



Türkiye’de 2021 Yılında Yaşanan Büyük Orman Yangınlarında Yanan Orman Alanlarının ve Yangın Kaynaklı Atmosferik Aerosollerin Uydular ile İzlenmesi

Satellite Monitoring of Burned Forest Areas and Atmospheric Aerosols Originated from Major Forest Fires in Turkey in 2021

Gizem Tuna Tuygun^{1*}, **Gülşen İşsever¹**, **Tolga Elbir¹**

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: gizem.tuna@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 01.03.2022

Kabul Tarihi / Accepted: 01.11.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2023257408

Atıf şekli/How to cite: TUNA TUYGUN, G., İŞSEVER, G., ELBİR, T. (2023). Türkiye’de 2021 Yılında Yaşanan Büyük Orman Yangınlarında Yanan Orman Alanlarının ve Yangın Kaynaklı Atmosferik Aerosollerin Uydular ile İzlenmesi. DEUFMD, 25(74), 351-369.

Öz

Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi verilerine göre, 2021 yılında Akdeniz ülkeleri içinde en fazla orman alanı kaybı yaşayan ülke Türkiye olmuştur. Ülke tarihindeki en büyük orman yangınlarının yaşandığı dönem olan 28 Temmuz-12 Ağustos 2021 tarihleri arasında gerçekleşen çok sayıda tahrip ufaklı orman yangını ile Ege ve Akdeniz bölgelerinde yaklaşık olarak 150.000 ha orman alanı tahrip olmuştur. Bu çalışma kapsamında, aynı dönemde Ege ve Akdeniz bölgesinde yer alan özellikle Muğla, Antalya, Mersin, Adana ve Osmaniye illerinde tahrip olan orman alanlarının farklı uydu verileri kullanılarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, orman yangınları sonucu oluşan aerosollerin atmosferdeki günlük değişimlerinin uydu verileriyle belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, yangın öncesi ve sonrası günleri kapsayacak 16 günlük çalışma dönemi (27 Temmuz-13 Ağustos 2021) boyunca günlük olarak Suomi NPP uydusunun VIIRS sensörü ile elde edilen “Orman Yangını ve Sıcaklık Anomalisi” ürünleri incelenmiştir. Tespit edilen orman yangınlarının etkili olduğu bölgeler, eş zamanlı olarak NASA’nın Aqua uydusunun MODIS sensörü ile elde edilen Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü (NFBÖİ) verileri kullanılarak belirlenmiş ve Ege ve Akdeniz’de yanan toplam orman alanları mekansal olarak belirlenmiştir. Ek olarak, meydana gelen orman yangınları sonucunda oluşan atmosferik aerosoller, eş zamanlı olarak MODIS enstrümanı tarafından üretilen 1 km mekansal çözünürlüğe sahip Aerosol Optik Derinliği (AOD) verisi ile günlük olarak izlenmiştir. Çalışma sonunda, yangınların ilerleyişinin, verdiği hasarın ve yangın kaynaklı oluşan aerosollerin atmosferdeki değişiminin uydu verileri yardımıyla uyumlu olarak izlenebildiği görülmüştür. Buna göre, uzaktan algılama verileri ile belirlenen yanan alanlar incelendiğinde orman yangınlarının özellikle Muğla ve Antalya illerinde büyük kayıplar meydana getirdiği belirlenmiştir. Orman yangınları kısa sürede birçok alana yayılmış, yangının ilerleyiş hattına paralel olarak dumanın eş zamanlı hareketi gözlenmiş, orman yangınları sonucunda yangınların şiddetlendiği dönemlerde yüksek AOD (> 1.0) değerlerinin oluştuğu ve bölgenin ortalama aerosol seviyelerine göre yaklaşık 2-5 kat yüksek aerosol kirliliğine sebep olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Orman Yangını, Aktif Yangın Verileri, Aerosol Optik Derinliği, Uydu Verileri, Akdeniz Bölgesi

Abstract

According to the European Forest Fire Information System's data, Turkey had the highest forest area loss among the Mediterranean countries in 2021. Approximately 150,000 ha of forest area in the Aegean and Mediterranean regions was destroyed due to many large and small forest fires between July 27 and August 13, 2021. This study aimed to determine the burned areas damaged in the Aegean and Mediterranean regions, especially in Muğla, Antalya, Mersin, Adana, and Osmaniye provinces using data from different satellites. In addition, it was aimed to determine the daily changes in the atmospheric aerosols from forest fires. First, daily active fire products from the VIIRS sensor of the Suomi NPP satellite were studied during the 16-day fire period (27 July-13 August 2021), including the days pre-post-fire. The burned areas were also determined using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from the MODIS sensor of NASA's Aqua satellite. The total burned areas in the Aegean and Mediterranean regions were spatially determined. In addition, atmospheric aerosols originating from forest fires were monitored daily-basis by Aerosol Optical Depth (AOD) data from the MODIS sensor at 1 km spatial resolution. The results showed that the progress of the fires, their severity, and spatial distribution of the atmospheric aerosols could be monitored with multiple remote sensing sources. According to the satellite analyses, significant losses were observed in Muğla and Antalya provinces. Forest fires spread to many areas quickly. High AOD (> 1.0) values were determined in Antalya due to forest fires and caused aerosol pollution, approximately 2-5 times higher than average aerosol levels in the region.

Keywords: Forest Fire, Active Fire, Aerosol Optical Depth, Satellite Data, Mediterranean Region

1. Giriş

Orman yangınlarının başlamasında ve yayılmasında yüksek sıcaklık, düşük bağıl nem, yüksek rüzgar hızı ve hakim rüzgar yönü en etkili meteorolojik parametrelerdir. Genellikle sıcaklığın 40 °C'nin üzerinde ve nemin ise %20'nin altında olduğu atmosferik koşullar orman yangını için uygundur [1]. Bu şartlara ek olarak kuvvetli rüzgarın da etkisiyle yangın kilometrelerce mesafelere yayılabilmektedir. Orman yangınları ile başarılı ve etkin bir şekilde mücadele edebilmek için yangın davranışını belirleyen biyomas miktarının, arazinin topoğrafik yapısının ve bölgenin meteorolojik koşullarının bilinmesi gerekmektedir. Meteorolojik verilerin analiz edilmesiyle yangının davranışı incelenebildiği gibi, son yıllarda uzaktan algılama teknolojisinin gelişmesi ile orman yangınları ve etkilenen alanlar çeşitli uydular ile izlenebilmektedir [2]. Uyduların zamansal ve mekansal çözünürlükleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla, yanan alanların belirlenmesi için uydu sistemi seçiminde elde edilecek görüntülerin mekansal çözünürlüğü önem arz etmektedir. Ayrıca uydu sisteminin tekrar ziyaret etme süresi (zamansal çözünürlük) de hasar tespiti ve hızlı sonuç alma açısından önemlidir [3]. Özellikle çok bantlı uydu sistemleri sayesinde yangından hasar görmüş alanların belirlenmesi ve hızlı bir şekilde haritalanması mümkün olmaktadır.

Çalışmalarda yanmış alanların yangın öncesi ve sonrasına ait çoklu uydu görüntüleri kullanılmaktadır [2-5].

Yanma sonucunda bitki örtüsünde geniş spektral değişiklikler meydana gelmekte ve bu değişiklikler yaygın olarak farklılaştırılmış normalize edilmiş yanma oranı (dNBR)[6-9], normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NFBÖİ) [10-14] gibi çeşitli spektral indeksler ile izlenmektedir. Her iki indeksi birlikte kullanan çalışmalar da mevcuttur [15-20]. dNBR bir çok çalışmada yaygın olarak kullanılmasına rağmen Kavzoğlu vd. [16] ve Atun vd. [20] tarafından 2021 orman yangınları için Sentinel-2 dNBR ve NFBÖİ indeksleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda yanmış ve yanmamış alanlar arasındaki farkın NFBÖİ değerleri ile daha belirgin ortaya koyulduğu ve hesaplanan yanan alanların Orman Genel Müdürlüğü tarafından tespit edilen yanan alan verileri ile daha uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Bu indekslere ek olarak, Suomi NPP uydusu üzerinde yer alan VIIRS (Visible/Infrared Imager Radiometer Suite) enstrümanı da son yıllarda yangınların izlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [21, 22]. VIIRS enstrümanı ile üretilen aktif yangın piksellerini içeren ürün ile aktif yangın alanları, yüksek ısı açığa çıkaran endüstriyel ve tarımsal faaliyetler, toz taşınımı gibi yüksek sıcaklık anomolisine sebep olan

faaliyetler belirlenebilmektedir [21]. Aktif yangın verileri kullanılarak yanan alanların, yangın şiddetinin ve yangın seyrinin belirlenmesine yönelik literatürde çalışmalar bulunmaktadır [21-24].

Yanan orman alanlarına ek olarak, orman yangınlarına bağlı ortaya çıkan hava kirleticiler yer seviyesinde yapılan ölçümlerle izlenebildiği gibi uydular yardımıyla uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak da belirlenebilmektedir [8,25-27]. Ölçümler sadece istasyonların kurulu olduğu alanlardaki hava kalitesini temsil ederken uydular yardımıyla daha geniş alanlarda farklı kirletici parametrelerin izlenmesi mümkün olabilmektedir.

Uydular yardımıyla atmosferdeki aerosollerin tespiti için kullanılan temel parametre Aerosol Optik Derinliği (AOD)'dir. AOD kısaca, belli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin atmosferdeki aerosoller nedeniyle azalması olarak tanımlanır. AOD 0 ile 5 arasında değer alabilen birimsiz bir parametredir. 0,1'den küçük AOD değerleri maksimum görüş mesafesine sahip temiz bir gökyüzünü temsil etmektedir. AOD değerinin 0,2-0,3 aralığında yer alması atmosferde orta derecede aerosol varlığını göstermekte iken bu değer 0,3'ten büyük olması durumunda ise toz taşınımı veya yerel kaynaklı bir aerosol kirliliğinden bahsedilebilir. Özellikle 0,5'in üzerinde yer alan AOD değeri oldukça yoğun aerosol varlığını (orman yangınları, volkan patlamaları, tarımsal yangınlar, vb.) işaret etmektedir. AOD değeri 1,0'den büyük olmaya başladığında gökyüzünün kahverengi renkli çok puslu bir görüntüye sahip olduğunu ve teorik olarak alabileceği en büyük değer olan 5,0'e ulaşması durumunda ise yazın öğle saatlerinde bile güneşin gökyüzünde görünemeyeceği kadar yoğun sisli/puslu bir atmosfer düşünülmelidir [28-30].

Bu değerler atmosferik kolonlar içinde bulunan partiküllerin optik özellikleri ile ilişkilidir. Amerikan Ulusal Uzay ve Havacılık Dairesi (NASA) tarafından uzaya yerleştirilen kutupsal yörüngeli Terra ve Aqua uydularına bağlı MODIS enstrümanı yeryüzündeki bir nokta için günde 1 veya 2 adet AOD verisi üretebilmektedir. Terra ve Aqua uyduları uzun yıllardır dünya genelinde yaygın olarak kullanılan ve ülkemiz özelinde de kabul edilebilir doğrulukta AOD verisini üretmeyi başaran uydulardır [31-32]. AOD orman yangınlarından kaynaklanan aerosol kirliliğinin izlenmesi amacıyla da literatürde

yaygın olarak kullanılan bir parametredir [25, 33-35].

