

DOĞU ANADOLU GÖZLEMEVİ (DAG) VE ÇEVRESİ İÇİN ATMOSFERİK AEROSOL ANALİZİ

Kazım KABA¹, Cahit YEŞİLYAPRAK^{2,3} ve Funda YÜZLÜKOĞLU^{4,5}

¹Dr., Atatürk Üniversitesi, Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM), 25050, Yakutiye, Erzurum, kkaba46@gmail.com

²Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM), 25050, Yakutiye, Erzurum

³Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 25050, Yakutiye, Erzurum, cahity@atauni.edu.tr

⁴Dr. (Öğr.), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı, 25050, Yakutiye, Erzurum

⁵Araş. Gör., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 45140, Yunussemre, Manisa, funda.yuzlukoglu@cbu.edu.tr

ÖZET

Atmosferde hava içerisinde asılı bulunan sıvı veya katı parçacıklı yapılar atmosferik aerosol (AA) olarak tanımlanır. AA sağlık, ulaşım, görüş, çevre, bulut oluşumu, iklim ve astronomik gözlemler gibi birçok olguyu doğrudan ve dolaylı olarak etkiler. Aerosol parçacıkları, havadaki başlıca moleküllere göre önemli ölçüde daha düşük konsantrasyonlarda bulunmasına rağmen, havanın elektriksel iletkenliği, su buharının küçük çekirdeklerde yoğunlaşması ve daha sonra sis ve bulut damlacıklarının oluşumu, asit yağmurları ve sönümleme (saçılma ve soğurma) gibi çok sayıda fiziksel ve kimyasal işlemde çok önemli bir rol oynar. Astronomide yıldızlardan yayılan ışığın atmosferimizdeki fiziksel süreçlerin (saçılma, soğurma ve kırılma gibi) ardından teleskopa ulaşmasıyla astronomik veriler ve ürünler elde edilir. Işık atmosferdeki aerosoller ile etkileşimi gözlem verilerinin kalitesini doğrudan etkiler. Aerosoller atmosferin değişik seviyelerinde bulunarak atmosferde ışık ile farklı etkileşimde (Mie ve Rayleigh saçılması gibi) bulunur. Bu nedenle özellikle de kırmızı öte bölgede gözlem yapacak bir gözlemevinde, kaliteli astronomik gözlem verileri elde etmek için aerosol değerlerinin alansal ve zamansal dağılımı ayrıntılı analiz edilmelidir. Bu kapsamda, uydular sık ve güvenilir yerel, bölgesel ve küresel gözlemler ile aerosol tespiti ve izlenmesine imkân sağlamaktadır. Özellikle düşük yersel çözünürlüğe sahip yer tabanlı gözlemlerin olduğu bölgelerde aerosol değişiminin belirlenmesinde uydu bazlı ürünler önemli bilgi sunmaktadır. Aerosol optik derinliği (AOD), aerosol parçacıklarının ışık iletimini ne derece engellediğini gösteren bir parametredir. AOD verisi yer yüzeyinden yukarıya uzanan bir sütun içindeki aerosol miktarının bir ölçüsüdür. Bu çalışmada ise Suomi-NPP uydusundaki VIIRS algılayıcısına ait AOD verileri DAG yerleşkesi ve çevresi için konumsal ve zamansal olarak analiz edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Astronomi, Atmosferik aerosol, DAG, Uzaktan Algılama

ABSTRACT

Liquid or solid particulate structures suspended in the air in the atmosphere are defined as atmospheric aerosols (AA). AA directly and indirectly affects many phenomena such as health, transportation, visibility, environment, cloud formation, climate and astronomical observations. Although aerosol particles exist in significantly lower concentrations than the major molecules in air, they play an important role in numerous physical and chemical processes, such as the electrical conductivity of air, condensation of water vapor in small nuclei and subsequent formation of fog and cloud droplets, acid rain, and extinction (scattering and absorption). In astronomy, astronomical data and products are obtained when the light emitted from the stars reaches the telescope after the physical processes in our atmosphere (such as scattering, absorption and refraction). The interaction of light with aerosols in the atmosphere directly affects the quality of the observation data. Aerosols are found at different levels of the atmosphere and interact differently with light in the atmosphere (such as Mie and Rayleigh scattering). For this reason, the spatial and temporal distribution of aerosol values must be analyzed in detail in order to obtain high-quality astronomical observation data, especially at an observatory that will observe in the infrared region. In this regard, satellites enable aerosol detection and monitoring with frequent and reliable local, regional and global observations. Satellite-based products provide important information in determining aerosol changing, especially in regions where there are ground-based observations with low spatial resolution. Aerosol optical depth (AOD) is a parameter that indicates the extent to which aerosol particles block the transmission of light. AOD data is a measure of the amount of aerosol in a column extending up from the ground surface. In this study, the AOD data of the VIIRS sensor on the Suomi-NPP satellite were analyzed spatially and temporally for the DAG site and its surroundings.

