



## Türkiye’de Terra ve Aqua MODIS Uydularından Elde Edilen Aerosol Optik Derinliğinin Değişimi

### Variation of Aerosol Optical Depth from Terra and Aqua MODIS Satellites in Turkey

Selin Karşlıoğlu <sup>1</sup>, Elif Tezcan <sup>1</sup>, Gizem Tuna Tuygun <sup>1</sup>, Tolga Elbir <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE  
Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [tolga.elbir@deu.edu.tr](mailto:tolga.elbir@deu.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 12.06.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 26.07.2021

DOI:10.21205/deufmd.202247027

Atıf şekli/How to cite: KARSLIOĞLU,S.,TEZCAN,E.,TUNA TUYGUN,G.,ELBİR, T.(2022). Türkiye’de Terra ve Aqua MODIS Uydularından Elde Edilen Aerosol Optik Derinliğinin Değişimi.DEUFMD, 24(70), 303-316.

#### Öz

Atmosferik aerosollerin izlenmesi amacıyla uydular tarafından üretilen Aerosol Optik Derinliği (AOD) verisi kullanılmaktadır. Kısaca, belli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin atmosferdeki aerosoller nedeniyle azalması olarak tanımlanan bu parametreyi küresel ölçekte başarı ile üreten uyduların başında Terra ve Aqua uyduları gelmektedir. Her iki uydu sahip oldukları Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) isimli özel bir sensör ile yerküre üzerinde günlük AOD gözlemi yapmaktadır. Ancak, AOD tespitini zorlaştıran ve bölgelere göre değişkenlik gösteren çeşitli etmenler vardır. Bu çalışmada, Terra ve Aqua uydularının güncel MODIS veri koleksiyonundan (C6.1) iki farklı algoritma (Dark Target-DT ve Deep Blue-DB) kullanılarak üretilen AOD verilerinin Türkiye’deki değişimleri belirlenmiştir. Çalışmada DT algoritması ile üretilen iki farklı mekansal çözünürlüklü (3 km ve 10 km) ürün incelenirken DB algoritmasının sadece 10 km çözünürlüklü veri üretmesi nedeniyle tek ürün değerlendirilmiştir. Ülke genelinde mekansal değişimler irdelenirken normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NFBÖİ) verileri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre ülkemizde NFBÖİ değeri yüksek olan bölgelerde DT algoritmasının DB algoritmasına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Ülkemizde AOD verilerinin mevsimlere göre farklılık gösterdiği, genelde ilkbahar ve yaz aylarında daha büyük AOD değerleri elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, Terra uydusunun Aqua’ya göre daha fazla veri ürettiği ve 10 km’lik ürünlerin 3 km’lik ürünlere göre daha başarılı olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamı itibarıyla ülkemizde gerçekleştirilen ilk çalışma olup, gelecekte AOD verisi kullanacak araştırmacılara çalışılacak bölgeye uygun uydu, algoritma ve ürün seçiminde yol göstereceği düşünülmektedir. Özellikle, yerleşim alanlarında ölçülen yer seviyesindeki partikül madde (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) konsantrasyonlarını AOD verisi yardımıyla tahmin etmeye yönelik hazırlanacak istatistiksel tahmin modellerine de katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Aerosol, AOD, MODIS, Türkiye

#### Abstract

Aerosol Optical Depth (AOD) data produced by satellites are used to monitor atmospheric aerosols. In short, Terra and Aqua satellites are the primary satellites that successfully produce this parameter, which is defined as the reduction of electromagnetic energy at a specific wavelength due to aerosols in the atmosphere on a global scale. Both satellites produce daily AOD observations globally with a unique sensor called Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). However, several

factors make the detection of AOD difficult and region-specific. In this study, the variations in the AOD data produced by two different algorithms (Dark Target-DT and Deep Blue-DB) from the current MODIS data collection (C6.1) of Terra and Aqua satellites in Turkey were determined. Two different spatial resolution (3 km and 10 km) products produced with the DT algorithm were examined in the study. In contrast, a single product (10 km) was evaluated with the DB algorithm because the DB algorithm produced only 10 km resolution data. While examining spatial variations throughout the country, normalized difference vegetation index (NDVI) data were used. According to the results of the study, it was seen that the DT algorithm is more successful than the DB algorithm in regions with high NDVI values in our country. In our country, it was observed that the AOD data differ according to the seasons, and generally, larger AOD values were obtained in the spring and summer months. In addition, it was concluded that the Terra satellite produced more data than Aqua, and 10 km products were more successful than 3 km products. In terms of the scope of this study, it is the first study carried out in our country, and it is thought that it will guide the researchers who will use AOD data in the future for selection of satellites, algorithms, and suitable products for a study region. In particular, it will also contribute to the statistical estimation models to be prepared to estimate the ground-level particulate matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) concentrations measured in residential areas with the help of AOD data.

**Keywords:** *Aerosol, AOD, MODIS, Turkey*

## 1. Giriş

Atmosferdeki aerosol miktarı hakkında bilgi edinmek için genellikle hava kalitesi izleme istasyonlarında bulunan ölçüm cihazları ile yer seviyesinde partikül madde (PM) konsantrasyonları ölçülmektedir. Bu ölçüm sonuçları, ölçüm yapan istasyonların bulunduğu noktalardaki hava kalitesini temsil etmekte olup çoğunlukla daha geniş bir bölgenin hava kalitesinin belirlenmesinde tekil olarak yetersiz kalmaktadır. Bu durumda, hava kalitesinin bölgesel ölçekte izlenebilmesi için çok sayıda hava kalitesi izleme istasyonuna birlikte ihtiyaç bulunmaktadır. Ancak, böyle bir altyapıyı oluşturmak her zaman kolay ve ekonomik olmayabilir. Bu nedenle, büyük coğrafi alanlarda hava kalitesinin izlenmesi amacıyla son yıllarda uydru teknolojisi temelli uzaktan algılama tekniklerine başvurulduğu ve bunların başarı ile kullanıldığı görülmektedir [1-8, 64-66]. Özellikle PM konsantrasyonlarının izlenmesinde kullanılan temel parametre Aerosol Optik Derinliği (AOD)'dir. AOD verisi ile yer seviyesindeki PM seviyeleri arasında bir ilişki olduğunu ortaya koyan ve AOD verisi ile PM konsantrasyonlarını tahmin etme başarısı göstermiş çok sayıda çalışma bulunmaktadır [67-68].

AOD kısaca, belli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin atmosferdeki aerosoller nedeniyle azalması olarak tanımlanır [9]. Bu bilgi yardımıyla birim taban alanına ve atmosferin derinliği kadar yüksekliğe sahip bir kolon içindeki aerosol varlığını belirlemek

mümkündür. Bu veriyi üretmek üzere geliştirilmiş ve halen hizmet vermeye devam eden birden fazla uydu sistemi bulunmaktadır. Bu uydular içinde özellikle Terra ve Aqua uyduları, taşıdıkları Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) isimli özel bir sensör ile şu ana kadar dünya genelinde en kullanılabilir AOD verisini üretmeyi başaran uydulardır. Yeryüzündeki bir nokta için, yörüngeleri itibarıyla günde iki kez veri üretebilen Terra ve Aqua uyduları diğer uydulara göre daha fazla veri sağlaması nedeniyle literatürde yaygın olarak tercih edilmektedir [10-18].

MODIS sensörü, NASA tarafından tasarlanarak 1999 yılında ilk önce Terra uydusuna, daha sonra 2002 yılında Aqua uydusuna yerleştirilmiştir [19]. Terra ve Aqua'nın MODIS sensörleri, güneş ile senkronize, yakın kutupsal bir yörünge üzerinde dolaşan ve sadece güneş radyasyonu yardımıyla ölçüm gerçekleştiren bir uydu sistemidir. Bu sistemde 410 ile 15000 nm aralığında dalga boylarına sahip 36 farklı spektral bant bulunurken bunların 7'si (470-2130 nm) tamamen aerosol özelliklerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır [19].

MODIS, kara ve okyanus bölgeleri üzerinde veri sağlamak amacıyla özellikle bulutların perdeleme etkisini ortadan kaldıracak iki bağımsız algoritmaya (karanlık hedef ve derin mavi şeklinde Türkçeye çevrilebilecek DT - Dark Target ve DB - Deep Blue algoritmalarına) sahiptir. DT algoritması bitki örtüsü ile kaplı karasal alanlar ve okyanuslar gibi iki farklı yüzey

türü için veri üretmektedir. Bu algoritma ile karasal alanlar üzerinde veri elde edilirken atmosferdeki aerosol türlerinin (küçük çaplı veya büyük çaplı aerosoller), bölgedeki bitki örtüsü yoğunluğunun ve arazi örtüsü sınıfının veri kalitesini etkilediği bilinmektedir [20]. DB algoritması ise, tamamen karasal alanlarda veri üreten ve farklı dalga boylarında albedosu yüksek daha parlak yüzeyler üzerinde (buz kaplı karasal alanlar, çöller, yerleşim alanları, vb.) AOD'yi daha doğru tahmin etmektedir [19]. DB algoritması ile sadece 10 km çözünürlükte AOD verisi üretilmektedir [21]. Buna karşın, DT algoritması ise 10 km çözünürlüklü verinin yanında bitki örtüsünün yoğun olduğu karasal alanlarda daha iyi sonuçlar veren ve son yıllarda NASA tarafından yapılan algoritma iyileştirme çalışmaları ile daha yüksek mekansal çözünürlüğe sahip olan 3 km'lik AOD verisi üretebilmektedir [22].