Türkiye sahip olduğu orman varlığı ve içinde bulunduğu iklim kuşağı nedeniyle yaz aylarında sıkça orman yangını yaşayan ülkelerin başında gelmektedir. Ülkede 28 Temmuz-12 Ağustos 2021 tarihleri arasında yaşanan bazı orman yangınları ülke tarihindeki en büyük orman yangınları olarak kaydedilmiştir. Bu dönemde orman yangınları Antalya'nın Manavgat ilçesinde başlamış ve devamında Muğla, Mersin, Osmaniye, Adana, Denizli, Aydın, Isparta başta olmak üzere birçok ile yayılmıştır. Yangınlardan en çok Akdeniz ve Ege Bölgesinde yer alan kıyı şeridindeki alanlar etkilenmiştir. Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (EFFIS) verilerine göre, 2021 yılında Akdeniz ülkeleri içinde orman yangınları nedeniyle en fazla kayıp veren ülke Türkiye'dir [36].

Yangın riskinin yüksek olduğu bölgelere sahip olan Türkiye'de orman yangınlarının izlenmesi ve yangın sonrasında yanan alanlarda zaman içinde meydana gelen değişimlerin belirlenebilmesi etkili ve sürdürülebilir yangın yönetimi için oldukça önemlidir. Bu çalışmada ilk olarak, 28 Temmuz-12 Ağustos 2021 tarihleri arasında Ege ve Akdeniz bölgelerinde meydana gelen büyük orman yangınları ile tahrip olan alanların 16 günlük Aqua MODIS NFBÖI verileri kullanılarak belirlenme potansiyelinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada yanan alanların yanma şiddetinin veya yangının şiddetinin belirlenmesi hedeflenmemiştir. Daha önce gerçekleştirilen bir çalışmada [27] benzer alanlar için Sentinel-2 dNBR kullanılarak ilgili yanan alanların yanma şiddeti için analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada temel amaç, bitki örtüsü varlığı açısından sınıf değişikliğine uğradığı görülen pikseller üzerinden yangın öncesi ve sonrası dönem verileri incelenerek yanan alanların analiz edilmesidir.

Ayrıca farklı mekansal, zamansal ve spektral görüntüleme yapılmasına imkan veren Kaynak Yönetim Sistemi için Yangın Bilgileri NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System) "Global Yangın Haritası" arşivinden VIIRS-Aktif Orman Yangını verilerinin de kullanılmasıyla çalışmada belirlenen yanmış orman alanları ile aktif yangın verileri arasındaki ilişki belirlenmiştir. Aqua-MODIS uydusuna ait düzeltilmiş yansıma verileri ile yangınların günlük seyrinin incelenmesi ve yangın seyri boyunca 1 km mekansal çözünürlüklü AOD verileri yardımıyla büyük

orman yangınlarının atmosferik aerosol kirliliğine katkısının günlük olarak belirlenmesi de çalışmanın temel hedeflerindedir. Çalışmada tercih edilen verilerin mekansal çözünürlükleri de birbirlerine olabildiğince yakın seçilmiştir.

2. Türkiye ve Orman Yangınları

Türkiye 78 milyon hektarlık alanıyla, zengin bir ekolojik çeşitliliğe sahip olup orman alanları bu alan içinde önemli bir yer tutmaktadır [37]. 2020 yılında yapılan tespitlere göre Türkiye'de yaklaşık 23 milyon hektar alan ormanlarla kaplıdır ve ülke yüzölçümünün %29,4'ünü oluşturmaktadır [37]. Bu orana ağaçsız orman alanları dahil değildir.

Çok farklı sebepleri olsa da Türkiye'de çıkan orman yangınlarında her yıl binlerce hektarlık alan zarar görmektedir. Türkiye'de yaşanan orman yangınlarına ilişkin istatistikler 1937 yılından itibaren kayıt altına alınmaktadır ve yangınların çıkış nedenlerinin çok büyük bir çoğunluğu (%92) insan kaynaklı olarak görülmektedir [38]. 1937 yılından günümüze kadar yangın sayılarında artış olduğu görülmektedir. Bu tarihten günümüze gerçekleşen yıllık yaklaşık 1.360 adet yangında, ortalama 20.000 hektarlık alan yangınlardan etkilenmiştir. Ancak, orman yangınları ile mücadelede teknik ekip/ekipman kullanımının yaygınlaştığı 1990 ve sonrasında yıllık ortalama 2.235 adet yangında ortalama 10.371 hektar alan etkilenmiştir [38].

Ülkemizde Mayıs ile Ekim ayları arasındaki dönem yangın sezonu olarak tanımlanmaktadır. Yıl içinde meydana gelen orman yangınlarının yaklaşık %88'i bu dönemde meydana gelmektedir [38]. Hatay'dan başlayıp sırasıyla Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgesi'nden Batı Karadeniz'e kadar uzanan ve toplam orman alanının yaklaşık %57'sini oluşturan bölge orman yangınlarına karşı oldukça yüksek risk altındadır. Bu alanlarda meydana gelen yangınlar ağırlıklı olarak kızılçam, maki ve karaçam vejetasyonunun hakim olduğu orman alanları için bir tehlike oluşturmaktadır. Ülkemizde 2004-2020 yıllarını kapsayan dönemde en fazla sayıda orman yangınının meydana geldiği üç Orman Bölge Müdürlüğü Muğla, İzmir ve Antalya olarak belirlenmiştir [38].

Son 10 yıllık dönemde yıllık ortalama yanan orman alanı 9.096 hektar iken 2020 ve 2021 yılları istatistikleri bu ortalamanın çok üzerinde gerçekleşmiştir. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı resmi istatistiklerine göre; 2020 yılında 20.971

hektar ormanlık alan yangınlardan etkilenmiştir [37]. 2021 yılı yaz aylarında Ege ve Akdeniz bölgelerinde yoğun olarak gerçekleşen yangınlar göz önüne alındığında 2021 yılında yaklaşık olarak 150.000 hektarın üzerinde bir alanın yandığı tahmin edilmektedir [37]. Ülkemizde büyük yangın olarak nitelendirilen 500 hektar ve üzeri yangınların sayısı son 10 yılda toplam 25 adet iken, sadece 2021 yılında 16 adet büyük orman yangını meydana gelmiştir [37]. 2021 yılı ilk 8 ayında hem çıkan orman yangını sayısında hem de yanan alan miktarında artış gözlenmiştir. EFFIS verileri de orman yangınlarının tahrip ettiği alan miktarı bakımından 2021'in yıkıcı bir yıl olduğunu göstermektedir [36]. Orman Genel Müdürlüğü verilerine göre sadece 28 Temmuz-12 Ağustos 2021 tarihleri arasındaki sürede 299 adet orman yangını meydana gelmiştir. 2021 yılı Temmuz ve Ağustos ayında gerçekleşen yangınlarda Orman Genel Müdürlüğü tarafından 132.892 hektarlık bir alanın yandığı, EFFIS verilerine göre ise, 14 Ağustos 2021 itibarıyla, Türkiye'de 2021 yılı içinde toplam 177.456 hektarlık bir alanın yandığı belirtilmektedir [36].

3. Materyal ve Metot

3.1 Aqua MODIS NFBÖİ verileri

Çalışmada ilk olarak, orman yangınlarında hasar gören toplam alanların detaylı bir şekilde belirlenebilmesi için literatürde de yaygın olarak kullanılan NFBÖİ verilerinden faydalanılmış olup yangın öncesi ve sonrasında elde edilen uydu görüntülerinin analizi ile toplam yanan alanlar belirlenmiştir. NFBÖİ verileri NASA tarafından verilere hızlı erişebilmek ve kullanıma hazır veriler elde edilmek üzere oluşturulmuş AppEARS veri tabanından (<https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears/>) yangın periyodunu kapsayacak şekilde koleksiyon 6.1 verileri için 250 m mekansal ve 16 günlük zamansal çözünürlükte MYD13Q1 ürün kodu ile GeoTIFF formatında temin edilmiştir. NFBÖİ kullanılarak bölgelerin yüzeyleri 4 farklı şekilde kategorize edilmiştir. Bunlar bitki örtüsü olmayan yüzeyler (NFBÖİ<0,2), kısmen bitki örtüsü olan yüzeyler (0,2≤NFBÖİ≤0,3), orta derecede bitki örtüsü olan yüzeyler (0,3<NFBÖİ<0,5) ve yoğun bitki örtüsü olan yüzeyler (NFBÖİ≥0,5) olarak sınıflandırılmaktadır [39-41]. Atun vd. [20] tarafından Türkiye'de yapılan bir çalışmada da benzer bir sınıflandırma kullanılmıştır. Yanan alanların belirlenebilmesi için; yangın öncesi ve sonrası döneme ait görüntüleri içeren ilgili sınıf aralıklarına göre sınıflandırılmış piksellerin

bölgesel histogramları çıkarılmış, sınıf değişikliği oluşan piksel sayıları belirlenmiştir. Piksel sayıları mekansal çözünürlükle ilişkilendirilerek yanan alanlar hesaplanmış ve hektar cinsinden ifade edilmiştir. Sınıf değişikliğine uğramayan pikseller yanan alan hesabına dahil edilmemiştir. Çalışmanın sonuçları, EFFIS üzerinden MODIS/SENTINEL-2 uydu sistemleri kullanılarak elde edilen yanan alan bilgileri ile de karşılaştırılmıştır.

3.2. VIIRS aktif yangın verileri

Çalışma alanı Muğla, Antalya, Mersin, Adana ve Osmaniye illerini kapsamaktadır. NASA tarafından aktif yangın alanlarını belirlemek üzere geliştirilmiş FIRMS web sitesinden (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>) aktif yangın verilerinin mekansal dağılımını gösteren veriler noktasal olarak temin edilmiştir. Bu verilerle birlikte gelen yangın şiddeti belirlemek amacıyla kullanılan özel veriler (Fire Radiative Power - FRP) çalışmaya dahil edilmemiştir. VIIRS-Aktif Yangın verileri yangın öncesi, esnası ve sonrasını kapsayacak şekilde 27 Temmuz-13 Ağustos 2021 tarih aralığında elde edilmiştir. Veriler (233699- J1 VIIRS C1) ürün kodu ile shp dosyası olarak temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler sadece olası bitki örtüsü yangınına gösterecek şekilde "type=0" seçilerek filtrelenmiştir. Ayrıca, güvenli verilerle çalışabilmek için de güvenilirliği düşük olan pikseller ("confidence=1") veri setinden uzaklaştırılmıştır. Tüm çalışma dönemi olan 16 güne ait elde edilen bu veriler ArcMap 10.3.1 coğrafi bilgi sistemi yazılımı ile analiz edilmiş ve kümülatif yanan alanlar haritalar şeklinde sunulmuştur. Ayrıca NFBÖI görüntü farkları ile elde edilen yanan alanlar üzerinde oluşan aktif yangın sayıları kümülatif hesaplanarak yanan alanlarla ilişkilendirilmiştir.

3.3. Aqua MODIS düzeltilmiş yansımaya verileri

Yanan alanların tespit edilmesinden sonra, yangın seyri ve duman davranışının belirlenebilmesi için yangın dönemi boyunca günlük değerlendirme yapılmıştır. NASA'ya ait "Worldview Anlık Görüntüler" web sitesinden Aqua MODIS uydusuna ait 250 m çözünürlükte, 7-2-1 numaralı bantlar kullanılarak elde edilen "düzeltilmiş yansımaya" verileri GeoTIFF formatında çalışma alanını içerecek şekilde 27 Temmuz-13 Ağustos 2021 tarih aralığında ilgili web sitesinden (<https://wvs.earthdata.nasa.gov/>) temin edilmiştir. Coğrafi bilgi sistemi kullanılarak yangın seyri günlük olarak görselleştirilmiştir.