ATMOSPHERIC AEROSOL ANALYSIS FOR THE EASTERN ANATOLIA OBSERVATORY (DAG) AND ITS SURROUNDINGS

Keywords: Astronomy, Atmospheric aerosol, DAG, Remote Sensing

1. GİRİŞ

Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM) bünyesinde yürütülen, T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı ve Atatürk Üniversitesi desteğiyle “Doğu Anadolu Gözlemevi” (DAG) Projesi (Türkiye’nin 2023 Vizyon Projesi) kapsamında; Türkiye’nin en büyük (4 m çaplı) ve ilk kırmızı öte (IR, <3 µm) teleskobuna sahip uluslararası gözlemevi, Erzurum - Konaklı’da (Karakaya Tepesi, 3170 metre rakım) kurulmaktadır. DAG Teleskobunun ve gözlemsel aygıtların performansını ile astronomik gözlemlerin kalitesini ve planlamasını doğrudan etkileyecek en önemli etken, anlık değişkenlik gösterebilen atmosferik şartlardır. Atmosferik ve meteorolojik olayların (yağış, bulut, sıcaklık değişimi, nem, yağışma, toz, molekül bolluğu ve çeşitliliği, rüzgâr, açık gece, vb.) ölçümleri ve analizleri, astronomik gözlemler ve ekipmanlar açısından gerekli ve yeterli bilgiyi rahatlıkla sağlayabilecektir.

Anlık ölçümler ve tahminler sayesinde, kısıtlı ve değerli olan hem gözlemsel aygıtlar (teleskop, optik, odak düzlemi aygıtları gibi) hem de gözlem zamanı (teleskop ve gözlem planlaması, aygıtsal hazırlık gibi) daha verimli kullanılır. Bu esasen, bütün sistemin (gözlemevi, ekipman, ekip, zaman gibi) performansına doğrudan yansıtacak önemli bir etkidir. Bu çalışma, astronomik gözlemleri etkileyen özellikle de kırmızı ötesi gözlemler için önemli bir atmosferik parametre olan aerosol konusuna odaklanmıştır.