Terra ve Aqua uydularından elde edilen ham AOD verileri, NASA tarafından dört farklı seviyede işlenmektedir. Seviye 0 (L0) verileri, uydu görüntülerinden elde edilmiş ham verileri işaret etmekte olup hiçbir zaman doğrudan veri değerlendirmede kullanılmamaktadır. Seviye 1 (L1) verileri; uydu görüntülerinin zaman ve coğrafi referans bilgilerinin, radyometrik ve geometrik kalibrasyon katsayılarının dikkate alınarak yeniden yapılandırıldığı verilerdir. L1 verileri coğrafi projeksiyona sahip olan verilerdir. Bu veriler 1 km çözünürlüğe sahip 36 adet spektral bant verisi içermektedir. Seviye 2 (L2) verileri, değerlendirmelerde kullanabilecek kalitede aerosol bilgilerini içeren ve sinüzoidal projeksiyona dönüştürülmüş, uygun piksellerin seçimi ile 1 km'lik piksellerden daha büyük çözünürlüklü (3 veya 10 km) verilerin oluşturulduğu ve veri kalitelerinin belirlendiği, kısaca veri değerlendirmeye hazır verilerdir. Seviye 3 (L3) verileri ise global haritalamalar yapabilmek amaçlı oluşturulmuş daha küçük mekansal çözünürlüklü verileri içermektedir [23].

Terra ve Aqua uydularından temin edilen MODIS verileri koleksiyonlar halinde herkese açık paylaşılmaktadır. Her yürürlüğe giren yeni koleksiyon, kendisinden bir önceki koleksiyon ile oluşturulan veri arşivinin çeşitli kalibrasyon ve algoritma iyileştirmeleri ile güncellenmesi esasına dayanır. Koleksiyonlardaki verilerin işlenmesi amacıyla kullanılan MODIS Uyarlamalı İşleme Sistemi (MODAPS - MODIS Adaptive Processing System), tüm MODIS seviyelerine (L1, L2 ve L3) ait ürünler için geliştirilmiş olup

halen kullanımda olan en güncel Koleksiyon 6.1 (C6.1)'i hazırlamıştır. Bu koleksiyonun çıkış noktası, kendisinden önceki Koleksiyon 6 (C6) Seviye-1B (L1B) verilerindeki bir dizi problemin ortadan kaldırılmak istenmesidir.

Uydu tabanlı AOD verisi atmosferdeki aerosollerin ve özelliklerinin belirlenmesine yönelik farklı çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aerosollerin zamansal ve mekansal değişimlerinin belirlenmesi ve trend analizlerinin yapılmasında [24-28,65], aerosol karakterizasyonunun belirlenmesinde [29-32] ve farklı istatistiksel ve/veya matematiksel modeller ile yer seviyesindeki PM konsantrasyonlarının belirlenmesinde [33-39,66] AOD verileri başarı ile kullanılmaktadır. Bunlar dışında, PM, AOD ve meteorolojik parametrelerin istatistiksel ilişkilerini inceleyen [7-8,40], toz taşınımı ve orman yangınları gibi vakaları irdeleyen [41-44] çeşitli çalışmalara da rastlamak mümkündür.

Bu çalışmada, Terra ve Aqua uyduları üzerinde bulunan MODIS sensörleri ile Türkiye için 2008-2018 yılları arasında elde edilen en güncel koleksiyona (C6.1) ait iki farklı algoritma (DT ve DB) ve iki farklı mekansal çözünürlüğe (3 km ve 10 km) sahip AOD ürünlerinin zamansal ve mekansal değişimleri belirlenmiştir. Bu çalışma Terra ve Aqua uydularının farklı algoritmalar ile elde edilen farklı mekansal çözünürlükteki AOD verilerinin ülkemiz ölçeğinde karşılaştırıldığı ilk çalışmadır.

## 2. Materyal ve Metot

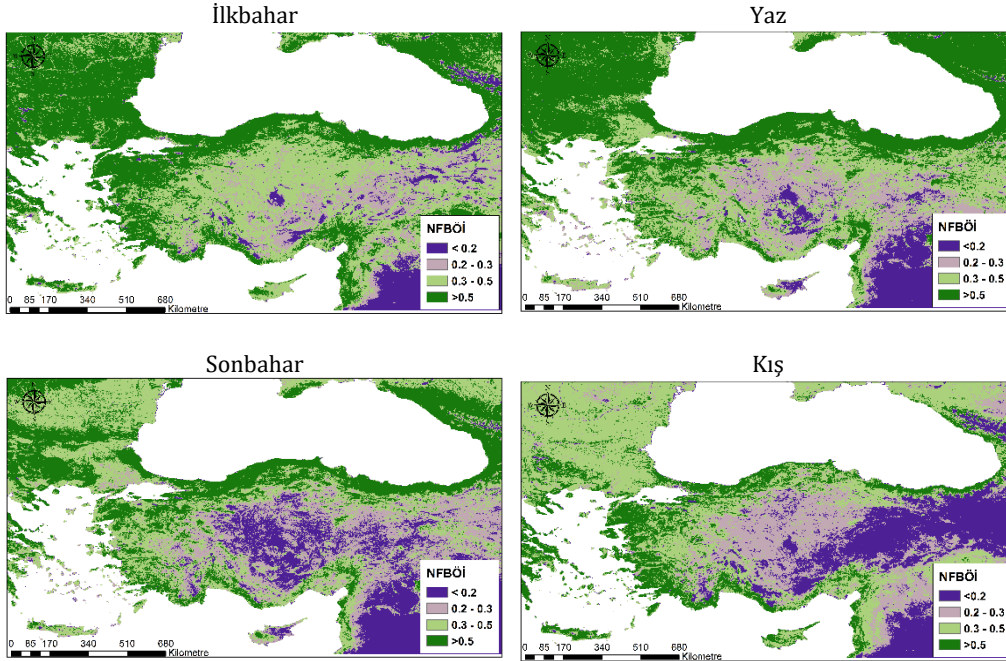
Çalışma kapsamında Terra ve Aqua uydularından Türkiye için 11 yıllık bir döneme (2008-2018) ait günlük AOD verisi elde edilmiştir. Uyduların MODIS sensörü tarafından iki farklı algoritma (DT ve DB) ile üretilen ve tamamı NASA'nın güncel koleksiyonuna (C6.1) ait olan AOD verileri, kalite kontrolü tamamlanmış Seviye 2 (L2) verileri olup 3 km ve 10 km mekansal çözünürlükte ayrı veri setleri (Aqua10km-DB, Terra10km-DB, Aqua10km-DT, Terra10km-DT, Aqua3km-DT ve Terra3km-DT) olarak elde edilmiştir. AOD verileri, NASA'ya ait web sitesinden (<http://adsweb.nascom.nasa.gov/>) HDF (Hierarchical Data Format) dosya formatında indirilmiş ve arşivlenmiştir. Tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde her iki uydudan 2008-2018 dönemi için 10 km'lik veri setinden toplam 65732 adet ve 3 km'lik veri setinden toplam 65506 adet HDF dosyası ilgili web

sayfasından indirilmiştir. Bu dosyaların içinden 550 nm dalga boyundaki AOD verileri (AOD<sub>550</sub>) Matlab program kodları ile elde edilmiştir. AOD<sub>550</sub> verileri iki algoritmaya ait DT (Optical\_Depth\_Land\_and\_Ocean) ve DB (Deep\_Blue\_Aerosol\_Optical\_Depth\_550\_Land\_Best\_Estimate) parametreleri baz alınarak ayrı veri setleri olarak çalışılmıştır. DB algoritması sadece karasal alanlar üzerinde AOD değerine sahip olup denizler üzerinde veriye sahip değildir. Buna karşın DT algoritması hem kara hem de deniz üzerinde veri üretebilmektedir. Bu çalışmada, NASA'nın önerdiği gibi DT algoritması için tavsiye edilen ve en iyi verileri içeren kara parçaları için kalite sınıfı 3 (QA=3), su kütleleri için (QA=1,2,3) ve DB algoritması için ise kalite sınıfı 2 ve 3 (QA=2-3) birlikte kullanılmıştır [45].

