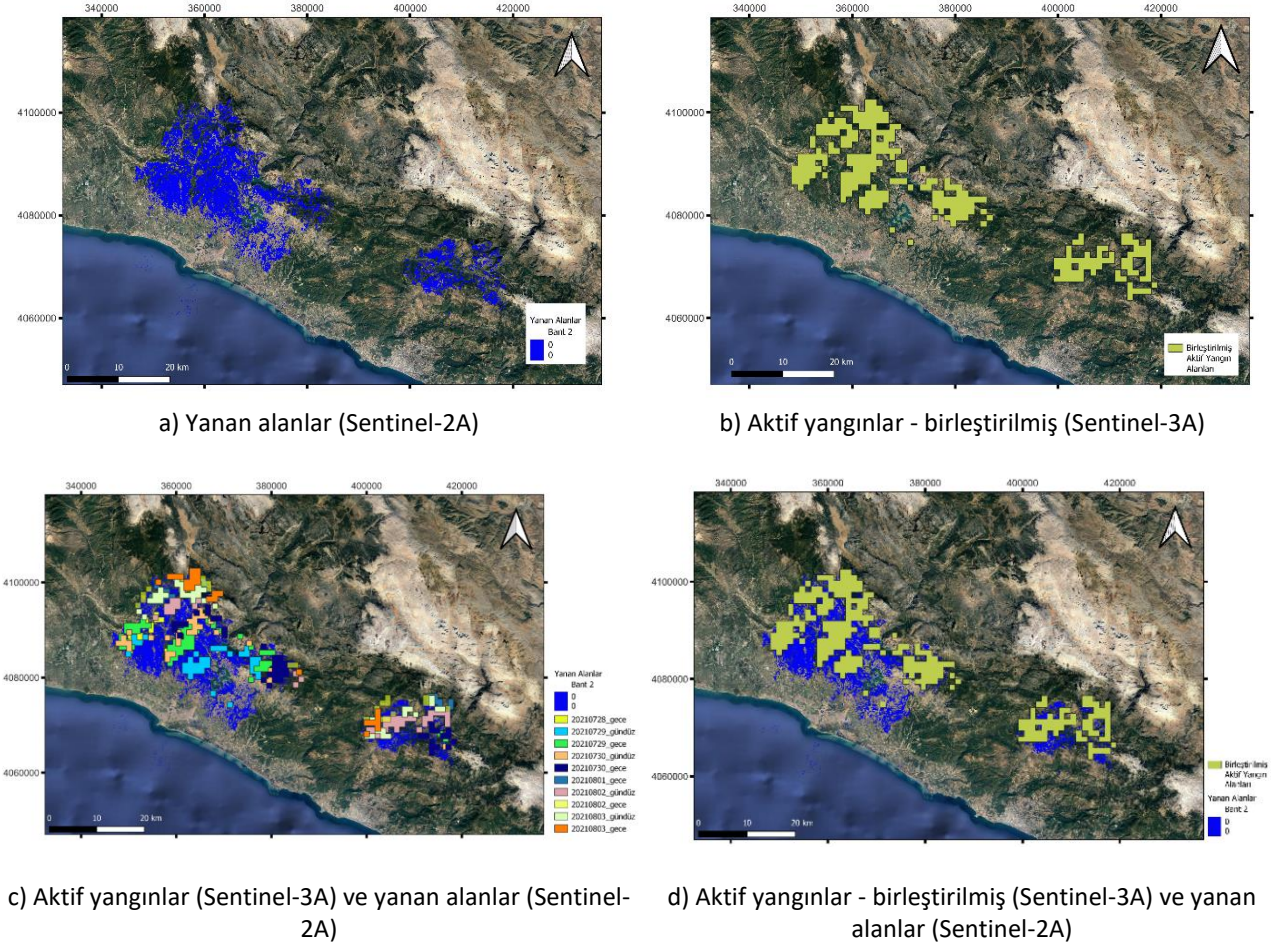
Sentinel-3A verileri ile yapılan analizler sonucu aktif yangının ilerlemesini gösteren haritalar Şekil 4'te verilmiştir. Yapılan analizler, 5 Ağustos 2021 akşamı aktif yanan alan kalmadığını göstermiştir.