Aerosol, bir akışkan içerisinde asılı bulunan sıvı veya katı parçacıklı yapılar olarak tanımlanmıştır. Parçacıkları, içerisinde bulunduran akışkan ortam hava ise bu yapı atmosferik aerosol (AA) olarak adlandırılır (Martins ve Tabacniks, 2009). AA daha çok troposferde olmak üzere (~%80) stratosfer ve mezosfer gibi atmosferin daha üst katmanlarında da bulunabilir. Aerosoller atmosferimize yerden yükselen parçacıkların girmesiyle, atmosfer dışından gelen kozmik parçacıklar nedeniyle ve atmosferdeki kimyasal süreçler vasıtasıyla meydana gelir. Atmosfere doğrudan giren aerosoller birincil (primary) ve atmosferde kimyasal yolla üretilen aerosoller ise ikincil (secondary) olarak adlandırılır. AA kaynağı bakımından doğal ve antropojenik (insan kaynaklı) olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal AA kaynaklarına denizler, çöller, orman yangınları ve yanardağlar, yapay kaynaklara ise endüstriyel faaliyetler ve trafik gibi fosil yakıtların tüketildiği insan kaynaklı etmenler örnek verilebilir (Tomasi ve Lupi, 2017). Doğal kaynaklı aerosoller gezegenimizde yaşamın devamı için gerekli süreçlerin oluşmasını sağlarken (bulut oluşumu ve yer yüzünün enerji dengesine olumlu katkı yapması gibi), yapay kaynaklı aerosoller ve aerosol miktarının artışı başta doğa ve insan yaşamı olmak üzere birçok konuda olumsuzluğa neden olur. Bunlara insan sağlığı, ekonomi, görüş mesafesi, hava olayları, enerji dengesi ve iklim gibi alanlar örnek verilebilir. Aerosoller fiziksel hallerine ve boyutlarına göre de sınıflandırılmaktadır. Aerosoller fiziksel hallerine göre, katı ve sıvı parçacıklar olarak tanımlandığı gibi boyutlarına göre de kaba (coarse), ince (fine) ve ultra ince (ultra fine) parçacıklar olarak adlandırılırlar (Tomasi ve Lupi, 2017; Hinds, 1999, Atmospheric sciences - 5200). Aerosollerin boyutu hem atmosferin değişik seviyelerinde bulunmasına hemde atmosferde ışık ile farklı etkileşimde (Mie ve Rayleigh saçılması gibi) bulunmasına neden olur. Aerosol parçacıkları, havadaki başlıca moleküllere göre önemli ölçüde daha düşük konsantrasyonlarda bulunur. Buna rağmen, aerosol parçacıkları, havanın elektriksel iletkenliği, su buharının küçük çekirdeklerde yoğunlaşması, asit yağmurları, saçılma ve hem gelen kısa dalga radyasyonunun saçılması hem de uzun dalga radyasyonun soğurulması gibi çok sayıda fiziksel ve kimyasal işlemlerde çok önemli roller oynar. Atmosferik aerosoller ile yer yüzüne gelen Güneş radyasyon akısı ve yerden yayılan radyasyon akısı arasındaki etkileşim süreçleri, gezegenimizin enerji dengesinin tanımlanmasında ve dolayısıyla Dünya'nın ikliminde önemli bir rol oynamaktadır (Tomasi ve Lupi, 2017; Chylek ve Coakley, 1974). Astronomide ise yıldızlardan yayılan ışığın atmosferimizdeki fiziksel süreçlerin (saçılma, soğurma, kırılma gibi) ardından teleskopa ulaşmasıyla astronomik veriler veya ürünler elde edilir. Işığın atmosferdeki aerosoller ile etkileşimi gözlem verilerinin kalitesini doğrudan etkiler.

Yer atmosferi, astronomik gözlemevinde yapılan astronomik gözlemleri ve gözlemin kalitesini belirleyen önemli bir parametredir. Atmosferin saçılma ve soğurma ile ölçülen ışık şiddetini azaltması atmosferik sönmüleme (AS) olarak tanımlanır. Yer atmosferinde AS'nin üç kaynağı vardır. Bunlar moleküllerin neden olduğu Rayleigh saçılması, aerosol saçılması ve moleküler (başlıca H₂O, O₃ ve O₂) soğurmadır. AS dalga boyuna, yüksekliğe ve zamana bağlılık gösterir (Hayes ve Latham, 1975). Bu üç sönmüleyici karşılaştırıldığında optik bölgede Rayleigh saçılması sönmülemeye en fazla katkı yaparken aerosol etkisi daha küçük olup moleküler soğurmanın düşük sönmüleme nedeniyle ihmal edildiği durumlar da vardır (Mohan vd., 1999; Voziakova, 2012). Atmosferde aerosol olmadığında Rayleigh saçılması da düşük sönmülemeye neden olur. Kızılötesi bölgede ise Rayleigh ve aerosol saçılması düşük olup özellikle başta su buharı olmak üzere moleküler soğurma yüksek olmaktadır (Voziakova, 2012). Farklı dalga boylarındaki ışık (genel olarak elektromanyetik dalga) etkileştiği parçacıkların yapısı ve boyutuna göre davranış gösterir. Örneğin ışığın dalga boyu etkileştiği parçacığın boyutundan büyük ise Rayleigh saçılması gerçekleşir. Bir diğer olgu, atmosferin kırıcılık indisi düşük kaliteli gözlem ürünü alınmasına neden olur. Eğer kırıcılık indisi büyük olursa hedef nesne gerçek konumundan daha fazla sapma gösterecektir. Bu durumda alınan görüntülerdeki bu sapmayı düzeltmek için daha fazla çaba harcamak gerekecektir. Aerosoller ise farklı yapı ve büyüklüğe sahip olup atmosferin kırıcılığını ve hedef nesnenin sapmasını olumsuz etkiler. Örneğin 500 nm dalga boyunda ışığın reel kırılma indeksi silikat için 1.48, toz (dust; aerosol türü) için 1.54, volkanik kül (volcanic ash; aerosol türü) için 1.50, is (soot; aerosol türü) için 1.82, organik madde için 1.45 ve su için 1.33 değerindedir (Pakstiene, 2001). Bu nedenle astronomik bir gözlemevi için aerosol miktarının incelenmesi AS için daha ayrıntılı bilgi verecektir. Ayrıca hava içeriğinin zamanla değişmesi ve farklı dalga boylarında farklı sönmüleme değerlerinin olması nedeniyle bir gözlemevi için aerosol değerleri hem zamansal hem de mümkün olduğu ölçüde farklı dalga boylarında incelenmelidir.