AOD verisinin mekansal değişiminin analiz edilmesi için literatürde önerildiği gibi normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NFBÖİ) verilerinden yararlanılmıştır [16,27,46]. MODIS sensöründen 1 km mekansal çözünürlüğe sahip NFBÖİ verileri (MOD13A1-MYD13A1) temin edilmiştir. Bu değerler -1 ile 1

arasında değişmektedir. Negatif değerler su yüzeylerini, sıfıra yakın değerler ise NFBÖİ'si küçük olan kentsel alanları göstermektedir. 1'e yakın değerler ise ormanlar gibi NFBÖİ'si yüksek bölgeleri işaret etmektedir. Çalışmada, Tian vd. (2018) [15] tarafından kullanılmış NFBÖİ sınıflandırma yöntemi tercih edilmiştir. Buna göre, NFBÖİ değerinin 0,2'den düşük olduğu bölgeler bitki örtüsünün olmadığı bölgeler, NFBÖİ değerinin 0,2-0,3 aralığında değiştiği bölgeler kısmen bitki örtüsüne sahip bölgeler, NFBÖİ değerinin 0,3-0,5 aralığında değiştiği bölgeler ise orta derecede bitki örtüsüne sahip bölgeler ve 0,5'ten büyük NFBÖİ değerlerinin ise yoğun bitki örtüsüne sahip alanları gösterdiği kabul edilmiştir.

NFBÖİ'ler mevsimlere göre değişkenlik gösterir [46]. Bu nedenle, çalışma alanında NFBÖİ'nin mevsimlere göre değişimi incelenmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, bölgede özellikle yaz ve ilkbahar mevsimlerinde büyük NFBÖİ değerleri görülmüştür. Sonbahar ve kış mevsimlerinde özellikle Türkiye'nin iç ve doğu kesimlerinde NFBÖİ değerleri küçüktür.



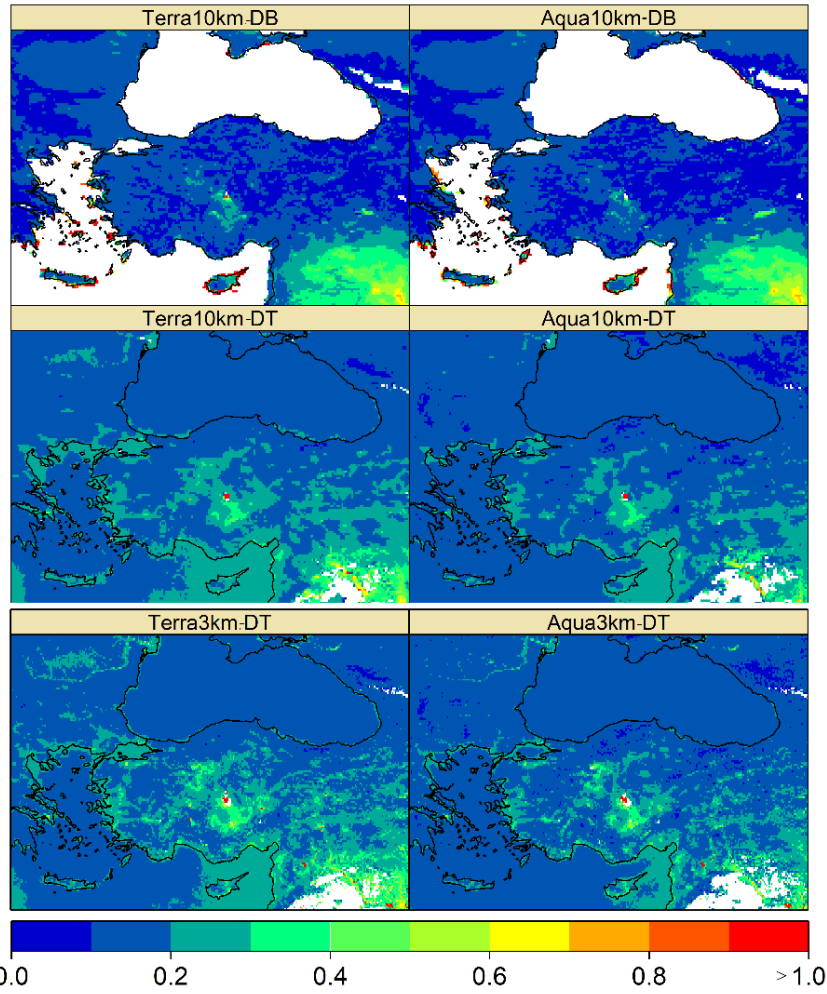
Şekil 1. Çalışma alanında uzun yıllar mevsimlik ortalama NFBÖİ değerleri

MODIS AOD verilerinin ülke genelinde mekansal dağılımı farklı zaman dilimleri (mevsimlik ve yıllık) için R programlama dili yardımıyla görselleştirilerek haritalar halinde sunulmuştur.

### 3. Bulgular

Çalışma kapsamında tüm MODIS AOD ürünlerinin mekansal ve zamansal değişimleri incelenmiştir. Şekil 2'de Terra ve Aqua uydularının tüm ürünlerine ait uzun yıllar (2008-2018) ortalama AOD değerlerinin ülke genelinde mekansal dağılımları haritalar olarak gösterilmiştir. Haritalarda koyu mavi renk ile

gösterilen AOD değerleri (<0,1) maksimum görüş mesafesine sahip kristal berraklığında temiz bir gökyüzünü temsil ederken, 0,2-0,3 aralığında yer alan AOD değerleri orta derecede aerosol kirliliğini göstermektedir. AOD değerinin 0,3'ten büyük olması durumu toz taşınımı veya yerel kaynaklı aerosollerin varlığını işaret etmektedir ve literatürde büyük AOD değerleri olarak nitelendirilmektedir. Özellikle 0,5'in üzerinde yer alan AOD değerleri oldukça yoğun aerosol varlığını işaret etmektedir [16,25-27]. Kırmızı ile gösterilen AOD değerleri (>1,0) ise gökyüzünün kahverengi renkli çok puslu haline karşılık gelmektedir.



Şekil 2. Uydu ve ürünler bazında uzun yıllar (2008-2018) ortalama AOD dağılımları

Şekil 2'de genel dağılımlar birbirine benzemekle birlikte uydu ve mekansal çözünürlüğe bağlı

olarak haritalar arasında küçük farklılıkların olduğu görülmüştür. Örneğin, en büyük AOD

değerleri DT-3km'lik veri setleri ile elde edilmiştir. Özellikle kentsel bölgelerde ve çorak bölgelerde yüksek tahmin eğilimi olduğu bilinen bu ürün kentsel alanların yoğun olduğu bölgelerde ve Tuz Gölü civarı gibi alanlarda 0,3'ten büyük değerlere ulaşmıştır. Buna karşın, aynı algoritmanın (DT) 10 km'lik ürünü ile karşılaştırıldığında DT-10km veri setinin DT-3km'ye göre ülkenin tüm bölgelerinde 0,1-0,2 seviyelerinde daha küçük AOD değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Fakat, genel dağılım incelendiğinde 0,2 seviyesindeki AOD değerlerinin yine kentsel bölgelerde ve Tuz Gölü civarında olduğu görülmüştür. Su yüzeyleri üzerinde oluşan AOD değerleri homojen olup özellikle Karadeniz ve Ege Denizi üstünde değişim göstermemekte ve 0,1 gibi temiz bir atmosferi gösteren değerleri işaret etmektedir. Özellikle Akdeniz ve Marmara Denizi kıyılarında daha büyük (0,2-0,3) AOD değerleri görülmüştür. DT 10 km ile DT 3 km ürünleri arasında okyanus yüzeyleri üzerinde bir farklılık gözlemlenmemiştir.

Aynı çözünürlüğe sahip (10 km) DT ve DB algoritmaları arasında AOD seviyeleri bakımından farklılıklar bulunmaktadır. DB algoritmasının küçük AOD verisi üretme eğilimi olduğu görülmüştür. Bölge genelinde, DB algoritması ile elde edilen tüm AOD verileri ülkenin tüm bölgelerinde DT algoritması ile elde edilenlerden daha küçüktür. Tüm bölge genelinde DB algoritması ile yaklaşık 0,1 fark ile daha küçük AOD değerleri üretilmiştir. Özellikle kentsel piksellerin olduğu yerlerde DT algoritması ile elde edilen büyük AOD değerlerinin DB algoritmasında oldukça azaldığı da görülmektedir. Tüm algoritma ve ürünlerin hepsi Tuz Gölü ve yakın çevresinde benzer sonuçlar vermiştir. DB ile her ne kadar biraz azalmış görünse de hala 0,3-0,4 seviyelerinde büyük AOD değerlerinin görüldüğü pikseller mevcuttur. Bu bölgedeki AOD değerleri ülke ortalamasının en az 0,1 kadar üzerindedir. Bu farkın literatürde oldukça önemli olduğu bilinmektedir [47]. Bu bölgenin küçük NFBÖİ değerlerine sahip olması, çorak bir arazide bulunması ve gölün yüksek tuz oranına sahip olması gibi etkenler nedeniyle büyük AOD değerlerinin olduğu tahmin edilmektedir. Uyduların bu tür yüksek yansıtma özelliğine sahip yüzeyler üzerinde büyük AOD değeri ürettiği bilinmektedir [47].