3.4. MAIAC AOD verileri

MODIS MAIAC AOD verileri aynı alan ve tarihler için NASA LAADS DAAC (Seviye-1 ve Atmosfer Arşiv ve Dağıtım Sistemi Dağıtılmış Aktif Arşiv Merkezi)(<http://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>) web sitesinden elde edilmiştir. Terra ve Aqua uyduları üzerinde bulunan MODIS enstrümanına ait C6 koleksiyonu MCD19A2 ürün kodlu 1-km mekansal çözünürlüğe sahip AOD verileri kullanılmıştır. Veriler 27 Temmuz-13 Ağustos 2021 tarih aralığında toplam 192 adet TIFF dosyası şeklinde temin edilmiştir. Farklı alanları kapsayan TIFF dosyaları RStudio 3.5.2 yazılımı ile birleştirilerek, çalışma alanının tamamı için bütün olarak günlük AOD verisi haline getirilmiştir. AOD verilerin doğruluğu yerden AOD ölçümü yapan NASA tarafından kurulmuş Aerosol Robotik Ağı'na (AERONET) bağlı olan güneş fotometrelerinden elde edilen verilerle gerçekleştirilmektedir. 2022 yılında Türkiye için yapılan validasyon çalışmasında verilerin büyük bir çoğunluğunun (~%80) beklenen hata değerleri içinde kaldığı ve bölgeyi yüksek doğrulukla temsil ettiği belirlenmiştir [32]. MCD19A2 ürünü, Terra ve Aqua uydularında bulunan MODIS enstrümanının Atmosferik Düzeltmenin Çok Açılı Uygulaması (MAIAC) algoritması ile oluşturulan her gün 1km mekansal çözünürlükte AOD verisinin temin edilebildiği bir veri setidir [42]. MAIAC, bulut algılama, aerosol verisi üretme ve atmosferik düzeltmenin doğruluğunu iyileştirmek için zaman serisi analizini ve görüntü tabanlı işleminin bir kombinasyonunu kullanan yeni bir gelişmiş algoritmadır [42].

Terra ve Aqua uydularına bağlı MODIS enstrümanı bir günde 4 farklı açıdan veri elde etmektedir. MAIAC algoritması ile veriler, tek başına kara parçaları için alınabilirken kara ile deniz yüzeyleri üzerinden de birlikte alınabilmektedir. Eğer uydu sadece deniz ortamı üzerinden geçiyorsa ve yoğun bir bulut, sis ve toz tabakası bulunuyorsa veri üretilmemektedir [32], bu sebeple çalışma alanı içinde yer alan Ege ve Akdeniz üzerinde yer yer boş verilerle karşılaşmıştır. Çalışmada kullanılan tüm verilere ilişkin bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen işlem basamaklarına ait akım şeması Şekil 1'de verilmiştir.

4. Bulgular

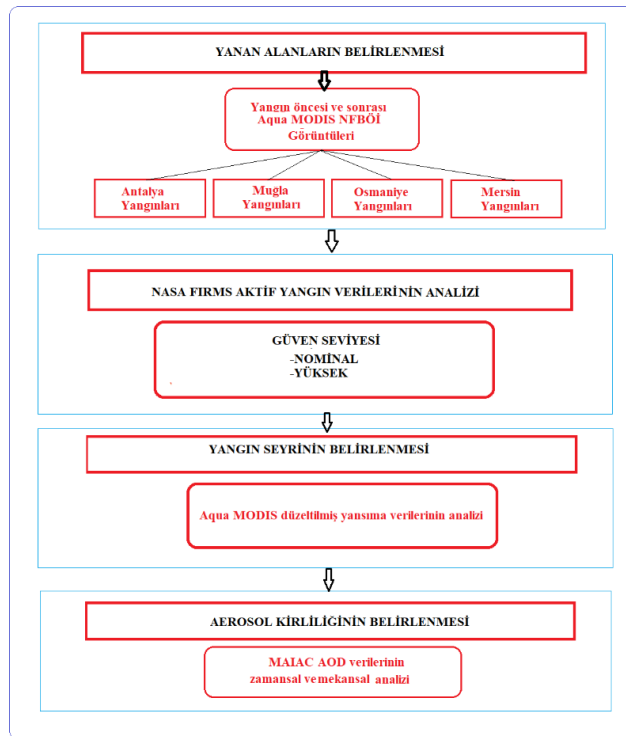
4.1. AQUA MODIS NFBÖİ verileri yardımıyla yanan alanların belirlenmesi

Yanan alanların tam olarak belirlenebilmesi için Aqua uydusuna bağlı MODIS sensöründen 250 m mekansal çözünürlükte yangın öncesi ve sonrası (20 Temmuz - 21 Ağustos 2021) dönemi kapsayacak şekilde elde edilen NFBÖİ verileri arasında meydana gelen bitki örtüsü indeksi değişimlerine bağlı piksel sayıları belirlenerek yanan alanlar hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında sırasıyla Ege ve Akdeniz Bölgeleri'nde gerçekleşen büyük yangınların alanları belirlenmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan verilere ait bilgiler

Table 1. Datasets used in this study

Veri	Mekansal ve Zamansal Çözünürlük	Kaynak
NASA FIRMS Aktif Yangın verileri	375 m, günlük	https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov
Aqua MODIS NFBÖİ (C6.1 MYD13Q1)	250 m, 16 günlük	https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears/
Aqua MODIS düzeltilmiş yansımaya verileri (7-2-1 bantları kullanılarak)	250 m, günlük	https://worldview.earthdata.nasa.gov/
MAIAC AOD (C6 MCD19A2)	1 km, günlük	https://search.earthdata.nasa.gov/search



Şekil 1. Çalışmada kullanılan işlem basamakları

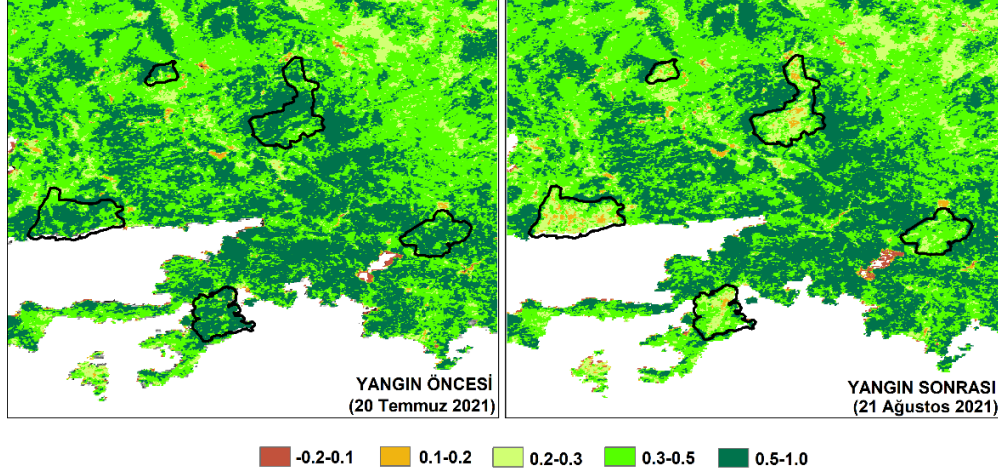
Figure 1. Flowchart of this study

Şekil 2'de Ege Bölgesi'nde Muğla'ya bağlı olan Yatağan, Milas, Köyceğiz ve Marmaris bölgelerinde oluşan yangınlar sonucu zarar

gören 5 farklı yangın için yanan alanlar ve yanan alanlara ait bitki örtüsü indeksi değişimleri gösterilmektedir. Şekilde aynı zamanda yanan

alanların temsili sınırları görülmektedir. Haritalarda gösterilen alan sınırları temsili olup manuel olarak sayısallaştırılarak yanan alanları

vurgulamak için çizilmiştir ve içinde yanmamış pikseller de mevcuttur.



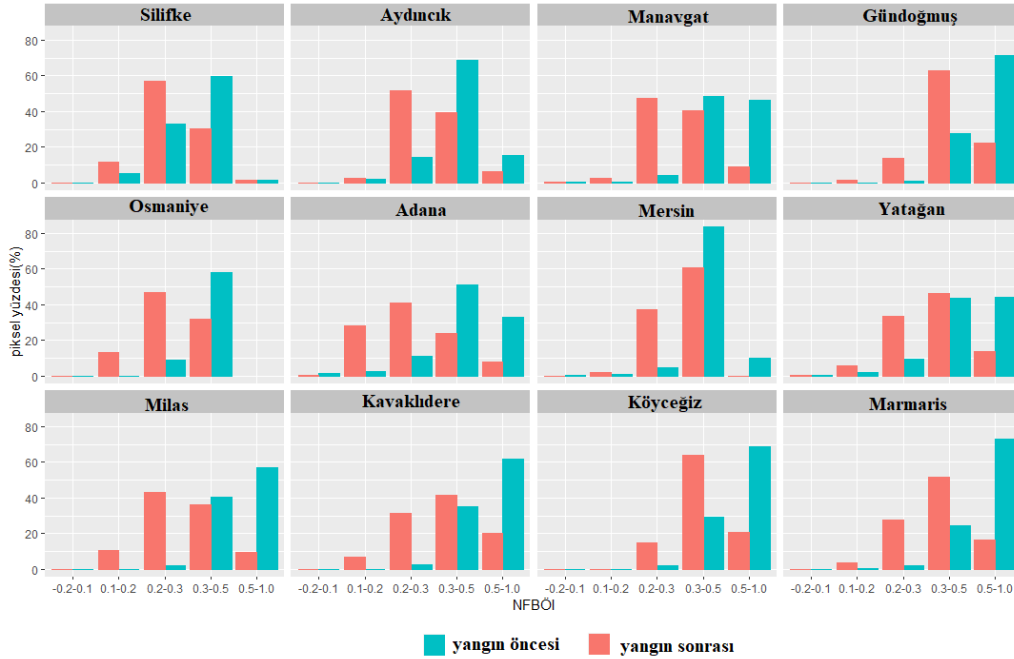
Şekil 2. Ege Bölgesi'nde yanan alanlarda meydana gelen NFBÖİ değişimi (Kahverengi pikseller su kütlelerini göstermektedir.)

Figure 2. NDVI variations of burned areas in the Aegean region (Brown pixels indicate water bodies.)

Şekil 3'te çalışma kapsamında değerlendirilen tüm yanan alanlarda meydana gelen NFBÖİ değişimleri gösterilmektedir. Ege Bölgesi'nde gerçekleşen yangınlarda özellikle yoğun bitki örtüsü sınıfını işaret eden (0,5-1,0) NFBÖİ aralığında yer alan piksellerde büyük oranda azalmalar görülmüştür. En büyük fark Marmaris'te gözlemlenmiştir. Yangın öncesi Marmaris'te yer alan piksellerin %73'ü yoğun bitki örtüsüne sahipken bu oran yangın sonrası %17'ye düşmüştür. Yanan pikseller özellikle Yatağan, Milas ve Kavaklıdere bölgelerinde kısmen bitki örtüsü olan sınıfa ($0,2 < \text{NFBÖİ} < 0,3$) dönüşmüştür.