2. ÇALIŞMA ALANI, VERİ VE YÖNTEM

Çalışma alanı olarak DAG yerleşkesi ve çevresi ele alınmıştır. Bu çalışma ile gözlemevi yerleşkesi ve çevresi için atmosferik aerosol değerleri uydu verilerinden mekânsal ve zamansal analizi sunulmaktadır. Bu kapsamda Suomi-NPP uydusundaki VIIRS algılayıcısından elde edilen çeşitli veri setlerine sahip AERDB L2 aerosol ürünü kullanılmıştır. AERDB L2 ürünü kara ve su yüzeyi için farklı dalga boylarında aerosol optik derinliği, aerosol tipleri, Angstrom exponent, yağışabilir su, reflektans, ozon ve rüzgâr ile enlem, boylam, azimut ve zenit gibi açılı değerlerini içermektedir. Bu ürün küresel ölçekte, uydu alt noktasında 6 km yersel çözünürlükte, kara yüzeyinde DB (Deep Blue)

ve su yüzeyinde SOAR (Satellite Ocean Aerosol Retrieval) algoritmalarıyla, 550 nm referans dalga boyunda ve 6 dakikalık kayıtlar olarak üretilmektedir (Sayer vd., 2018). Ürün DAG yerleşkesi çevresini ve 2012-2020 yılları arsını kapsayacak şekilde analiz edilmiştir. AERDB L2 ürünü içerisindeki “Aerosol_Optical_Thickness_550_Land_Ocean” verileri kullanılmıştır.