Terra uydusu ile elde edilen AOD değerleri, Aqua uydusundan elde edilen AOD değerlerinden daha büyüktür. Değişim her yerde çok belirgin

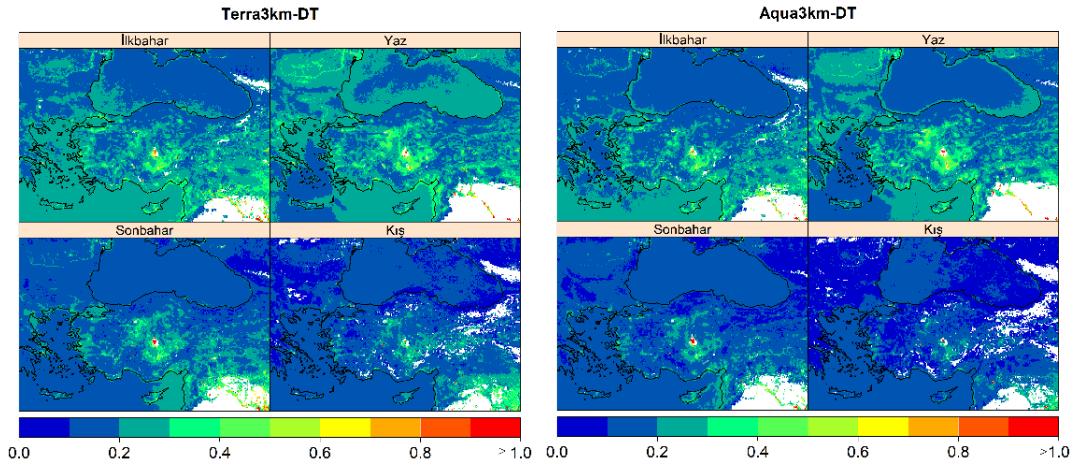
olmamakla birlikte bazı bölgelerde 0,1'e varan büyüklüklerde görülmüştür (Şekil 2). Çorak arazi olduğu bilinen Tuz Gölü civarı ve İç Anadolu'nun bazı bölgelerinde bu farkın 0,3 gibi yüksek seviyelere ulaştığı görülmüştür. Wei vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Terra ve Aqua uydularının geçiş zamanları arasındaki farklılıkların (Terra için geçiş zamanı 10:30, Aqua için 13:30) bile aynı nokta için farklı AOD verilerinin üretilmesine neden olduğu görülmüştür [16]. Büyük AOD değerleri ağırlıklı olarak Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerinde görülmüştür. Geriye kalan diğer coğrafi bölgelerde genel olarak daha küçük AOD değerleri mevcuttur. İstanbul, İzmir, Ankara, Bursa, Kocaeli, vb. gibi büyük kentlerin ve sanayi bölgelerinin bulunduğu bölgelerde ve dolayısıyla antropojenik aerosol kaynaklarının yoğun olduğu bölgelerde büyük AOD değerleri görülmüştür. Özellikle 0,3'ün üzerindeki değerlerin toz taşınımı veya yoğun yerel kirliliği ifade ettiği bilinmektedir [27]. Ayrıca, kentsel alanların yoğun olduğu ve bitki örtüsü indeksinin küçük olduğu alanlarda DT algoritmasının fazla tahmin etme eğilimi bulunmaktadır. Türkiye'nin güneydoğu komşusu olan Suriye'de çöl niteliğindeki arazilerin parlak yüzey alanları nedeniyle DT algoritmasının verileri ile çizilen haritalarda yer yer boşluklar olduğu dolayısıyla bu alanlar için yeterince sağlıklı veri üretilmediği görülmüştür. Ancak, tamamen bu tür alanlarda kullanılmak üzere geliştirilen DB algoritmasının bu çalışmada Suriye'deki bölgelerde başarılı AOD verisi ürettiği görülmüştür. Parlak yüzeylerdeki bu başarısı ile DB algoritmasının çoğu zaman deniz kenarındaki bazı noktalarda ya da daha çok etrafı su ile çevrili küçük adalar üzerindeki noktalarda (DT ile görülmeyen) yaklaşık 1 gibi çok büyük AOD değerleri ürettiği görülmüştür.

DT-3km'lik ürüne ait uzun yıllar ortalama AOD verilerinin mevsimlik değişimlerine ilişkin dağılım haritaları Terra ve Aqua uyduları için Şekil 3'te verilmiştir. Terra uydusu ile bölge genelinde küçük AOD değerleri (0-0,2) sonbahar ve kış mevsimlerinde görülmüştür. Buna karşın, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde atmosferde yoğun aerosol göstergesi olarak kabul edilen 0,5'e kadar değişen büyük AOD değerleri elde edilmiştir. Her mevsim için en büyük AOD değerleri, NFBÖİ değerlerinin çok küçük (<0,1) olduğu Tuz Gölü ve çevresinde olduğu görülmüştür. Özellikle gölün güneyinde ilkbahar ve yaz mevsiminde 0,5-0,6 aralığında AOD



değerleri görülmüştür. Kış mevsiminde dağılım haritaları üzerinde bazı bölgelerde veri boşlukları olduğu ve mevsim boyunca kaliteli AOD verisi üretilmediği görülmüştür. Bu bölgeler, daha çok küçük NFBÖİ ve yüksek topoğrafyaya sahip olan Türkiye'nin doğusunda bulunan bölgelerdir. DT algoritması, çorak bölgelerde ve çöllerde veri üretebilme potansiyeline sahip olmadığı için ülkemize güney doğu sınırından komşu olan Suriye'nin büyük bir alanında veri elde edilememiştir. İlkbahar ve yaz mevsiminde özellikle İç Anadolu, Marmara ve Ege Bölgesi'nde büyük AOD değerleri görülmüştür. Kentsel arazi örtüsü sınıfının yoğun olduğu bu bölgelerde yaz aylarında görülen büyük AOD değerlerinin nedeni, yağışın az olması, fotokimyasal reaksiyonlarla oluşan ikincil aerosollerin atmosferdeki varlığı, sanayi tesislerinden kaynaklanan antropojenik emisyonlar ve zaman zaman kırsal bölgelerden taşınan orman yangını ya da anız yakılması kökenli emisyonlar olarak sıralanabilir [48-49]. Ozdemir vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, bölgede AERONET istasyonlarının olduğu konumlarda aerosol karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik hem AERONET hem de MERRA-2 yeniden analiz verileri kullanılarak bir çalışma gerçekleştirilmiş ve sonuçlar meteorolojik parametrelerle birlikte

incelenerek detaylı olarak tartışılmıştır [49]. Bu çalışmada yaz aylarında yüksek nem etkisiyle bölgede büyük AOD değerleri olduğu belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada da [50] benzer sonuçlar elde edilmiş, bölgede yazın görülen büyük AOD değerlerinin nedeni yaz aylarındaki yağışın azlığı ve yüksek nemin aerosol parçacıklarını büyütme etkisi olarak gösterilmiştir. Literatürde bu tespiti başka bölgelerde yapan çalışmalar da bulunmaktadır [51]. Yağış ve nem etkisinin yanısıra, fosil yakıt tüketimi kaynaklı antropojenik emisyonların bir göstergesi olan sülfat aerosollerinin bölgede ağırlıklı olarak bulunduğu bilinmektedir [49]. Ayrıca bölgenin bulunduğu coğrafi konum itibarı ile özellikle güneyde yer alan bölgelerinin yaz ve ilkbahar mevsimlerinde yoğun toz taşınımına maruz kaldığı da bilinmekte ve bu sonuçlar farklı çalışmalarla desteklenmektedir [48,52-58]. Yaz aylarında güçlü kuzey rüzgarları aracılığı ile Kuzey Balkan Yarımadası, Karadeniz'in batı kıyıları ve Ukrayna gibi bölgelerden çalışma alanına tarımsal yangınlar (anız yakma gibi) nedeniyle aerosol taşındığı da tespit edilmiştir [24,56,59]. Bununla birlikte, ülkenin denizlerle çevrili olması nedeniyle kıyı bölgelerinde ince partiküllerin ve deniz tuzu aerosollerinin baskın olduğu bilinmektedir [49].