Şekil 4. Aktif yangının ilerlemesi

Sentinel-2A uydusu ile yapılan analizler sonucunda yangından etkilenen alanlar Şekil 5a'da, Sentinel-3A uydusu ile tespit edilen aktif yangınların birleştirilmiş alanı Şekil 5b'de aktif yangının günlük ilerleyişi ve yangından etkilenen alanların gösterimi Şekil 5c'de, aktif yangınların birleştirilmiş alanı ile yangından etkilenen alanların beraber gösterimi ise Şekil 5d'de verilmiştir.



Şekil 5. Sentinel-2A ve 3A ile elde edilen haritalar

Sentinel-2A verileri ile elde edilen yanan alanların yüzölçümü hesaplandığında 39.400 ha alanın yandığı tespit edilmiştir. Sentinel-3A verileri ile tespit edilen aktif yangınların etkili olduğu birleştirilmiş alan ise 36.700 ha'dır. Bu iki değer birbirine yakın olduğu görülmekle birlikte Sentinel-2A ve 3A görüntüleri ile yapılan bu analizler, görüntülerin farklı çözünürlüklerde olması nedeni ile doğrudan kıyaslanabilir değildir. Sentinel-3A ile elde edilen görüntülerin Sentinel-2A ile aynı çözünürlüğe getirilmesi suretiyle yapılan analizler, 10 metre gibi yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip Sentinel-2A ile yandığı tespit edilen alanlar ile 1 km gibi düşük mekânsal çözünürlüğe sahip Sentinel-3A ile elde edilen aktif yangın dağılımının % 38,83 oranında örtüştüğünü göstermiştir.

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, 2021 yılında Antalya ili Manavgat ilçesinde çok büyük miktarda alanın yanması ile sonuçlanan orman yangınının günlük takibi Sentinel-3A verileri kullanılarak yapılmıştır. Çalışma, uydu verilerinin orman yangınlarının takibi için kritik önemde olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur. Sentinel uydu verileri özelinde yapılan bu çalışmada, daha önce yayınlanan çalışmalardan farklı olarak, Sentinel-2A uydusu görüntülerinin analiz edilmesiyle yandığı tespit edilen alanların, Sentinel-3A uydusu görüntüleri kullanılarak tespit edilen aktif yangın alanlarıyla hangi oranda örtüştüğü analiz edilmiş ve aktif yangınların daha yüksek hassasiyetle ve hızlı bir şekilde tespitine yönelik öneriler getirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, Sentinel-2A verileri ile yangından zarar gören yerler tespit edilmiş, Sentinel-3A ile elde edilen günlük aktif yangın dağılımı ile %38,83 oranında örtüştüğü görülmüştür. Bu sonucun Sentinel-3A uydusunun zamansal çözünürlüğü ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Gündüz ve gece gözlemleri beraber değerlendirildiğinde zamansal çözünürlüğü 1,5 gün (ESA, 2022b) olan Sentinel-3A uydusu, uydunun ardışık geçişleri arasında yangının yayılımını izlemekte yetersiz kalabilmektedir. Yaklaşık 9 günlük yangın süresince çalışma alanı için temin edilen uydu verileri değerlendirildiğinde uydunun gündüz geçişlerinde sadece 4 gün, gece geçişlerinde ise sadece 7 gün veri alınabildiği görülmektedir.

Buna rağmen elde edilen sonuçlar, sahip olduğu yüksek mekânsal çözünürlüğe karşı 5 gün (ESA, 2022a) gibi görece düşük zamansal çözünürlüğe sahip Sentinel-2A uydusu ile yapılan analizlere kıyasla, düşük mekânsal çözünürlüğe sahip olmakla birlikte görece daha yüksek zamansal çözünürlüğe sahip Sentinel-3A uydusu ile elde edilen sonuçların aktif yangın takibi açısından ne kadar değerli olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte düşük mekânsal çözünürlük ile elde edilen sonuçlar önceki bölümlerde incelenen yere eşzamanlı yörüngede bulunan 2-3 km mekânsal çözünürlüklü sistemlerin kullanımını da teşvik edici olmaktadır. Zira yere eşzamanlı yörüngenin kendine has özelliği, bu yörüngede bulunan uyduların dünya üzerinde belirli, değişmez ve sürekli bir servis alanına sahip olmalarını ve böylece zamansal çözünürlük açısından sınırlanmaksızın sürekli yangın gözlemi yapılabilmesini sağlayabilecektir. Bu bağlamda yangın tespiti ve izlenmesi hedefi doğrultusunda bu yörüngedeki uydulara konumlandırılacak faydalı yükler, lokal ölçekte belirli bir ülke veya bölgeye odaklı olarak tasarlanmaları halinde çok değerli veriler sağlayabilir.