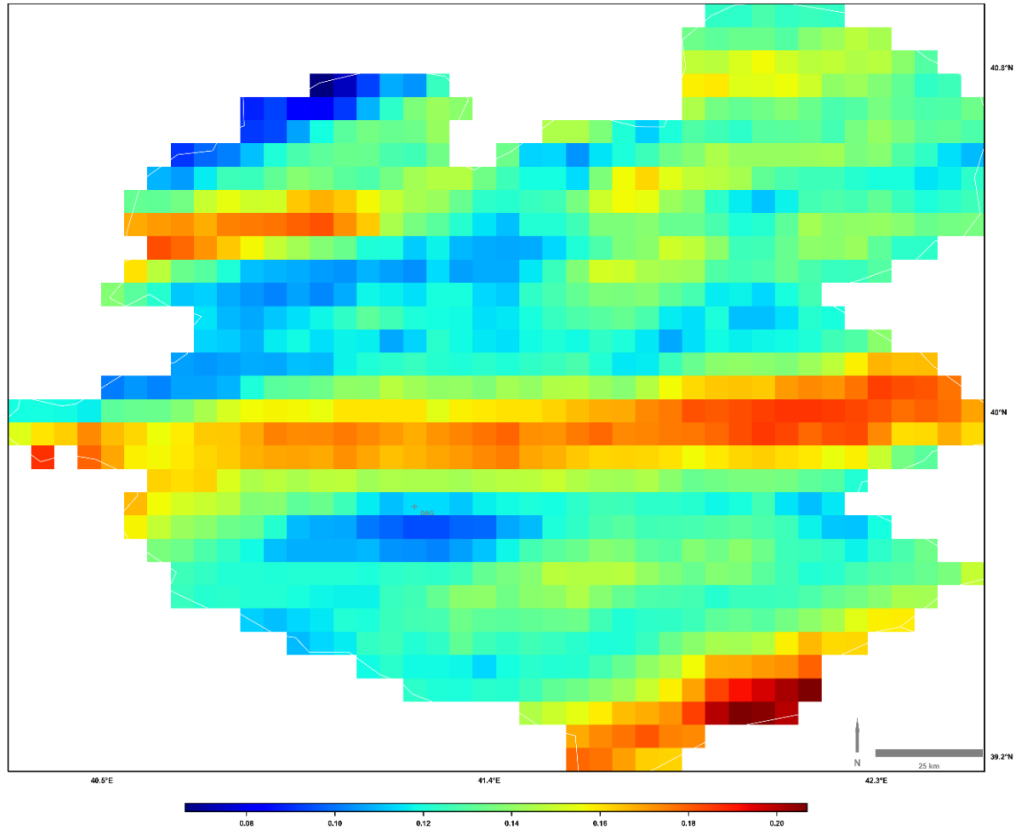
DB algoritması (<https://deepblue.gsfc.nasa.gov>), 2004 yılından bu yana kara üzerindeki aerosol özelliklerini belirlemek için çeşitli uydu algılayıcılarına (SeaWiFS, AVHRR, MODIS ve VIIRS) başarıyla uygulanmaktadır. 2012'den bu yana ise SOAR algoritması, SeaWiFS, AVHRR ve VIIRS için okyanus üzerinde aerosol verisi sağlamak için kullanılıyor. DB algoritması başlangıçta, düşük yansıma veren yoğun bitki örtüsüne dayalı mevcut DT (Dark Target) algoritmasının çöller ve kentsel alanlar gibi bazı parlak arazi yüzeyleri üzerinde uzaktan algılanan AOD veri kümelerindeki boşlukları doldurmak için geliştirildi. Daha sonra DB algoritması geliştirilerek yeni yaklaşımda karanlık yüzeylere (dark target) de uygulanmıştır. Böylece DB algoritması bulut ve kar olmayan tüm pikselleri kapsar hale gelmiştir. Algoritma SeaWiFS ve MODIS kayıtlarına uygulanarak aerosol verisi elde edilmiştir. Son zamanlarda ise bu DB yaklaşımı AVHRR ve VIIRS algılayıcılarından alınan kayıtlara uyarlanmıştır (Hsu vd., 2013; https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/viirs/SNPP-VIIRS_DB_Aerosol_ATBD.pdf).

AERDB L2 ürünü ile 2012 Mart ayından günümüze kadar veri sağlanmaktadır. Bu çalışma için ise Mart/2012 – 2020 tarihleri arasını ve DAG çevresini kapsayan 6 dakikalık kayıtlardan oluşan veriler temin edilmiştir. Her bir gün için çalışma alanının görüntüsünü elde etmek için 6 dakikalık kayıtlardan oluşan görüntüler koordinatlandırılarak (georeferencing) ve birleştirilerek (image mosaicing) DAG çevresini kapsayan görüntüler GeoTIFF dosya formatında elde edilmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere 550 nm referans dalga boyunda AOD görüntüleri hazırlanmıştır. Bu görüntüler GeoTIFF dosya formatında, 6 km (0.054 derece) yersel piksel çözünürlüğünde, Coğrafik koordinat sisteminde, Coğrafik enlem-boylam projeksiyonunda ve WGS84 datum ve elipsoidinde olacak şekilde üretilmiştir.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Astronomide özellikle de kırmızı öte bölgede gözlem yapacak bir gözlemevinde, aerosol değerleri astronomik gözlem verilerinin kalitesini etkiler. Bu nedenle gözlemevi yerleşkesinin aerosol değerleri ayrıntılı analiz edilmelidir. Bu kapsamda DAG yerleşkesi ve çevresinin aerosol değerlerini daha ayrıntılı incelemek için Erzurum ilini kapsayan VIIRS uzun yıllık ortalama AOD haritası üretilmiştir (Şekil 1) Ayrıca DAG yerleşkesine en yakın piksellerin aerosol değerleriyle zamansal analizler yapılmıştır. Çalışmada VIIRS 550 nm AOD verileri için günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerin zamansal değişimleri verilmiştir. VIIRS 550 nm dalga boyunda hem kara hem de su yüzeyi için aerosol bilgisi sağlaması ve geleneksel olarak aerosol çalışmalarında bu spektral bandın yaygın kullanılması nedeniyle aylık, mevsimlik ve yıllık haritaların üretilmesinde bu dalga boyunda sağlanan AOD verileri kullanılmıştır.