Bölgede 28 Temmuz-12 Ağustos döneminde yanmış toplam alan ise yaklaşık 57.873 ha olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar EFFIS verileri ile karşılaştırıldığında yanan alanların oldukça benzer değerlerde hesaplandığı belirlenmiştir. EFFIS'e göre Muğla'da gerçekleşen 5 adet yangında toplam 55.528 ha alan zarar görmüştür. Çalışmanın sonuçlarına göre; Ege Bölgesi'nde en büyük hasar yaklaşık 17.056 ha ile Milas-Bodrum bölgesinde

gerçekleşmiştir. EFFIS'e göre bu değer yaklaşık 16.157 ha olarak belirlenmiştir. Bodrum'dan sonra en büyük hasar alan bölge yaklaşık 15.162 ha alan ile Kavaklıdere-Yatağan bölgesi olmuştur. EFFIS'e göre ise Kavaklıdere-Yatağan mevkinde gerçekleşen yangın sonucu oluşan yanan alan ise yaklaşık 15.332 ha'dır. Şekil 2'nin sol üst köşesinde görülen Çine-Yatağan bölgesinde yer alan bölge, 6-8 Ağustos 2021 tarihlerinde 1.731 ha ile çalışma kapsamında değerlendirilen alanlar içinde en az yanan bölgedir. Geriye kalan Marmaris ve Köyceğiz bölgelerinde yanan toplam alan yaklaşık 23.924 ha olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonuçlarına paralel olarak EFFIS'e göre de en düşük kayıp 2.135 ha'lık bir alan ile Çine-Yatağan bölgesinde meydana gelmiştir. Köyceğiz ve Marmaris'te meydana gelen toplam kayıp ise bu çalışmanın sonuçlarına benzer olarak 21.914 ha olarak belirlenmiştir. Kavzoğlu vd. [16] tarafından Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak yapılan çalışmada Bodrum'da 12.283 ha ve Marmaris'te de 10.234 ha'lık bir alanın yandığı belirlenmiştir.



Şekil 3. Yanan alanlarda NFBÖİ değer aralıklarında meydana gelen değişiklikler

Figure 3. Variations in the NDVI values over the burned areas

Şekil 4'te ise Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleşen yangınlara ilişkin yanan alanlar ve NFBÖİ değerleri gösterilmektedir. Bu bölgede ise Antalya, Mersin, Adana ve Osmaniye'de gerçekleşen 7 farklı yangına ait yanan toplam alanlar belirlenmiştir. Özellikle Antalya bölgesinde yangın öncesi dönemde yoğun bitki örtüsüne sahip alanlar yer almaktadır. Yangın öncesinde Gündoğmuş'da yer alan alanın %70'i, Manavgat'ın da önemli bir kısmı (%47) yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarla kaplıdır. Mersin, Adana ve Osmaniye'de yangının gerçekleştiği alanların çok büyük bir kısmı (%50'den fazla) yangın öncesinde orta derecede bitki örtüsü yoğunluğuna sahiptir (Şekil 3). Manavgat'ta gerçekleşen yangının çok şiddetli olmasından dolayı yangın sonrasında kuzeyli rüzgarların da baskın olması sebebiyle yangın sonrası dönemde özellikle alanın güney ve orta bölümlerinde NFBÖİ kısmen bitki örtüsüne sahip yüzeyleri işaret etmektedir. Gündoğmuş bölgesinde gerçekleşen yangında yangın sonrası %62'lik bir alan bir alt NFBÖİ sınıfına düşerek orta derecede bitki ile kaplı alanlara dönüşmüştür. Mersin'de gerçekleşen yangınlar sonucunda alanların büyük bir kısmı kısmen bitki örtüsü kaplı yüzeylere dönüşmüştür. Adana ve Osmaniye'de

de benzer bir durum oluşmuştur, fakat Adana ve Osmaniye'de yangın sonrası yanan alanların büyük bir kısmen bitki örtüsü olmayan yüzeylere dönüşmüştür. Bu yüzeylerin yer yer Manavgat bölgesinde de olduğu görülmektedir (Şekil 3).

Yapılan analizler sonucunda Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleşen 8 farklı yangında toplam 88.556 ha'lık bir alan zarar görmüştür. En büyük tahribat 71.106 ha ile Antalya il sınırları içinde gerçekleşmiştir. EFFIS verilerine göre de yangınlar sonucunda bölgede toplam 92.633 ha'lık bir alan yanmıştır. Bunun 70.629 ha'lık bir kısmı Antalya'da gerçekleşmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre Antalya'da yanan 71.106 ha'lık alanın çok büyük bir kısmı (52.856 ha) Manavgat'ta kaybedilmiştir. Bilgili vd. [43] tarafından yapılan bir çalışmada da Manavgat'ta yaklaşık 55.000 ha'lık bir alanın orman yangınlarından etkilendiği belirtilmiştir. Manavgat, Bodrum ve Marmaris'te gerçekleşen yangınları dikkate alan Sentinel-2 verileri yardımıyla yanan alanları hesaplayan bir başka çalışmanın sonuçlarına göre ise; Manavgat'ta 47.824 ha alan kaybedildiği belirlenmiştir [16]. Akkuş vd. [44] tarafından dNBR kullanılarak iki

farklı uydu verisi (Sentinel-2 ve Landsat 8) ile yapılan çalışmada yapılan analizler sonucunda Manavgat'ta Landsat 8 uydu verisiyle 52 bin hektarlık; Sentinel-2 uydu verisiyle ise 50 bin hektarlık alanın yandığı tespit edilmiştir. Çalışmada, Mersin'de yaklaşık 10.075 ha'lık bir alanın yandığı hesaplanmıştır. Adana ve Osmaniye'de toplam yanan alanlar yaklaşık olarak toplam 8.375 ha kadardır. EFFIS'e göre ise; Mersin'de 14.408 ha, Adana ve Osmaniye'de toplam 7.500 ha'lık bir alanın tahrip olduğu belirlenmiştir.

Ege ve Akdeniz Bölgeleri için hesaplanan yanan alan değerleri ve EFFIS karşılaştırmaları Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca Muğla Orman Müdürlüğü tarafından hazırlanan 2021 Orman Yangınları Değerlendirme Raporu'nda Muğla'da yanan alanlara ilişkin alan bazlı değerlendirmeler verilmiştir. Bu rapora göre; Yatağan, Milas, Köyceğiz ve Marmaris için sırasıyla 3.447 ha, 13.196 ha, 10.745 ha ve 9.102 ha'lık alanların yandığı belirlenmiştir [45]. Çalışmanın sonuçları Orman Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen alanlara yakın değerdedir. Sonuçlar, Bilgiç vd. [27] tarafından benzer alanlar için Sentinel-2 dNBR verileri ile gerçekleştirilen yanan alan analizleri ile de uyumludur. Çalışmada,

Yatağan'da 1.887 ha, Kavaklıdere'de 14.254 ha, Milas'ta 16.753 ha, Köyceğiz'de 7.933 ha, Marmaris'te ise 11.553 ha alan yandığı belirlenmiştir. Manavgat'ta 51.554 ha, Alanya Gündoğmuş'ta ise 14.432 ha'lık bir alan yanmıştır. Mersin'de ise 13.642 ha'lık bir alan yandığı belirlenmiştir.

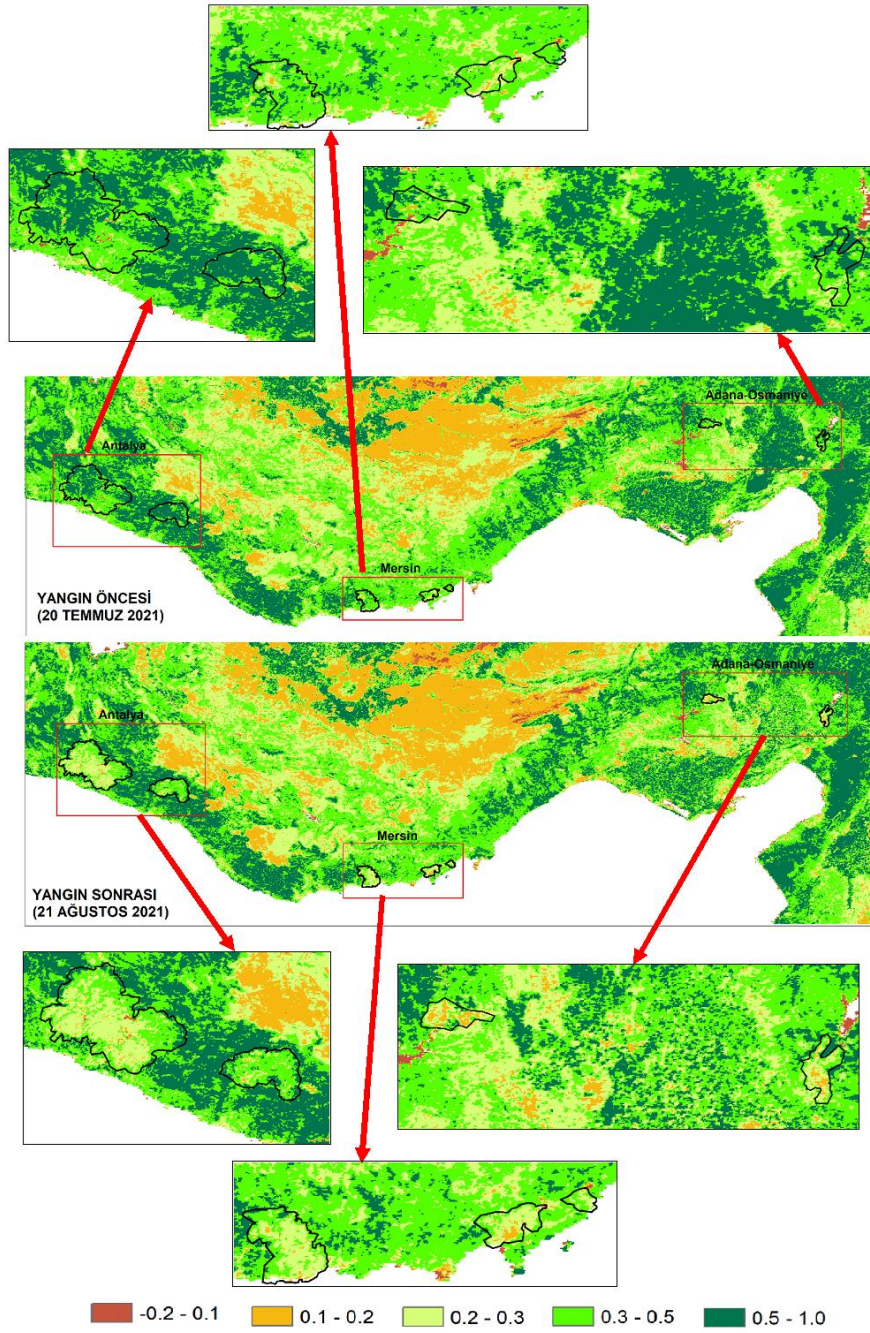
Sonuç olarak, bölgede NFBÖİ verileri yardımıyla yapılan yanan alan analizlerinin liteartürde yapılan çalışmalarla ve EFFIS sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüş ve çalışmada geliştirilen yöntemle yanan alanların tespit edilebileceği belirlenmiştir.

Çalışmada ayrıca Şekil 5'te kümülatif olarak gösterilen aktif yangın verileri değerlendirilip NFBÖİ verileri ile belirlenen yanan alanların içinde yer alan aktif yangın piksel sayıları belirlenmiş ve yanan alanlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aktif yangın piksel sayıları ile hesaplanan yanan alanlar arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ege Bölgesi'nde en çok aktif yangın pikselinin görüldüğü bölge 703 pikselle Milas olurken, bu sayı Manavgat için 2408 olarak belirlenmiştir. Ayrıca noktaların yoğunlaştığı bölgelerin NFBÖİ ile belirlenen alanlar ile çok büyük bir oranda örtüştüğü görülmektedir.