Çalışmanın devamında Türkiye özelinde yangın tespiti yapabilecek yere eşzamanlı yörüngede çalışacak bir uzaktan algılama sisteminin analiz çalışmalarının yapılması planlanmaktadır. Bununla birlikte yangının yayılımına ve ilerleme yönüne etki edebilecek sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve topoğrafik faktörlerin ve etki derecelerinin analizine de bu çalışmalarda yer verilecektir.

Orman yangınlarının uzun vadeli geri döndürülemez etkileri, bir Akdeniz ülkesi olan ülkemizde orman yangınlarının her geçen yıl sayısı ve etki olarak artış göstermesi, Akdeniz'e komşu ülkelerde de benzer problemlerin artması ve yüzölçümümüzün büyüklüğü de dikkate alındığında yangınların erken tespiti ve izlenmesi daha da önem kazanmaktadır. Dünyada birçok ülke ve uluslararası organizasyon tarafından aktif yangınların izlenmesi için kullanılan uydu verilerinin, ülkemizde de bu amaca yönelik olarak kurulması gerekli sistemler içerisinde bulunması önem arz etmektedir. Bu amaca yönelik olarak, sadece uydu satın alan değil, GÖKTÜRK-2 ve İMECE alçak yörünge uyduları ve TÜRKSAT-6A yere eşzamanlı yörünge uydusu gibi projelerle artık uydu üreten bir ülke vasfı kazanmış olmamız da dikkate alındığında, yere eşzamanlı yörüngede konumlandırılacak TÜRKSAT gibi gelecek nesil haberleşme uydularına yangın tespiti ve izlenmesine yönelik konuk (hosted) faydalı yük yerleştirilmesinin değerlendirmeye alınmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Avcı, M., & Korkmaz, M. (2021). Türkiye'de orman yangını sorunu: Güncel bazı konular üzerine değerlendirmeler. *Turkish Journal of Forestry*, 22(3), 229-240.
- CCI-LC. (2022, Ocak 29). Quick user guide of the Land Cover State products in GTiff and NetCDF formats. Retrieved from http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download/ESACCI-LC-QuickUserGuide-LC-Maps_v2-0-7.pdf
- Cihan, A., Cerit, K., & Erenner, A. (2022). Yangın alanında uydu görüntüleri ile yer yüzey sıcaklık değişimi gözlemi ve mekânsal alan tespiti. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1), 142-155.
- data europa eu. (2022, Ocak 25). SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager) Fire Radiative Power (FRP) data from the Meteosat Second Generation (MSG) Satellite. Retrieved from <https://data.europa.eu/data/datasets/seviri-spinning-enhanced-visible-and-infrared-imager-fire-radiative-power-frp-data-from-the-met1?locale=es>
- EFFIS. (2022, Ocak 16). EFFIS Annual Country Statistics for TR - Turkey. Retrieved from <https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/effisestimates>
- ESA. (2022a, Haziran 14). Sentinel-2 MSI Revisit and Coverage. Retrieved from <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/revisit-coverage>
- ESA. (2022b, Haziran 14). Sentinel-3 SLSTR Coverage. Retrieved from <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/Sentinel-3-slstr/coverage>
- ESA. (2022c, Ocak 24). Sentinel-3 SLSTR Instrument Description. Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-slstr/instrument/description>
- ESA. (2022d, Ocak 24). Sentinel-3 SLSTR Instrument Specifications. Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-slstr/instrument/specifications>
- Escuin, S., Navarro, R., & Fernandez, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 1053-1073.
- Esemen, K. (2011). *Forest fire analysis using satellite imagery* (Master tezi). İstanbul Technical University, Institute of Informatics, İstanbul.
- Eumetsat. (2022, Ocak 25). AVHRR. Retrieved from <https://www.eumetsat.int/avhrr>
- García, M. L., & Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data. *Geocarto International*, 6(1), 31-37.
- Giglio, L., Kendall, J., & Justice, C. (1999). Evaluation of global fire detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. *International Journal of Remote Sensing*, 20(10), 1947-1985.
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C. O., & Kaufman, Y. J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87(2-3), 273-282.