**Şekil 3.** Terra ve Aqua uydularından DT-3km'lik ürün ile temin edilen uzun yıllar (2008-2018) mevsimlik ortalama AOD değerlerinin mekansal dağılımı

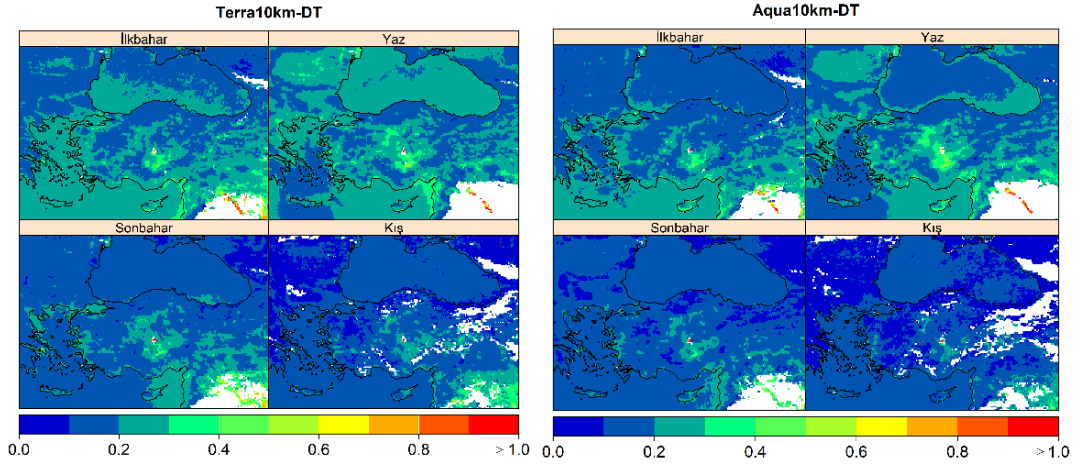
Bölge genelinde sonbahar ve kış mevsimlerinde görülen küçük AOD değerlerinin temel nedeni, en yağışlı dönemlerin bu mevsimler olmasıdır. Bölgede yağış miktarının en büyük olduğu

mevsim kıştır ve en büyük yağış miktarı güney ve güney batı bölgelerde oluşmaktadır. Yaz mevsiminde görülen yağış miktarı ise güneyden kuzeye çıktıkça artmaktadır. Karadeniz

Bölgesi'nde görülen küçük AOD değerlerinin en önemli nedeni, Türkiye'nin en fazla yağış alan bölgesi olmasıdır. Bu bölge aynı zamanda genel olarak küçük aerosol yüküne ve yüksek bitki örtüsüne sahip yeşil bir bölgedir ve bu tür bölgelerde C6.1 algoritmalarında yüksek AOD değerlerinin düzeltildiği bilinmektedir [20]. Yüksek yağış altında küçük AOD değerlerinin görülmesi durumu başka çalışmalarda da tespit edilmiştir [60]. Bu sonuç ülkemizde Mersin-Erdemli bölgesinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada da elde edilmiştir [50]. İlkbahar ve yaz mevsiminde Türkiye'ye hem Arap yarımadasından hem de Sahra Çölü'nden yoğun toz taşınımı gerçekleşmektedir [61-62]. Sahra Çölü'nden taşınan tozun yanı sıra, Türkiye bulunduğu konum nedeniyle zaman zaman Avrupa'dan gelen antropojenik kaynaklı kirleticilere de maruz kalmaktadır [62]. Ayrıca, tüm bu kaynakların bölgedeki katkısını gösteren bir aerosol karakterizasyon çalışması da bulunmaktadır [49]. Yaz aylarında oluşan yüksek nem nedeniyle de bu mevsimde büyük AOD değerleri oluştuğu bilinmektedir [49-50]. Bir diğer önemli faktör ise bitki örtüsü indeksi gibi değişen yüzey koşulları ve atmosferdeki aerosol kompozisyonudur. Örneğin kış döneminde ısınma faaliyetleri nedeniyle atmosferde antropojenik aerosollerin daha

yoğun olduğu bilinmektedir. Dağılım haritalarında çok büyük AOD değerlerinin (>1) elde edildiği aykırı piksellerin tekil olarak varlığı göze çarpmaktadır. Bu da algoritmaların bazı noktalarda zaman zaman bu tür beklenmeyen değerler üretebildiğini göstermiştir.

Şekil 4'te sırasıyla Terra ve Aqua uydularından temin edilen uzun yıllar mevsimlik ortalama DT-10km AOD verilerinin mekansal dağılımları gösterilmiştir. DT-10km ürünü için mevsimlik dağılım haritaları 3 km'lik veri ile çizilen haritalara benzemekte olup büyük değerler yine aynı bölgelerde görülmüştür. Fakat bölge genelinde elde edilen AOD değerleri 3 km'lik veriye göre daha küçüktür. Mevsimsel olarak küçük AOD değerleri yine sonbahar ve kış aylarında görülmüştür. Bu mevsimlerde bölge genelinde 0,3 değerini aşan AOD değeri yok denecek kadar azdır. Her iki mevsimde de AOD değerleri genellikle 0,1-0,2 arasında değişmiştir. Kış mevsiminde Trakya Bölgesi'nde ve Doğu Avrupa ülkelerinde yoğunlaşan çok daha küçük (0-0,1) AOD değerlerinin oluştuğu görülmüştür. Bu değerler, Aqua uydusu ile elde edilen haritada daha yoğun görülmektedir. Terra ve Aqua uyduları arasındaki farklılıklar 3 km'lik ürüne benzer olarak ilkbahar ve yaz mevsimlerinde daha belirgindir.



**Şekil 4.** Terra ve Aqua uydularından DT-10km'lik ürün ile temin edilen uzun yıllar (2008-2018) mevsimlik ortalama AOD değerlerinin mekansal dağılımı

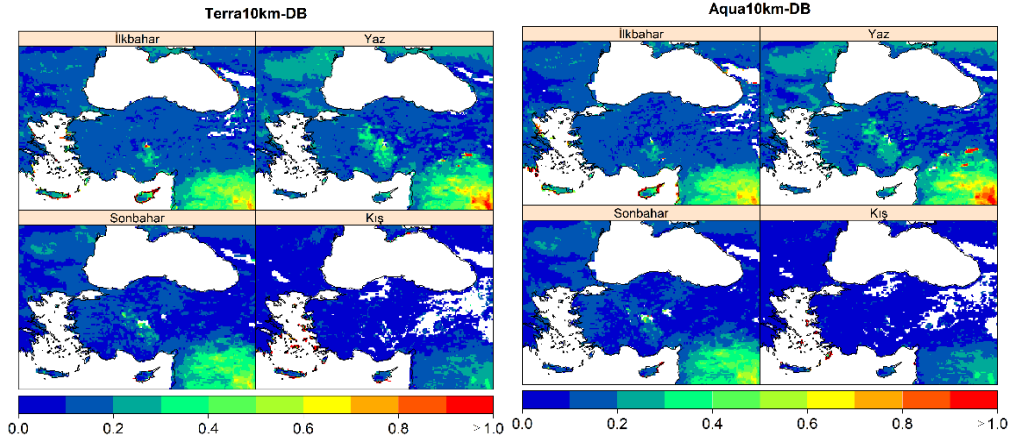
Terra ve Aqua uyduları ile elde edilen DB-10 km ürününe ait uzun yıllar mevsimlik ortalama AOD değerlerinin mekansal dağılımları Şekil 5'te

verilmiştir. Elde edilen AOD değerleri DT verilerine göre oldukça küçük olup Türkiye genelinde 0-0,1 aralığında değişmiştir. Sonbahar



mevsimi, kış mevsimi kadar küçük AOD değerlerine sahip olmakla birlikte batı ve kuzey bölgelerde 0,1-0,2 arasında değişen kış mevsimine göre daha büyük AOD değerleri görülmüştür. DT verileri kadar olmasa da diğer bölgelere göre daha büyük değerler yine Tuz Gölü ve çevresinde görülmüştür (0,4-0,6). Bu değerler de ağırlıklı olarak ilkbahar ve yaz mevsimlerinde elde edilmiştir. DT verilerinin aksine yazın bölgede küçük AOD değerleri hakimdir. Özellikle İç Anadolu Bölgesi'nin bir

bölümü ile Doğu Anadolu Bölgesi'nde ilkbahar mevsiminden daha küçük AOD değerleri görülmüştür. Büyük NFBÖİ değerine sahip dönemlerde DB algoritmasının az tahmin etme eğiliminde olduğu bilinmektedir [70]. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde İstanbul'un güneyinde ve Ege kıyılarında yer alan kentsel alanlarda diğer bölgelere göre büyük AOD değerleri izlenmiştir. DT verileri ile uyumlu olarak Aqua uydusundan temin edilen uzun yıllar ortalama AOD değerleri Terra uydusuna göre daha küçüktür.