Tablo 2. Yanan alanlar ve yangınlara ilişkin bilgiler

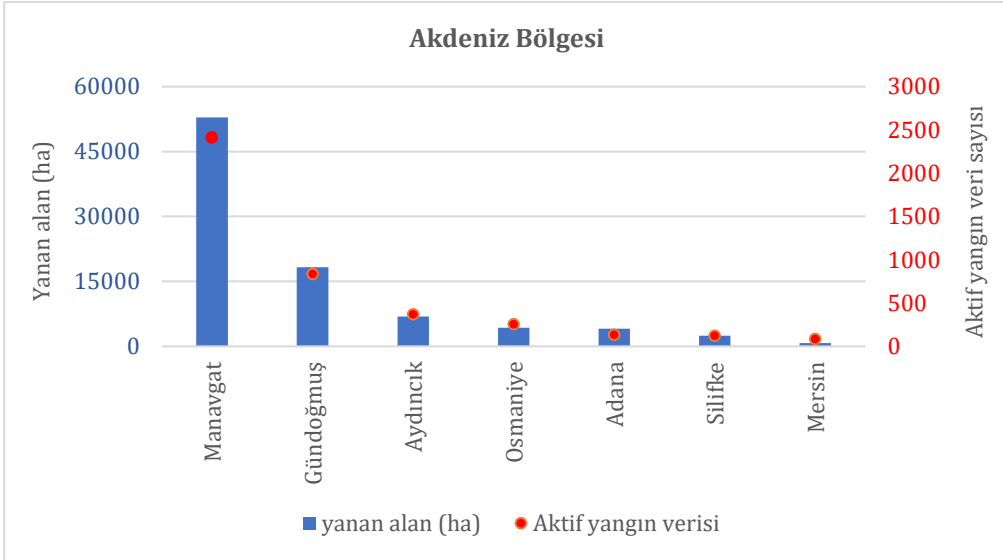
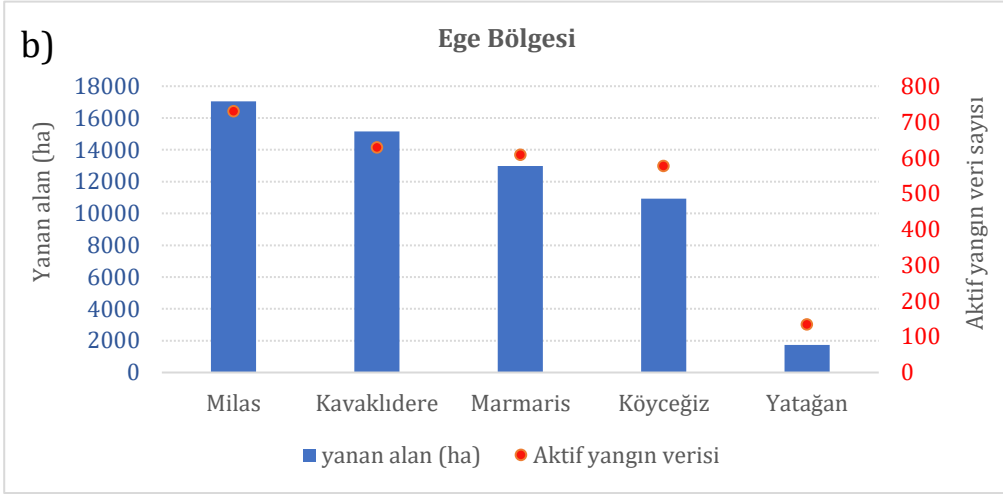
Table 2. Information on forest fires and burned areas

Bölge	İl	İlçe	Başlangıç tarihi	Bitiş tarihi	EFFIS (ha)	Bu çalışma (ha)
Ege	Muğla	Yatağan	06/08/2021	08/08/2021	2.135	1.731
Ege	Muğla	Kavaklıdere	02/08/2021	08/08/2021	15.322	15.162
Ege	Muğla	Milas	31/07/2021	08/08/2021	16.157	17.056
Ege	Muğla	Köyceğiz	29/07/2021	12/08/2021	10.366	10.937
Ege	Muğla	Marmaris	29/07/2021	05/08/2021	11.548	11.548
Akdeniz	Antalya	Manavgat	28/07/2021	07/08/2021	54.769	52.856
Akdeniz	Antalya	Gündoğmuş	29/07/2021	10/08/2021	15.860	18.250
Akdeniz	Mersin	Aydıncık	28/07/2021	01/08/2021	7.795	6.862
Akdeniz	Mersin	Silifke	28/07/2021	01/08/2021	3.302	2.481
Akdeniz	Mersin	Mersin	29/07/2021	31/08/2021	901	731
Akdeniz	Adana	Aladağ-Kozan	28/07/2021	31/07/2021	3.604	4.043
Akdeniz	Osmaniye	Kadirli	28/07/2021	30/07/2021	3.992	4.331



Şekil 4. Akdeniz Bölgesi'nde yanan alanlarda meydana gelen NFBÖİ değişimi (Kahverengi pikseller su kütlelerini göstermektedir.)

Figure 4. NDVI variations of burned areas in the Aegean region (Brown pixels indicate water bodies.)



Şekil 5. VIIRS FIRMS verilerinin 27 Temmuz-13 Ağustos dönemi için kümülatif mekansal dağılımı (Her bir yeşil nokta VIIRS sensörü ile elde edilen aktif yangın verisini göstermektedir) (a) yanan alanlar ile yangın piksel sayılarının ilişkilendirilmesi (b)

Figure 5. The cumulative spatial distribution of VIIRS FIRMS data for the period of July 27 to August 13 (each green dot represents active fire data obtained with the VIIRS sensor) (a) association of burned areas with the number of fire pixels (b)

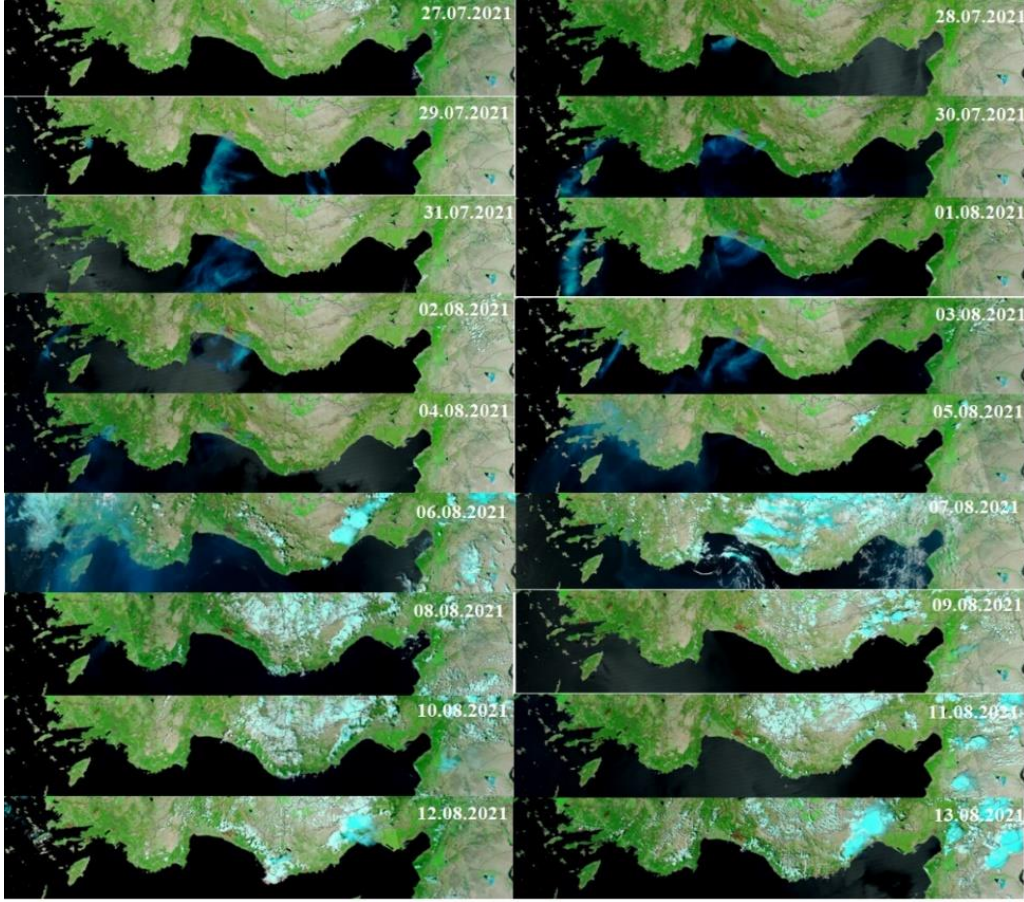
4.2. Yangın seyrinin ve yangınlardan kaynaklanan atmosferik aerosollerin uydu verileri ile incelenmesi

Öncelikle yangın seyrinin günlük takibi için Aqua-MODIS 7-2-1 bantları ile elde edilen düzeltilmiş yansıma verileri kullanılarak yangın ilerleyişi gün gün izlenmiş ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu veriler aynı zamanda AOD verilerinde gözlenen veri boşluklarını da açıklayıcı niteliktedir. Yangının seyrini uydu görüntüleri üzerindeki duman hareketleriyle dahi izlemek mümkündür. Uydu görüntülerinde kara parçaları ve bitki örtüsüne sahip olan bölgeler sırasıyla bej ve yeşil renk ile görülmektedir. Deniz yüzeyleri karanlık görülmekte olup yoğun sis ve duman mavi renk ile görülmektedir. 27 Temmuz da dahil olmak üzere orman yangınının başladığı 28 Temmuz ve sonrasında 6 Ağustos'a kadar olan dönemde hava açık olup uyduların görüntü almasına engel olabilecek herhangi bir bulutluluk mevcut değildir. Bulutluluk 6 Ağustos tarihinde başlayıp 13 Ağustos'a kadar mevcuttur. Tablo 2'de verilen bilgilere paralel olarak yangının 28 Temmuz tarihinde Manavgat'ın batısında başladığı görülmektedir. Aynı bölgede çıkan orman yangını dumanlarının hakim rüzgar yönü etkisi ile güney-batı istikametinde deniz üzerine doğru dağıldığı görülmüştür. 29 Temmuz'da yangın kuzeye doğru ilerlemiş ve Manavgat'ın çok büyük bir kısmı yangın etkisi altında kalmıştır. 29 Temmuz'da aynı zamanda Mersin'de yer alan yangınların başladığı görülmektedir. Gündoğmuş yangınının her ne kadar 29 Temmuz'da başladığı bilinse de yangın tam olarak 30 Temmuz tarihinde hız kazanmış ve belirgin hale gelmiştir. Bu tarihte duman tabakasının Gündoğmuş üzerinde ne kadar yoğun olduğu Şekil 6'da açıkça görülmektedir. 30 Temmuz'dan itibaren Manavgat, Gündoğmuş ve Mersin birlikte yanmaktadır. Eş zamanlı Adana'da Kozan ve Aladağ bölgelerini kapsayan yangınlar devam etmektedir. Aynı gün Muğla'nın Marmaris ve Bodrum ilçelerinde de yeni yangınlar başlamıştır. Fakat 31 Temmuz'da Mersin'de meydana gelen yangınların etkisini kaybettiği belirlenmiştir. 31 Temmuz'da Bodrum'un Mazı mahallesinde yeni bir yangın başlamıştır. Aynı gün Marmaris yangını güneye İçmeler tarafına doğru ilerlerken Antalya ve Mersin yangınları ise devam etmiştir. 29 Temmuz'da başlayan Adana ve Osmaniye yangınları 31 Temmuz'da sönmüştür. Ağustos itibari ile Antalya yangınlarına ek olarak

Muğla'da da yangınların başladığı görülmektedir. Muğla-Köyceğiz ve Antalya yangınları ise aynı anda devam etmektedir.