- GTU. (2022, Mart 20). Manavgat Yangını GTÜ Tarafından Haritalandı. Retrieved from <https://www.gtu.edu.tr/icerik/8/12549/display.aspx>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432.
- NASA. (2022a, Ocak 25). Fire Information for Resource Management System (FIRMS). Retrieved from <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>
- NASA. (2022b, Ocak 25). MODIS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - About. Retrieved from <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>
- NASA. (2022c, Ocak 25). MODIS Thermal Anomalies/Fire. Retrieved from <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod14.php>
- Nasery, S., & Kalkan, K. (2020). Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The case of Karabağlar district, İzmir/Turkey. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(2), 72-77.
- NOAA. (2022a, Ocak 25). GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) Algorithm Theoretical Basis Document For Fire / Hot Spot Characterization. Retrieved from https://www.star.nesdis.noaa.gov/goesr/documents/ATBDs/Baseline/ATBD_GOES-R_FIRE_v2.6_Oct2013.pdf
- NOAA. (2022b, Ocak 25). Joint Polar Satellite System. Retrieved from <https://www.nesdis.noaa.gov/current-satellite-missions/currently-flying/joint-polar-satellite-system>
- NOAA. (2022c, Ocak 25). Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). Retrieved from <https://www.nesdis.noaa.gov/current-satellite-missions/currently-flying/joint-polar-satellite-system>
- NTV. (2022, Mart 20). Orman yangınları uzaydan görüntüledi: 85 bin futbol sahası büyüklüğünde alan yandı. Retrieved from https://www.ntv.com.tr/galeri/turkiye/orman-yanginlari-uzaydan-goruntulendi-85-bin-futbol-sahasi-buyuklugunde-alan-yandi,BMqnR3bqSkSetgqllPDTXg/IB5R2MkJjkit4-dVD_pyEw
- Özdemir, F. B., & Demir, N. (2022). 2019 İzmir karabağlar ilçesi orman yangın alanının uydu görüntüleri ile analizi. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 3(1), 20-33.
- Parks, S. A., Dillon, G. K., & Miller, C. (2014). A new metric for quantifying burn severity: the relativized burn ratio. *Remote Sensing*, 6(3), 1827-1844.
- Serco Italia SPA. (2022a, Ocak 29). Active Fire Detection with Sentinel-3 SLSTR using SNAP. Retrieved from https://rus-copernicus.eu/portal/wp-content/uploads/library/education/training/HAZA04_ActiveFire_Portugal_Tutorial_Webinar.pdf
- Serco Italia SPA. (2022b, Ocak 29). Burned Area Mapping with Sentinel-2 (SNAP), Portugal (version 1.2). Retrieved from https://rus-copernicus.eu/portal/wp-content/uploads/library/education/training/HAZA02_BurnedArea_Portugal.pdf
- Shumilo, L., Yailymov, B., & Shelestov, A. (2020, September). Active fire monitoring service for Ukraine based on satellite data. In *IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings*. (pp. 2913-2916). IEEE.
- Wooster, M. J., Xu, W., & Nightingale, T. (2012). Sentinel-3 SLSTR active fire detection and FRP product: Pre-launch algorithm development and performance evaluation using MODIS and ASTER datasets. *Remote Sensing of Environment*, 120, 236-254.
- Wooster, M. J., Xu, W., & Emsley, S. (2022, Ocak 25). Sentinel-3 Optical Products and Algorithm Definition. Active Fire: Fire Detection and Fire Radiative Power Assessment. Retrieved from https://sentinel.esa.int/documents/247904/0/SLSTR_Level-2_Fire_ATBD.pdf/77f452ea-ee65-4f84-a9cb-cc68d1c03c6f