Şekil 5. Terra ve Aqua uydularından DB-10km'lik ürün ile temin edilen uzun yıllar (2008-2018) mevsimlik ortalama AOD değerlerinin mekansal dağılımı

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Uluslararası literatürde AOD verisi temini için en çok başvurulan uydular, Terra ve Aqua uydularıdır. Bu uyduların ortak özelliği, ikisinin de üzerinde atmosferdeki aerosolleri ve özelliklerini belirlemeye yönelik tasarlanmış aynı sensörün bulunmasıdır. MODIS adı verilen bu sensör ile her iki uydu da ekvator ve yakın enlemlerde veri üretilmediği bazı bölgeler dışında yeryüzünün tamamını her gün birkaç saat arayla taramakta ve atmosferik aerosollere ilişkin veri üretmektedir. MODIS sensörü, birbirinden farklı iki algoritma (DT ve DB) ile AOD verisi üretme yeteneğine sahiptir. Bu algoritmalar, yeryüzündeki karanlık veya parlak yüzeylerden (büyük veya küçük albedoya sahip alanlardan) yansıyan güneş ışınlarına karşı hassasiyet göstererek farklı AOD verisi üretirler. Dolayısıyla, yeryüzündeki bir bölgede hangi algoritmanın daha başarılı AOD verisi üreteceğini o bölgeye özgü bir değerlendirme

yapmadan söylemek mümkün değildir. Çünkü, MODIS sensörü ile AOD tespitini zorlaştıran ve bölgelere göre değişkenlik gösteren bazı etkenler vardır. Bu etkenlerin başında, kar ve buz ile kaplı alanlar gelirken ayrıca bölgelere göre değişen çeşitli atmosferik ve meteorolojik bileşenler (bulutluluk, yağış, nem, vb.) ile yeryüzü özellikleri (arazi kullanım türü, bitki örtüsü türü ve yoğunluğu, topoğrafyası, vb.) de etkili olabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Terra ve Aqua uydularından 2008-2018 yılları arasında temin edilen AOD verilerinin Türkiye'deki zamansal ve mekansal değişimleri belirlenmiştir. Tüm değerlendirmeler, iki uydu ve her birinin iki algoritması için ayrı ayrı yapılmıştır. Böylece ülkemizin farklı bölgelerinde ve farklı zaman dilimlerinde uyduların ve bunların algoritmalarının performansları karşılaştırılmalı olarak tartışılmıştır. Her iki algoritma ile elde edilen AOD verisinin mekansal çözünürlüğü 10

km'dir. Ancak, DT algoritması ile DB algoritmasından farklı olarak 3 km çözünürlüklü bir başka AOD ürünü daha elde edilebilmektedir. Daha yüksek çözünürlüğe sahip olması nedeniyle son yıllarda literatürde bu ürünün değerlendirildiği çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür [18,21,69]. Bu nedenle bu çalışma kapsamında AOD verilerinin mekansal ve zamansal değişimleri belirlenirken her üç ürün (DT-10km, DT-3km ve DB-10km) de ayrı ayrı incelenmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre; ülkemizin tamamı için Terra ve Aqua uydularından yeterli sayıda AOD verisi temin edilebildiği görülmüştür. Her iki uydu kıyaslandığında, Terra uydusunun Aqua uydusuna göre tüm mevsimlerde (özellikle kış mevsiminde) daha fazla veri ürettiği görülmüştür. Literatürde farklı ülkelerde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında gerek yıllar gerekse mevsimler bazında makul sayılarda veri temin edilmiştir. Her ne kadar kış aylarında ülkemizde de bir miktar AOD veri kaybı yaşansa da bu kayıpların, Şekil 3 ve 4'te görüldüğü gibi Afrika ve Arabistan çöllerinin bulunduğu bölgelerdeki gibi çok büyük oranlarda olmadığı görülmüştür.

Çalışmanın literatür ile uyumlu olan diğer bir sonucu ise, ülkemizde NFBÖİ değeri yüksek olan bölgelerde DT algoritmasının DB algoritmasına göre daha başarılı olduğu görülmüştür [63]. Diğer bir ifade ile, yıl boyunca yoğun bitki örtüsüne sahip Karadeniz, Akdeniz, Ege ve Marmara gibi bölgelerde öncelikli olarak DT algoritmasının tercih edilmesi önerilmektedir. Buna karşın, biraz daha çorak alanlara sahip Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu ve kısmen İç Anadolu gibi bölgelerde ise mevsimlere ya da aylara bağlı olarak DB algoritması da tercih edilebilir.

Bitki örtüsü yoğun ya da orta derecede yoğun olan bölgelerde daha başarılı sonuç veren DT algoritmasının 10 km ve 3 km olarak iki farklı mekansal çözünürlüğe sahip AOD ürünü vardır. Çalışma sonuçları, bitki örtüsü her ne kadar yoğun da olsa arazi örtüsü sınıfı kentsel nitelik taşıyan bölgelerde 10 km'lik verinin 3 km'lik veriye göre daha başarılı olduğunu göstermiştir. Benzer bulguları elde eden çalışmalara literatürde rastlamak mümkündür [69]. Bu nedenle kentsel alanlarda DT algoritmasının kullanılması durumunda 10 km'lik ürünün tercih edilmesi yerinde olacaktır. Buna karşın, kırsal nitelik taşıyan ve büyük NFBÖİ değerine sahip bölgelerde 3 km'lik ürünün çoğu zaman 10

km'lik üründen daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Çalışma sonuçları, ülkemizde AOD verilerinin mevsimlere göre farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Ülkenin genelinde ilkbahar ve yaz aylarında daha büyük AOD değerleri elde edilirken sonbahar ve kış aylarında daha küçük değerler görülmüştür. Ülkemizin bazı bölgelerinde bitki örtüsü mevsimlere göre değişmektedir. Vejetasyonun başladığı ve sonlandığı dönemler arasında canlılığını koruyan bazı geniş yapraklı ağaçlar ve bitkiler sonbahar ve kış aylarında yapraklarını dökerler ve buldukları bölgenin NFBÖİ değerlerini azaltırlar. Bu duruma, yaz ve kış aylarında görülen meteorolojik koşul farklılıkları (güneşlenme miktarı, yağış, nem, vb.) da eklenince ülkemizde de AOD değerlerinin mevsimsel değişimi kaçınılmaz olmaktadır. Tüm bunlara ilave olarak, ülkemizin Afrika ve Asya çöllerinden toz taşınımına maruz kaldığı bilinmektedir. Daha çok ilkbahar aylarında görülen bu taşınımın etkileri, bu çalışmada da özellikle Akdeniz ve Ege bölgelerindeki büyük AOD değerleri ile izlenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada iki farklı uydudan (Terra ve Aqua) iki farklı algoritma (DT ve DB) ile iki farklı mekansal çözünürlükte (3 km ve 10 km) temin edilen en güncel AOD koleksiyonuna (C6.1) ait verilerin 2008-2018 yıllarını kapsayan on bir yıllık bir dönemde ülke genelindeki zamansal ve mekansal değişimleri incelenmiştir. Bu çalışmanın, gelecekte AOD verisi kullanarak yeni çalışmalar gerçekleştirecek araştırmacılara, çalışılacak bölgeye uygun uydu, algoritma ve ürün seçiminde yol göstereceği düşünülmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 119Y005 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu projeye finansal olarak destek sağlayan TÜBİTAK'a ve uydu/yer bazlı AOD verilerinin temini konusunda National Aeronautics and Space Administration (NASA)'ya teşekkür ederiz.

### Kaynakça

- [1] Bibi, H., Alam, K., Chishtie, F., Bibi, S., Shahid, I., Blaschke, T. 2015. "Intercomparison of MODIS, MISR, OMI, and CALIPSO aerosol optical depth retrievals for four locations on the Indo-Gangetic plains and