Verilere göre özellikle her iki bölgedeki yangınlarla birlikte 1-5 Ağustos tarihleri arasında yangın bölgelerinde ve Akdeniz üzerinde yoğun bir duman tabakası görülmektedir. Bu dönem boyunca rüzgarın kuzeyden esmesi fön etkisi yaratmış ve nemi çok fazla düşürmüştür ve yangınları şiddetlendirmiştir. Yüksek sıcaklık, kuzeyden gelen rüzgar ve düşük bağıl nem orman yangınlarının ilerleyişi için elverişli koşulları oluşturmuştur [39]. Antalya'da meydana gelen yangınlar etkilerini 5 Ağustos'tan sonra kaybetmektedir ve bölgede bulutlar oluşmaya başlamaktadır. 7 Ağustos'ta Antalya'daki yangınların Şekil 6'da da görüldüğü üzere yoğun bulut varlığı şeklinde kendini gösteren yağışın oluşmasıyla etkisini kaybetmeye başladığı belirlenmiştir. 1 Ağustos'ta Muğla'da görülmeye başlanan yangınlar 5-6 Ağustos'ta daha büyük bir alana yayılmış, daha sonraki dönemde etkisini kaybetmeye başlamıştır. Muğla yangınları 8 Ağustos tarihinde de devam etmiştir. 9 ve 10 Ağustos'ta ise Muğla-Milas ve Köyceğiz yangınları etkisini sürdürmeye devam etmiştir. 11 Ağustos'ta Muğla Milas ve Bodrum yangınları sönmüştür. Yangın Muğla'da sadece Köyceğiz'de devam etmiştir. 12 Ağustos'ta Köyceğiz yangını da sona ermiştir. Tarım ve Orman Bakanlığı'nın yaptığı açıklamaya göre büyük orman yangınlarının tamamının söndürüldüğü gün 12 Ağustos 2021 olarak duyurulmuştur. 13 Ağustos tarihinden sonra ilgili bölgelerde yeni bir yangın meydana gelmemiştir.

Orman yangınları sırasında oluşan dumanlar sadece oluştukları bölgeyi değil, uzun vadede daha uzak bölgelerin de hava kalitesini ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. Bölgede yangınlar sırasında meydana gelen atmosferik aerosollerin belirlenebilmesi için 1 km mekansal çözünürlüğe sahip MAIAC AOD verileri günler bazında analiz edilmiş ve Şekil 7'de bir arada gösterilmiştir. AOD değeri 0-0,2 aralığında temiz bir atmosferi, 0,2-0,3 değer aralığında orta derecede aerosol varlığını, 0,3'ten büyük olması durumunda atmosferde ilave bir aerosol yükünün bulunduğunu, 0,5'ten büyük ise oldukça yoğun aerosol varlığını işaret etmektedir. AOD değerinin 1,0'den büyük olması ise gökyüzünün çok puslu olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 6. Yangınların Aqua-MODIS düzeltilmiş yansımaya verileri ile günlük seyri

Figure 6. The daily progression of fires using Aqua-MODIS corrected reflectance data

Yoğun sis ve dumanın oluştuğu alanlarda AOD verisi üretilmesi sebebiyle genel olarak yangının tam olarak gerçekleştiği noktalar ve dumanın ilerlediği yönde Akdeniz üzerinde AOD verisi elde edilememiştir. Ayrıca sadece deniz üzerinde veri üretilmesi durumunda da Akdeniz ve Ege üzerinde boş pikseller görülmüştür. Daha önce gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda bölgenin ortalama AOD seviyesinin yaz aylarında 0,1-0,2 aralığında olduğu bilinmektedir [31, 46-47]. Bu değerlerin nemin çok yüksek olduğu koşullarda veya bölgenin toz taşınımından etkilendiği dönemlerde 0,2-0,3 aralığında değiştiği bilinmektedir [46]. Yangının başladığı ilk gün olan 28 Temmuz'da bölgedeki AOD yükü bölgenin AOD seviyesini yansıtır durumdadır ve Akdeniz üzerinde veri alınmadığından yüksek pikseller yakalanamamıştır. Yangının yayılması ve daha

büyük bir alanın yanmaya başlamasıyla Manavgat'ın güneyinde çok yüksek aerosol yükünü ifade eden 1'e yakın değerlerin oluştuğu, bu değerlerin Akdeniz kıyılarında ise 1,5'in üzerinde olduğu görülmüştür. 29 Temmuz'da Mersin, Adana ve Osmaniye yangınlarının da başlamasıyla yanan alanların üzerinde ve kuzeyli rüzgarlar etkisiyle Mersin'in kıyı bölgelerinde 0,4-0,8 arasında değişkenlik gösteren yüksek AOD değerleri görülmüştür. 30 Temmuz tarihinde 0,8 değerine varan pikseller özellikle Adana'da meydana gelen yangında oldukça görünür durumdadır. 30 Temmuz'dan itibaren Muğla'da yüksek AOD değerleri görülmeye başlamıştır. Bu etki 30 Temmuz'dan itibaren kuzeyli rüzgarlar etkisiyle Rodos adası üzerinde de görülmüştür. 30 Temmuz'da Manavgat'ta 1 ve üzerinde AOD değerleri izlenmiştir. Gündoğmuş'da başlayan yangın etkisiyle o

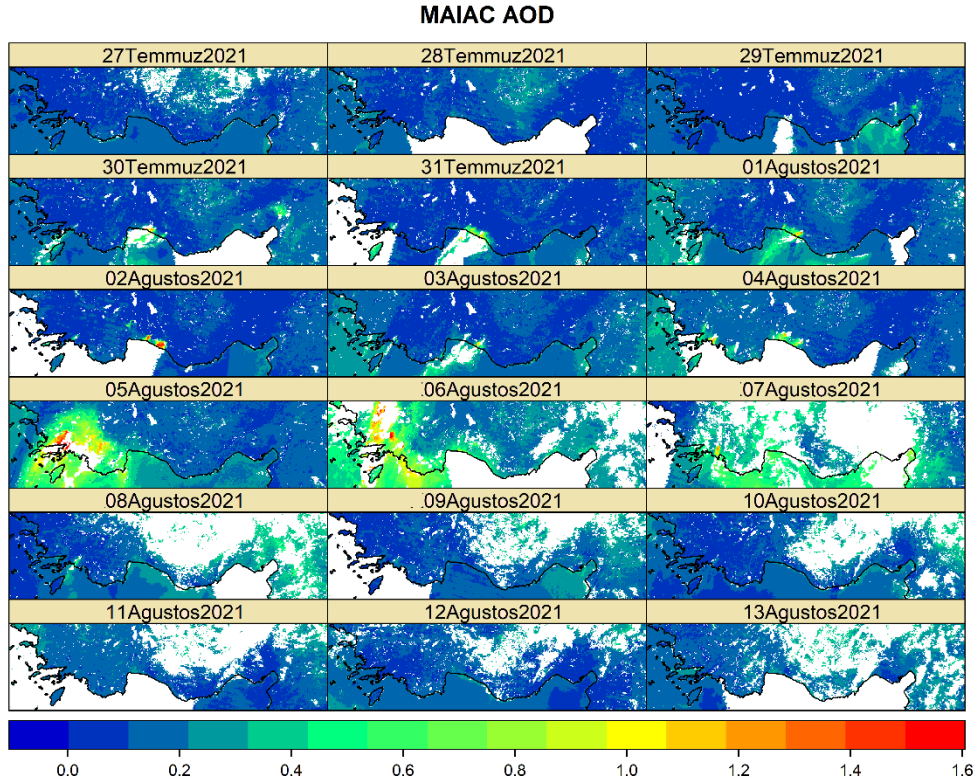
bölgede de 0,8-1,0 aralığında AOD değerleri gözlemlenmiştir. Özellikle boşlukların çok yoğun olmadığı yerlerde yoğun kirlilik yükleri oldukça net görülebilmektedir.

1 Ağustos'ta AOD seviyeleri Antalya'da 1,0-1,5 aralığında değişkenlik göstermektedir. Gündoğmuş'ta 1,5 değerini aşan AOD değerleri tespit edilmiştir. Özellikle 2 Ağustos tarihinde her iki yanan bölgenin de güney batısında 1,5-2,0 seviyelerinde AOD değerleri izlenmiş olup bu değerlerin bazı noktalarda 2'ye yaklaştığı da görülmüştür. 1 Ağustos'ta deniz üzerinde AOD verisi üretilmesi ile birlikte Ege Denizi üzerinde de 0,6 değerlerine varan pikseller oluştuğu belirlenmiştir. Bu eğilim 1-4 Ağustos tarihlerinde benzer bir mekansal dağılım göstermiştir. Yangının ilerleyişine bağlı olarak 3 Ağustos'ta 0,5-1,0 arasında değişen yüksek AOD değerlerinin Gündoğmuş'un güney batısında ve Akdeniz üzerinde oluştuğu belirlenmiştir. 4 Ağustos'ta her iki alanda da 1'in üzerine çıkan yüksek değerlerin olduğu görülmüştür. 5 Ağustos'ta yüksek değerlerde azalma olduğu ancak 0,5'e varan değerlerin sadece Akdeniz üzerinde oluştuğu tespit edilmiştir. 6 Ağustos'ta yanan alanların üzerinde 0,3-0,5 aralığında değişen AOD değerleri görülmüştür. 5 Ağustos'a göre 6 Ağustos'ta daha yüksek gözlemlenen AOD değerlerinin, aynı zamanda bölgenin yağışlı bir hava akımı etkisi altına girmeye başlamasıyla bölgede artış gösteren nem miktarından etkilendiği düşünülmektedir.

5-6 Ağustos'ta Muğla'da tüm yangınların başlamış olmasının ve mevcut yangınların da

şiddetini arttırmasıyla birlikte yangınların olduğu bölgelere ek olarak Ege Denizi ve Akdeniz üzerinde de 1,5 değerinin üzerinde AOD değerleri oluşmuştur. Bu değerler bölgenin mevcut aerosol yükünün 5-6 kat üzerinde bir aerosol varlığının oluştuğunu göstermektedir. 7 Ağustos'ta da Muğla bölgesinde yüksek AOD eğilimleri mevcuttur. Bulutluluğun artmasıyla özellikle Akdeniz bölgesinde veri almak oldukça zorlaşmıştır. Antalya için bölgede yoğun bulut oluşumu ve yağış varlığı ile sağlıklı veri temini sağlanamamıştır fakat hala ortalama seviyelerin bir miktar üzerinde (0,4-0,5) AOD değerlerinin Akdeniz üzerinde mevcut olduğu görülmüştür. 8 Ağustos için elde edilen AOD dağılımında yağışın da etkisiyle bölgede AOD seviyelerinin bölge ortalaması seviyelerine düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle 8 Ağustos tarihinden itibaren yer yer hala yüksek pikseller gözlemlense de 9-13 Ağustos tarihleri arasında her iki bölgenin de aerosol yükünün bölge ortalamalarına (0,2-0,3) düştüğü belirlenmiştir.