- validation against AERONET data", *Atmospheric Environment*, 111, 113–126.
- [2] Xu, H., Guang, J., Xue, Y., de Leeuw, G., Che, Y. H., Guo, J., HE, X. W., Wang, T. K. 2015. "A consistent aerosol optical depth (AOD) dataset over mainland China by integration of several AOD products", *Atmospheric Environment*, 114, 48–56.
- [3] You, W., Zang, Z., Zhang, L., Zhang, M., Pan, X., Li, Y. 2016. "A nonlinear model for estimating ground-level PM10 concentration in Xi'an using MODIS aerosol optical depth retrieval", *Atmospheric Research*, 168, 169–179.
- [4] Sever, L., Alpert, P., Lyapustin, A., Wang, Y., Chudnovsky, A. 2017. "An example of aerosol pattern variability over bright surface using high resolution MODIS MAIAC: The eastern and western areas of the Dead Sea and environs", *Atmospheric Environment*, 165, 359–369.
- [5] Ahmad, M., Alam, K., Tariq, S., Anwar, S., Nasir, J., Mansha, M. 2019. "Estimating fine particulate concentration using a combined approach of linear regression and artificial neural network", *Atmospheric Environment*, 219, 117050.
- [6] Park, S., Shin, M., Im, J., Song, C. K., Choi, M., Kim, J., Lee, S., Park, R., Kim, J., Lee, D. W., Kim, S. K. 2019. "Estimation of ground-level particulate matter concentrations through the synergistic use of satellite observations and process-based models over South Korea", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(2), 1097–1113.
- [7] Yang, Q., Yuan, Q., Yue, L., Li, T., Shen, H., Zhang, L. 2019. "The relationships between PM2.5 and aerosol optical depth (AOD) in mainland China: About and behind the spatio-temporal variations", *Environmental Pollution*, 248, 526–535.
- [8] Jin, Q., Crippa, P., Pryor, S. C. 2020. "Spatial characteristics and temporal evolution of the relationship between PM2.5 and aerosol optical depth over the eastern USA during 2003–2017", *Atmospheric Environment*, 239, 117718.
- [9] Douglas, A.D., 2015. A Geographical Comparison of the Relationship Between Aerosol Optical Depth and Fine Particulate Matter in Indiana. Master Thesis, Indiana University, 34 sayfa.
- [10] Wang, C., Liu, Q., Ying, N., Wang, X., Ma, J. 2013. "Air quality evaluation on an urban scale based on MODIS satellite images", *Atmospheric Research*, 132–133, 22–34.
- [11] Lee, H. J., Kang, C. M., Coull, B. A., Bell, M. L., Koutrakis, P. 2014. "Assessment of primary and secondary ambient particle trends using satellite aerosol optical depth and ground speciation data in the New England region, United States", *Environmental Research*, 133, 103–110.
- [12] Van Donkelaar, A., Martin, R. V., Brauer, M., Boys, B. L. 2015. "Use of satellite observations for long-term exposure assessment of global concentrations of fine particulate matter", *Environmental Health Perspectives*, 123(2), 135–143.
- [13] Zhang, Y., Li, Z. 2015. "Remote sensing of atmospheric fine particulate matter (PM2.5) mass concentration near the ground from satellite observation", *Remote Sensing of Environment*, 160, 252–262.
- [14] Lee, H. J., Chatfield, R. B., Strawa, A. W. 2016. "Enhancing the Applicability of Satellite Remote Sensing for PM2.5 Estimation Using MODIS Deep Blue AOD and Land Use Regression in California, United States", *Environmental Science and Technology*, 50(12), 6546–6555.
- [15] Tian, X., Liu, Q., Li, X., Wei, J. 2018. "Validation and comparison of MODIS C6.1 and C6 aerosol products over Beijing, China", *Remote Sensing*, 10(12), 1–18.
- [16] Wei, J., Li, Z., Peng, Y., Sun, L. 2019. "MODIS Collection 6.1 aerosol optical depth products over land and ocean: validation and comparison", *Atmospheric Environment*, 201, 428–440.
- [17] Zhang, M., Liu, J., Li, W., Bilal, M., Zhao, F., Zhang, C., ... Khedher, K. M. 2019. "Evaluation of the aqua-MODIS C6 and C6.1 aerosol optical depth products in the Yellow River Basin, China", *Atmosphere*, 10(8), 426.
- [18] Wei, J., Li, Z., Sun, L., Peng, Y., Liu, L., He, L., Qin, W., Cribb, M. 2020. "MODIS Collection 6.1 3 km resolution aerosol optical depth product: global evaluation and uncertainty analysis", *Atmospheric Environment*, 240, 117768.
- [19] NASA (National Aeronautics and Space Administration). <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>, Son erişim tarihi: 20 Kasım 2020.
- [20] Levy, R. C., Mattoo, S., Munchak, L. A., Remer, L. A., Sayer, A. M., Patadia, F., Hsu, N. C. 2013. "The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean", *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(11), 2989–3034.
- [21] Remer, L. A., Mattoo, S., Levy, R. C., Munchak, L. A. 2013. "MODIS 3 km aerosol product: Algorithm and global perspective", *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(7), 1829–1844.
- [22] Gupta, P., Remer, L. A., Levy, R. C., Mattoo, S. 2018. "Validation of MODIS 3km land aerosol optical depth from NASA's EOS Terra and Aqua missions", *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(5), 3145–3159.
- [23] NASA (National Aeronautics and Space Administration). <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/science-domain/13-atmosphere/>, Son erişim tarihi: Kasım 2020.
- [24] Floutsis, A. A., Korras-Carraca, M. B., Matsoukas, C., Hatzianastassiou, N., Biskos, G. 2016. "Climatology and trends of aerosol optical depth over the Mediterranean basin during the last 12 years (2002–2014) based on Collection 006 MODIS-Aqua data", *Science of the Total Environment*, 551–552, 292–303.
- [25] Georgoulas, A. K., Alexandri, G., Kourtidis, K. A., Lelieveld, J., Zanis, P., Pöschl, U., Levy, R., Amiridis, V., Marinou, E., Tsikerdekis, A. 2016. "Spatiotemporal

- variability and contribution of different aerosol types to the aerosol optical depth over the Eastern Mediterranean", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(21), 13853–13884.
- [26] 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, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 71(1), 1–21.
- [27] Filonchyk, M., Hurynovich, V., Yan, H. 2020. "Trends in aerosol optical properties over Eastern Europe based on MODIS-Aqua", *Geoscience Frontiers*, 11(6), 2169–2181.
- [28] Shen, L., Hao, F., Gao, M., Wang, H., Zhu, B., Gao, J., Cheng, Y., Xie, F. 2020. "Real-time geochemistry of urban aerosol during a heavy dust episode by single-particle aerosol mass spectrometer: Spatio-temporal variability, mixing state and spectral distribution", *Particology*, 53, 197–207.
- [29] De Meij, A., Lelieveld, J. 2011. "Evaluating aerosol optical properties observed by ground-based and satellite remote sensing over the Mediterranean and the Middle East in 2006", *Atmospheric Research*, 99(3–4), 415–433.
- [30] Nabat, P., Somot, S., Mallet, M., Chiapello, I., Morcrette, J. J., Solmon, F., Szopa, S., Dulac, F., Collins, W., Ghan, S., Horowitz, L. W., Lamarque, J. F., Lee, Y., Naik, V., Nagashima, T., Shindell, D., Skeie, R. 2013. "A 4-D climatology (1979-2009) of the monthly tropospheric aerosol optical depth distribution over the Mediterranean region from a comparative evaluation and blending of remote sensing and model products", *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(5), 1287–1314.
- [31] 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.
- [32] Tutsak, E., Koçak, M. 2020. "Optical and microphysical properties of the columnar Aerosol burden over the Eastern Mediterranean: Discrimination of Aerosol types", *Atmospheric Environment*, 229.
- [33] Benas, N., Beloconi, A., Chrysoulakis, N. 2013. "Estimation of urban PM10 concentration, based on MODIS and MERIS/AATSR synergistic observations", *Atmospheric Environment*, 79, 448–454.
- [34] Seo, S., Kim, J., Lee, H., Jeong, U., Kim, W., Holben, B. N., Kim, S. W., Song, C. H., Lim, J. H. 2015. "Estimation of PM10 concentrations over Seoul using multiple empirical models with AERONET and MODIS data collected during the DRAGON-Asia campaign", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(1), 319–334.
- [35] You, W., Zang, Z., Pan, X., Zhang, L., Chen, D. 2015. "Estimating PM2.5 in Xi'an, China using aerosol optical depth: A comparison between the MODIS and MISR retrieval models", *Science of the Total Environment*, 505, 1156–1165.
- [36] Ghotbi, S., Sotoudeheian, S., Arhami, M. 2016. "Estimating urban ground-level PM10 using MODIS 3km AOD product and meteorological parameters from WRF model", *Atmospheric Environment*, 141, 333–346.
- [37] Kamarul Zaman, N. A. F., Kanniah, K. D., Kaskaoutis, D. G. 2017. "Estimating Particulate Matter using satellite based aerosol optical depth and meteorological variables in Malaysia", *Atmospheric Research*, 193, 142–162.
- [38] Stafoggia, M., Bellander, T., Bucci, S., Davoli, M., de Hoogh, K., de' Donato, F., Gariazzo, C., Lyapustin, A., Michelozzi, P., Renzi, M., Scortichini, M., Shtein, A., Viegi, G., Kloog, I., Schwartz, J. 2019. "Estimation of daily PM10 and PM2.5 concentrations in Italy, 2013–2015, using a spatiotemporal land-use random-forest model", *Environment International*, 124, 170–179.
- [39] Jiang, T., Chen, B., Nie, Z., Ren, Z., Xu, B., Tang, S. 2021. "Estimation of hourly full-coverage PM2.5 concentrations at 1-km resolution in China using a two-stage random forest model", *Atmospheric Research*, 248, 105146.
- [40] Kong, L., Xin, J., Zhang, W., Wang, Y. 2016. "The empirical correlations between PM2.5, PM10 and AOD in the Beijing metropolitan region and the PM2.5, PM10 distributions retrieved by MODIS", *Environmental Pollution*, 216, 350–360.
- [41] Rea, G., Turquety, S., Menut, L., Briant, R., Mailler, S., Siour, G. 2015. "Source contributions to 2012 summertime aerosols in the Euro-Mediterranean region", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(14), 8013–8036.
- [42] Taheri Shahraini, H., Karimi, K., Habibi Nokhandan, M., Hafezi Moghadas, N. 2015. "Monitoring of dust storm and estimation of aerosol concentration in the Middle East using remotely sensed images", *Arabian Journal of Geosciences*, 8(4), 2095–2110.
- [43] Chouza, F., Reitebuch, O., Benedetti, A., Weinzierl, B. 2016. "Saharan dust long-range transport across the Atlantic studied by an airborne Doppler wind lidar and the MACC model", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(18), 11581–11600.
- [44] Zhang, Y., Hu, R., Zheng, X. 2018. "Large-scale coherent structures of suspended dust concentration in the neutral atmospheric surface layer: A large-eddy simulation study", *Physics of Fluids*, 30(4).
- [45] 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).
- [46] Huang, Y., Zhu, B., Zhou, X., Chen, D., Zhu, Z., Zhang, T., Xia, X., Ji, Y., Gong, Y., Wang, L. 2019. "Evaluation and Comparison of MODIS Collection 6.1 and Collection 6 Dark Target Aerosol Optical Depth over Mainland China Under Various Conditions Including Spatiotemporal Distribution, Haze Effects, and Underlying Surface", *Earth and Space Science*, 6(12), 2575–2592.

- [47] Kharol, S. K., Badarinath, K. V. S., Sharma, A. R., Kaskaoutis, D. G., Kambezidis, H. D. 2011. "Multiyear analysis of Terra/Aqua MODIS aerosol optical depth and ground observations over tropical urban region of Hyderabad, India", *Atmospheric Environment*, 45(8), 1532–1542.
- [48] Fotiadi, A., Hatzianastassiou, N., Drakakis, E., Matsoukas, C., Pavlakis, K. G., Hatzidimitriou, D., Gerasopoulos, E., Mihalopoulos, N., Vardavas, I. 2006. "Aerosol physical and optical properties in the Eastern Mediterranean Basin, Crete, from Aerosol Robotic Network data", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6(12), 5399–5413.
- [49] Ozdemir, E., Tuna Tuygun, G., Elbir, T. 2020. "Application of aerosol classification methods based on AERONET version 3 product over eastern Mediterranean and Black Sea", *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2226–2243.
- [50] Tutsak, E., Koçak, M. 2019. "Long-term measurements of aerosol optical and physical properties over the Eastern Mediterranean: Hygroscopic nature and source regions", *Atmospheric Environment*, 207, 1–15.
- [51] Che, H., Yang, L., Liu, C., Xia, X., Wang, Y., Wang, H., Wang, H., Lu, X., Zhang, X. 2019. "Long-term validation of MODIS C6 and C6.1 Dark Target aerosol products over China using CARSNET and AERONET", *Chemosphere*, 236.
- [52] Kalivitis, N., Gerasopoulos, E., Vrekoussis, M., Kouvarakis, G., Kubilay, N., Hatzianastassiou, N., Vardavas, I., Mihalopoulos, N., 2007. "Dust transport over the eastern mediterranean derived from total ozone mapping spectrometer, aerosol robotic network, and surface measurements", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112, D03202.
- [53] Sciare, J., Oikonomou, K., Favez, O., Liakakou, E., Markaki, Z., Cachier, H., Mihalopoulos, N., 2008. "Long-term measurements of carbonaceous aerosols in the Eastern Mediterranean: Evidence of long-range transport of biomass burning", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 5551–5563.
- [54] Hatzianastassiou, N., Gkikas, A., Mihalopoulos, N., Torres, O., Katsoulis, B.D., 2009. "Natural versus anthropogenic aerosols in the eastern Mediterranean basin derived from multiyear TOMS and MODIS satellite data", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114, D24202.
- [55] Gerasopoulos, E., Amiridis, V., Kazadzis, S., Kokkalis, P., Eleftheratos, K., Andreae, M.O., Andreae, T.W., El-Askary, H., Zerefos, C.S., 2011. "Three-year ground based measurements of aerosol optical depth over the Eastern Mediterranean: The urban environment of Athens", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 2145–2159.
- [56] Tombrou, M., Bossioli, E., Kalogiros, J., Allan, J.D., Bacak, A., Biskos, G., Coe, H., Dandou, A., Kouvarakis, G., Mihalopoulos, N., Percival, C.J., Protonotariou, A.P., Szabó-Takács, B., 2015. "Physical and chemical processes of air masses in the Aegean Sea during Etesians: Aegean-GAME airborne campaign", *Science of the Total Environment*, 506, 201–216.
- [57] Korras-Carraca, M.B., Hatzianastassiou, N., Matsoukas, C., Gkikas, A., Papadimas, C.D., 2015. "The regime of aerosol asymmetry parameter over Europe, the Mediterranean and the Middle East based on MODIS satellite data: Evaluation against surface AERONET measurements", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 13113–13132.
- [58] Triantafyllou, E., Diapouli, E., Korras-Carraca, Manousakas, M., Psanis, C., Floutsi, A.A., Spyrou, C., Eleftheriadis, K., Biskos, G., 2020. "Contribution of locally-produced and transported air pollution to particulate matter in a small insular coastal city", *Atmospheric Pollution Research*, 11, 667–678.
- [59] Bovchaliuk, A., Milinevsky, G., Danylevsky, V., Goloub, P., Dubovik, O., Holdak, A., Ducos, F., Sosonkin, M., 2013. "Variability of aerosol properties over Eastern Europe observed from ground and satellites in the period from 2003 to 2011", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 6587–6602.
- [60] Barnaba, F., Gobbi, G. P. 2004. "Aerosol seasonal variability over the Mediterranean region and relative impact of maritime, continental and Saharan dust particles over the basin from MODIS data in the year 2001", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4(9–10), 2367–2391.
- [61] Ağaçayak, T., 2014. Investigation of impacts of aerosols on Eastern Mediterranean region climate. İstanbul Teknik Üniversitesi / Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü / İklim ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalı / Yer Sistem Bilimi Bilim Dalı, 116 sayfa.
- [62] Kabataş, B., 2016. Quantification of Saharan dust influences on Eastern Mediterranean air quality via atmospheric modelling. İstanbul Teknik Üniversitesi / Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü / İklim ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalı / Yer Sistem Bilimi Bilim Dalı, 102 sayfa.
- [63] 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(12), 2335–2349.
- [64] Öztaner, Y.B., Kahraman, A., Çalışkan, E., Tilev Tanrıöver, Ş., Kahya, C., Aksoy, B., İncecik, S., Topçu, S., Aslan, Z., Barutçu, B., Sezen, İ., Sakarya, S., Deniz, A. 2014. Açık Gökyüzü Şartlarında Güneş Radyasyonunun WRF Modeli ile Kısa Vadeli Tahmininde Aerosol Etkisinin Değerlendirilmesi, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 3, 2 – 11.
- [65] Oğuz, K., Akın, B.S., 2019. Doğu Akdeniz Havzasında Sıcaklık, Yağış Ve Aerosol Değişiminin İncelenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 244–253.
- [66] Koçak, T. K., Ebrahimi, F., 2020. Uydulardan Elde Edilebilen Aerosol Optik Derinlik Verilerini Kullanarak Zemin Seviyesi İnce Partikül Konsantrasyonlarını Tahmin Etmek İçin Doğrusal Olmayan Bir Model Geliştirilmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(3), 119-127.
- [67] Zeydan, Ö., Wang, Y. 2019. "Using MODIS derived aerosol optical depth to estimate ground-level PM2.5 concentrations over Turkey", *Atmospheric Pollution Research*, 10(5), 1565–1576.
- [68] Tuna Tuygun, G., Gündoğdu, S., Elbir, T. 2021. "Estimation of ground-level particulate matter

- concentrations based on synergistic use of MODIS, MERRA-2 and AERONET AODs over a coastal site in the Eastern Mediterranean", *Atmospheric Environment*, 261, 118562.
- [69] He, Q., Zhang, M., Huang, B., Tong, X. 2017. "MODIS 3 km and 10 km aerosol optical depth for China: Evaluation and comparison", *Atmospheric Environment*, 153, 150–162.
- [70] Sayer, A.M., Munchak, L.A., Hsu, N.C., Levy, R.C., Bettenhausen, C., Jeong, M.J., 2014. "MODIS Collection 6 aerosol products: Comparison between Aqua's e-Deep Blue, Dark Target, and "merged" data sets, and usage recommendations", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 13965–13989.