Yin vd. [33] tarafından Endonezya'da meydana gelen yangınlar için gerçekleştirilen çalışmada AOD verilerinin yangın sırasında 1'in üzerinde değerler aldığı görülmüştür. Eko Cahyono vd. [34] tarafından Endonezya'da gerçekleştirilen diğer bir çalışmada normalde 0,2-0,3 aralığında olan AOD verilerinin yangın esnasında 0,6 değerlerini aştığı ve 1 değerine yaklaştığı belirlenmiştir. Zielinski vd. [35] tarafından Doğu Avrupa yangınları için gerçekleştirilen çalışmada da AOD seviyelerinin 0,6-0,7 değerlerine ulaştığı ve zaman zaman 0,7 değerinin üzerine ulaştığı belirtilmiştir.



Şekil 7. 27 Temmuz – 13 Ağustos 2021 tarihleri arasında AOD verilerinin zamansal ve mekansal değişimi (beyaz alanlar veri olmayan pikselleri göstermektedir)

Figure 7. Temporal and spatial variation of AOD data between July 27th and August 13th, 2021 (white areas indicate no data pixels)

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, 28 Temmuz-12 Ağustos 2021 tarihleri arasında Türkiye’de Ege ve Akdeniz kıyı bölgelerinde yaşanan orman yangınlarında yanan alanlar farklı uydu tabanlı veriler kullanılarak belirlenmeye çalışılmış ve yangınların günlük seyri ve yangınların sebep olduğu aerosol yükleri detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Uydu teknolojileri her çalışmaya uygun farklı zamansal ve mekansal çözünürlükte veri temini sağlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan veri setlerinin mekansal çözünürlüğü olabildiğince yakın seçilmiştir. Orman yangınları ile yapılan çalışmalar için mekansal çözünürlük oldukça önemlidir. Verilerin mekansal çözünürlüğü yanan alanların doğruluğunu özellikle yanan alanın büyüklüğüne bağlı olarak etkileyebilmektedir [48,49]. Özellikle küçük yangınlar için kullanılan verilerin mekansal çözünürlüğü düşük kalabilmektedir. Katagis vd.

[49] tarafından Akdeniz ekosistemi için Sentinel-2 (30 m), MODIS (250 m) ve VIIRS (375 m) yanan alan verileri kullanılarak yapılan çalışmada 10 ha’dan küçük olan yangınlarda MODIS ve VIIRS verilerinin belirsizliğinin daha büyük olduğu, 100 ha ve üzeri yangınlarda verilerin düşük mekansal çözünürlüklü verilere yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, ilk olarak yanan alanların ve yangın seyrinin belirlenmesi için kullanılan veri setleri (NFBÖİ ve düzeltilmiş yansımalar verileri) 250 m mekansal çözünürlükte değerlendirilmiştir. VIIRS aktif yangın verileri ise günlük olarak 375 m mekansal çözünürlükte temin edilmiştir. VIIRS 375 m noktasal aktif yangın verisi zamansal ve mekansal çözünürlükte daha yüksek duyarlılığa sahip olup tespit edilmesi zor yangınları yakalamak

konusunda avantajları bulunmaktadır [48]. Ayrıca, orman yangını çalışmalarında kullanımı kolay, zamansal ve mekansal çözünürlüğü yüksek veriler tercih edildiği için bu konuda kullanım kolaylığı sağlamak ve çokça tercih edilmektedir [2].

Daha sonra AOD ürünü olarak 1 km mekansal çözünürlüklü Terra ve Aqua uydularına bağlı MODIS enstrümanı ile üretilen MAIAC AOD veri seti kullanılmış olup mekansal analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda hesaplanan yanan alan miktarlarının liteartürde yapılan çalışmalar, EFFIS verileri ve Muğla için belirlenen Orman Genel Müdürlüğü verileri ile uyumlu olduğu ve geliştirilen yöntemin EFFIS'e alternatif olarak yanan alanların tespitinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Her iki veri seti (MODIS NFBÖİ ve VIIRS aktif yangın verileri) birlikte kullanıldığında yangınların devam ettiği süre boyunca kümülatif yanan alanların tespiti sağlanabilmektedir. Çalışmada aynı zamanda yanan alanlarda bitki örtüsü indekslerinde meydana gelen değişimler de ortaya konabilmektedir. Ayrıca Aqua MODIS anlık uydu görüntüleri ile yangınların günlük seyri de belirlenmiş böylece bölgede meydana gelen yangın gün gün tespit edilebilmiştir. Özel spektral bantlar kullanan bu veri seti ile yangın seyrinin ve yanan alanların oldukça net bir şekilde izlenebildiği belirlenmiştir. AOD verileri yardımıyla çalışma alanı içinde oluşan aerosol yükleri analiz edildiğinde, bölgede yangın seyrine ve şiddeti ile uyumlu AOD değerleri elde edildiği, bölgenin özellikle 30 Temmuz'da Manavgat yangınına ek olarak başlayan Gündoğmuş yangını ile birlikte yoğun aerosol yüküne maruz kaldığı, bu yükün zaman zaman bölgenin ortalama aerosol yükünün yaklaşık 5 katına kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Aynı durum 5-6 Ağustos döneminde artan yanan alan miktarı ve şiddetlenen yangınlar sebebiyle Muğla'da da görülmüştür. Bölgenin aerosol yükünün çok üstünde ve ekstrem koşulları ifade eden 1'den yüksek AOD değerleri elde edilmiştir. Kuzeyli ve şiddetli rüzgarlar esmesi sebebiyle aerosol kirliliği yanan alanların tam üzerinde oluşmakla birlikte aynı zamanda Ege Denizi ve Akdeniz'i de oldukça yoğun bir şekilde etkilemiştir. Literatürde 2021 yazında Türkiye'de gerçekleşen yangınlar kapsamında yanan alanların farklı veri kaynakları kullanılarak hesaplandığı farklı çalışmalar bulunmaktadır [4,8,16,19, 20, 27]. Bu çalışmada farklı olarak yanan alanların belirlenmesinde Sentinel-2 dNBR veya NFBÖİ verisi yerine Aqua

MODIS NFBÖİ ve NASA FIRMS aktif yangın verileri birlikte kullanılarak bir yanan alan analizi gerçekleştirilmiş ayrıca yangınların bölge atmosferine getirdikleri aerosol yükleri AOD verileri yardımıyla belirlenmiştir. Bu dönemde meydana gelen yangınların bölge atmosferine getirdiği aerosol yükleri konusunda AOD verileri ile gerçekleştirilmiş bir çalışma ülkemizde henüz mevcut değildir.

MAIAC AOD verileri gerek kullandığı yeni algoritma gereği gerekse de yüksek mekansal çözünürlüklü AOD veri setlerinden birisi olması nedeniyle orman yangını çalışmalarında sıklıkla tercih edilmektedir [25, 50-51].

Bu çalışmada kullanılan veri kaynakları, yanan alanların belirlenmesi için kullanılan metodoloji ve yangının sebep olduğu aerosol kirliliğinin belirlenmesi için kullanılan veri seti gelecekte olası orman yangınları için gerçekleştirilecek benzer çalışmalara yol gösterebilecek niteliktedir.

5. Discussion and Conclusion

This study aimed to determine the extent of burned areas caused by forest fires in the coastal regions of the Aegean and Mediterranean in Turkey between July 28th and August 12th, 2021, using various satellite-based data. The daily progression of the fires and the variations in aerosol loadings they produced were also examined in detail. Satellite technologies provide relevant data with different temporal and spatial resolutions for each study, and the spatial resolution of the datasets used in this research was chosen to be as close as possible. Spatial resolution plays a crucial role in forest fire studies since it can impact the accuracy of burned area estimations, particularly for smaller fires. For instance, a previous study conducted on the Mediterranean ecosystem using burned area data from Sentinel-2 (30 m), MODIS (250 m), and VIIRS (375 m) found that the uncertainty of MODIS and VIIRS data was greater for fires smaller than 10 hectares. However, for forest fires larger than 100 hectares, the datasets provided results similar to those obtained using low spatial resolution data.

Initially, this study evaluated the suitability of NDVI and corrected reflectance data with a spatial resolution of 250 m to determine the burned areas and daily progression of the fires. The study also used daily VIIRS active fire data, which has a spatial resolution of 375 m and a higher sensitivity in both temporal and spatial

resolution. VIIRS 375 m point active fire data can capture difficult fires more effectively [48]. Moreover, forest fire studies prefer easily accessible data with high temporal and spatial resolution, and such data is widely used because of its ease of use [2].

The study utilized the MAIAC AOD data set, which was acquired from the MODIS instrument on Terra and Aqua satellites, with a 1-km spatial resolution. Spatial analysis was conducted and it was concluded that the developed method is a viable alternative to EFFIS in detecting burned areas. The combination of MODIS NDVI and VIIRS active fire data allowed for the detection of cumulative burned areas during forest fires, while changes in vegetation indices in burned areas were also determined. Aqua MODIS satellite images were used to monitor the daily progression of fires, and aerosol loadings in the study area were analyzed using AOD data. Results showed that the region was exposed to high aerosol loadings during the forest fires, with AOD values sometimes reaching up to approximately 5 times higher than the average aerosol loadings. A burned area analysis was performed using Aqua MODIS NDVI and NASA FIRMS active fire data, and aerosol loadings in the regional atmosphere were determined using AOD data. This study provides valuable insights into the impact of forest fires on aerosol pollution, which can significantly impact both the local and regional environment.

MAIAC AOD data, known for their new algorithm and high spatial resolution, are commonly used in forest fire studies [25, 50-51]. The study's data sources, methodology for determining burned areas, and data set for assessing aerosol pollution caused by forest fires can provide a valuable foundation for future studies on potential forest fires.

6. Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin temini konusunda National Aeronautics and Space Administration (NASA)'ya teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Oğuz, K., Oğuz, E., & Çamalan, G., 2021. İzmir-Tirazlı Orman Yangınına Uydu ve Model Verileri ile Analizi, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 4, 1-12.
- [2] Wooster, M.J., Roberts, G.J., Giglio, L., Roy, D., Freeborn, P., Boschetti, L., Justice, C., Ichoku, C., Schroeder, W., Davies, D., Smith, A., Setzer, A., Csiszar, I., Strydom, T., Frost, P., Zhang, T., Xu, W., de Jong, M., Johnston, J., Ellison, L., Vadrevu, K., McCarty, J., Tanpipat, V., Schmidt, C., San-Miguel, J., 2021. Satellite remote sensing of active fires: History and current status, applications and future requirements. *Remote Sensing of Environment*, 267, 112694, doi.org/10.1016/j.rse.2021.112694.
- [3] Leblon, B., Bourgeau-Chavez, L. San-Miguel-Ayanz, J., 2012. Use of Remote Sensing in Wildfire Management, Sustainable Development - Authoritative and Leading Edge Content for Environmental Management, IntechOpen, 602s.
- [4] Polat, N., Kaya, Y., 2021. Çok Bantlı Uydu Görüntüleriyle Orman Yangınları Hasar Tespiti. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 23,172-181, doi.10.24011/barofd.837507.
- [5] Xiao-rui, T., Mcrae, D.J., Li-fu, S., Ming-yu, W., Hong, L., 2005. Satellite remote-sensing technologies used in forest fire management. *Journal of Forestry Research*, 16, 73-78, doi.org/10.1007/bf02856861.
- [6] Giddey, B.L., Baard, J.A., Kraaij, T., 2022. Verification of the differenced Normalised Burn Ratio (dNBR) as an index of fire severity in Afrotropical Forest. *South African J. Bot.* <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.11.005>
- [7] Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten, W.W., Goossens, R., 2010. The temporal dimension of differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) fire/burn severity studies: The case of the large 2007 Peloponnese wildfires in Greece. *Remote Sens. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.05.029>
- [8] İban, M.C., Şahin, E., 2022. Monitoring burn severity and air pollutants in wildfire events using remote sensing data: the case of Mersin wildfires in summer 2021. *GUFBD / GUJS (2022) 12(2): 487-497*, DOI: 10.17714/gumusfenbil.1008242.
- [9] Tonbul, H., Colkesen, I., Kavzoglu, T., 2022. Pixel- and Object-Based ensemble learning for forest burn severity using USGS FIREMON and Mediterranean condition dNBRs in Aegean ecosystem (Turkey). *Adv. Sp. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.02.051>
- [10] Rimmel, T., K., Perrera, A. H., 2001. Fire mapping in a northern boreal forest: assessing AVHRR/NDVI methods of change detection. *Forest Ecology and Management* 152, 119-129.
- [11] Ba, R., Song, W., Lovallo, M., Zhang, H., Telesca, L., 2022. Informational analysis of MODIS NDVI and EVI time series of sites affected and unaffected by wildfires. *Physica A*, A604, 127911, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.127911>.
- [12] Gemitzi, A., Koutsias, N., 2022. A Google Earth Engine code to estimate properties of vegetation phenology in fire affected areas - A case study in North Evia wildfire event on August 2021. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100720>

- [13] Nolè, A., Rita, A., Spatola, M.F., Borghetti, M., 2022. Biogeographic variability in wildfire severity and post-fire vegetation recovery across the European forests via remote sensing-derived spectral metrics. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153807>
- [14] Shobha, L., Sachin, P., Abhijit, P., 2022. Detection of forest fire burn-area using landsat-8 and sentinel-2: a case study of Nivale (Kolhapur) beat of Chandoli National Park, Maharashtra, India. *Disaster Adv.* <https://doi.org/10.25303/1501da5360>
- [15] Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten, W.W., Goossens, R., 2011. Evaluation of pre/post-fire differenced spectral indices for assessing burn severity in a mediterranean environment with landsat thematic mapper. *Int. J. Remote Sens.* <https://doi.org/10.1080/01431161003752430>
- [16] Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Tonbul, H., Öztürk, M.Y., 2021. Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları, TÜBA Orman Yangınları Raporu, DOI: 10.53478/Tuba.2021.048.
- [17] Bar, S., Parida, B.R., Pandey, A.C., 2020. Landsat-8 and Sentinel-2 based Forest fire burn area mapping using machine learning algorithms on GEE cloud platform over Uttarakhand, Western Himalaya. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100324>
- [18] Ryu, J.H., Han, K.S., Hong, S., Park, N.W., Lee, Y.W., Cho, J., 2018. Satellite-Based Evaluation of the Post-Fire Recovery Process from the Worst Forest Fire Case in South Korea. *Remote Sens.* <https://doi.org/10.3390/rs10060918>
- [19] Sabuncu, A., Ozener, H., 2019. Uzaktan Algılama Teknikleri ile Yanmış Alanların Tespiti: İzmir Seferihisar Orman Yangını Örneği Detection of Burned Areas by Remote Sensing Techniques: İzmir Seferihisar Forest fire case study. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2): 317-326, DOI: 10.21324/dacd.511688.
- [20] Atun, R., Kalkan, K., Gürsoy, Ö., 2020. Determining The Forest Fire Risk with Sentinel 2 Images. *Turkish Journal of Geosciences*, 1, 21-25.
- [21] Çolak, E., Sunar, F., 2020. The importance of ground-truth and crowdsourcing data for the statistical and spatial analyses of the NASA FIRMS active fires in the Mediterranean Turkish forests. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19, 100327, doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100327.
- [22] Fu, Y., Li, R., Wang, X., Bergeron, Y., Valeria, O., Chavardès, R.D., Wang, Y., Hu, J., 2020. Fire detection and fire radiative power in forests and low-biomass lands in northeast Asia: MODIS versus VIIRS fire products. *Remote Sensing*, 12, 2870, doi.org/10.3390/rs12182870.
- [23] Iban, M.C., Sekertekin, A., 2022. Machine learning based wildfire susceptibility mapping using remotely sensed fire data and GIS: A case study of Adana and Mersin provinces, Turkey. *Ecological Informatics*, 69, 101647, <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101647>.
- [24] Çolak, E., Sunar, F., 2020. Evaluation of forest fire risk in the Mediterranean Turkish forests: A case study of Menderes region, Izmir. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101479>
- [25] Verma, S., Soni, M., Kumar, H., Payra, S., Mishra, M. K., Bhawar, R., 2022. Characterizing aerosols during forest fires over Uttarakhand region in India using multi-satellite remote sensing data. *Advances in Space Research* 70, 947-960, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.05.051>.
- [26] Yin, S., Wang, X., Guo, M., Santoso, H., Guan, H., 2020. The abnormal change of air quality and air pollutants induced by the forest fire in Sumatra and Borneo in 2015. *Atmos. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105027>
- [27] Bilgiç, E., Tuna Tuygun, G., Gündüz, O., 2021. Determination of Air Pollution from Wildfires with Satellite Observations. *International Symposium on Remote Sensing In Meteorology Meteo Irs 2021*, 1-3 Aralık, 2021, Istanbul, Türkiye. <https://polen.itu.edu.tr/items/f4db9d6b-be52-405b-a90c-aed801e6a7d1>.
- [28] Glantz, P., Freud, E., Johansson, C., Noone, K. J., Tesche, M., 2019. Trends in MODIS and AERONET derived aerosol optical thickness over Northern Europe, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 71, 1-20, <https://doi.org/10.1080/16000889.2018.1554414>.
- [29] Wei, J., Li, Z., Peng, Y., Sun, L., 2019. MODIS Collection 6.1 aerosol optical depth products over land and ocean: validation and comparison. *Atmos. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.004>
- [30] Filonchik, M., Hurynovich, V., Yan, H., 2020. Trends in aerosol optical properties over Eastern Europe based on MODIS-Aqua. *Geosci. Front.* <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.03.014>
- [31] Tuna Tuygun, G., Ozdemir, E., Elbir, T., 2020. Evaluation of MODIS C6 and C6.1 Dark Target AOD products over Turkey based on NDVI and aerosol type. *Atmospheric Pollution Research*, 11, 2335 - 2349, doi.org/10.1016/j.apr.2020.07.003.
- [32] Etehadı Osgouei, P., Roberts, G., Kaya, S., Bilal, M., Dash, J., Sertel, E., 2022. Evaluation and comparison of MODIS and VIIRS aerosol optical depth (AOD) products over regions in the Eastern Mediterranean and the Black Sea. *Atmos. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118784>
- [33] Yin, S., Wang, X., Guo, M., Santoso, H., & Guan, H., 2020. The abnormal change of air quality and air pollutants induced by the forest fire in Sumatra and Borneo in 2015. *Atmospheric Research*, 243(April), 105027. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105027>
- [34] Eko Cahyono, W., Setyawati, W., Hamdi, S., Cholianawati, N., Yudha Kombara, P., & Julian Sari, W., 2022. Observations of aerosol optical properties during tropical forest fires in Indonesia. *Materials Today: Proceedings*, 63, S445-S450. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.113>
- [35] Zielinski, T., Petelski, T., Strzalkowska, A., Pakszys, P., & Makuch, P., 2016. Impact of wild forest fires in Eastern Europe on aerosol composition and particle optical properties. *Oceanologia*, 58(1), 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2015.07.005>

- [36] EFFIS (European Forest Fire Information System), 2021. COPERNICUS Emergency Management Service, https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis_current_situation/. (Erişim Tarihi: 1 Ocak 2022).
- [37] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021. 2020 Türkiye Orman Varlığı, Ankara, 56 s.
- [38] OGM (Orman Genel Müdürlüğü), 2020. 2020 Yılı Ormanlık İstatistikleri, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>. (Erişim Tarihi: 15 Ocak 2022).
- [39] Holben, B., 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 7, 11, 1417-1434, DOI: 10.1080/01431168608948945
- [40] Bilal, M., Nazeer, M., Qiu, Z., Ding, X., & Wei, J., 2018. Global validation of MODIS C6 and C6.1 merged aerosol products over diverse vegetated surfaces. *Remote Sensing*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/rs10030475>
- [41] Bilal, M., Nazeer, M., Nichol, J., Qiu, Z., Wang, L., Bleiweiss, M. P., Shen, X., Campbell, J. R., & Lolli, S. (2019). Evaluation of terra-MODIS C6 and C6.1 aerosol products against Beijing, XiangHe, and Xinglong AERONET sites in China during 2004-2014. *Remote Sensing*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/rs11050486>
- [42] NASA (National Aeronautics and Space Administration), 2021. MODIS Land Team Home Page <https://modis-land.gsfc.nasa.gov/MAIAC.html>. (Erişim Tarihi: 15 Ocak 2022).
- [43] Bilgili, E., Küçük, Ö., Sağlam, B., Alperen, K., Coşkun, 2021. Büyük Orman Yangınları: Sebepleri, Organizasyonu ve İdaresi, TÜBA Orman Yangınları Raporu, DOI: 10.53478/TUBA.2021.039.
- [44] Akkuş, R., Seyrek, E.C., Uysal, M., 2021. Orman Yangınlarının Uzaktan Algılama ile İncelenmesi: 28 Temmuz 2021 Manavgat Orman Yangını Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi 1. Kocatepe Mühendislik Bilimleri Öğrenci Sempozyumu, Afyonkarahisar, Türkiye.
- [45] OGM (Orman Genel Müdürlüğü), 2021. Muğla Orman Bölge Müdürlüğü, 2021 Yılı Orman Yangınları Değerlendirme Raporu, Ankara, 55 sayfa. (Erişim Tarihi: 25 Temmuz 2022).
- [46] Shaheen, A., Wu, R., Aldabash, M., 2020. Long-term AOD trend assessment over the Eastern Mediterranean region: A comparative study including a new merged aerosol product. *Atmospheric Environment*, 238, 117736, doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117736.
- [47] Karshoğlu, S., Tezcan, E., Tuna Tuysun, G., Elbir, T., 2022. Türkiye'de Terra ve Aqua Modis Uydularından Elde Edilen Aerosol Optik Derinliğinin Değişimi. *DEUFMD*, 24, 303-316.
- [48] Oliva, P., & Schroeder, W., 2015. Assessment of VIIRS 375m active fire detection product for direct burned area mapping. *Remote Sensing of Environment*, 160(February), 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.010>
- [49] Katagis, T., Gitas, I. Z., 2021. Assessing the Accuracy of MODIS MCD64A1 C6 and FireCCI51 Burned Area Products in Mediterranean Ecosystems. *Remote Sensing* 14, 602. <https://doi.org/10.3390/rs14030602>.
- [50] Wei, X., Bai, K., Chang, N., Gao, W., 2021. Multi-source hierarchical data fusion for high-resolution AOD mapping in a forest fire event. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 102, 120366, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102366>.
- [51] Nguyen, H., M., Wooster, M., J., 2020. Advances in the estimation of high Spatio-temporal resolution pan-African top-down biomass burning emissions made using geostationary fire radiative power (FRP) and MAIAC aerosol optical depth (AOD) data. *Remote Sensing of Environment* 248, 111971, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111971>.