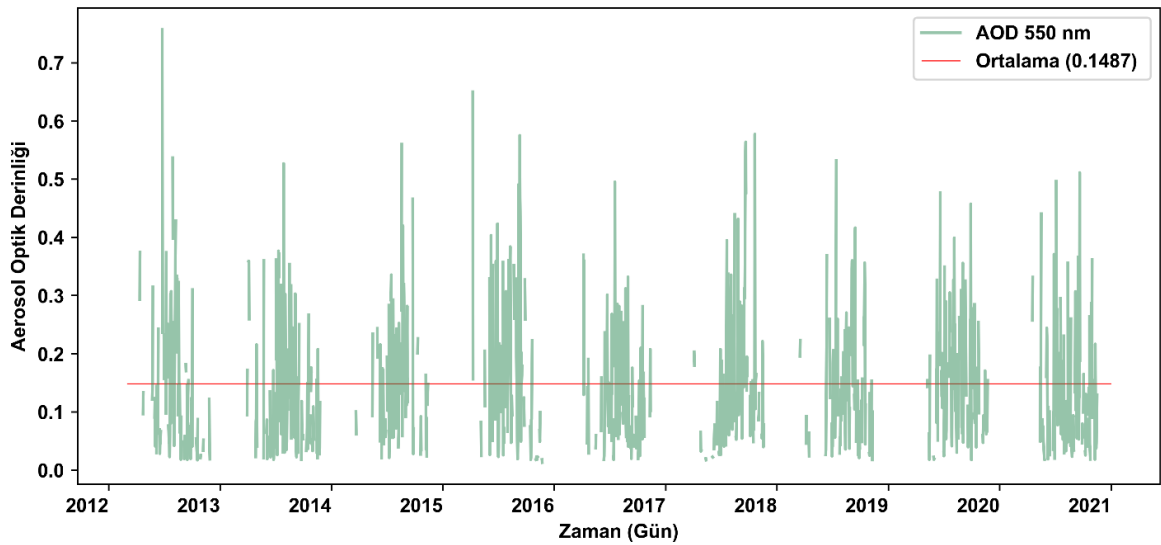
Şekil 1'den harita incelendiğinde, yüksek aerosol değerleri, DAG yerleşkesinin kuzeyinde kalan ve yerleşim alanlarını kapsayan Batı – Doğu ekseninde (Erzincan tarafından Aşkale, Kandilli, Aziziye, Erzurum, Pasinler ve Horasan ilçeleri üzerinden Kars – Ağrı sınırına) gerçekleşmiştir. Bu eksen boyunca ölçülen yüksek aerosol değerleri ulaşım, sanayi ve tarım gibi yoğun insan faaliyetleri nedeniyle anlamlıdır. Ayrıca bu şerit çevresine göre düşük rakıma (~1800 m) sahip bir vadi içerisindedir. Erzurum sınırları içindeki yüksek aerosol değerli bir diğer bölge DAG yerleşkesinin Güney – Doğu yönünde kalan Erzurum – Muş sınırında görülmektedir. Bu bölgedeki arazi ve toprak yapısı, düşük bitki örtüsü ile sınıra yakın yerleşimler aerosolün yüksek olmasına etkindir. Ayrıca DAG yerleşkesinin Kuzey – Batı tarafında Erzurum – Bayburt sınırına yakın Sergenkaya, Cennetpınarı ve Sadaka civarında yüksek aerosol değerleri görülmektedir. Bu bölgenin kayalık olup bitki örtüsüne sahip olmaması buna neden olmuştur. Erzurum için genel olarak düşük rakımlı yerler, yerleşim alanları, toprak türü, düşük bitki örtüsü ile komşu iller nedeniyle (örneğin Muş) yüksek aerosol değerleri oluşmuştur. Yüksek rakıma sahip bölgeler düşük aerosol ve çevresine göre rakımı düşük olan bölgelerde ise yüksek aerosol değerleri görülmektedir. Haritadan DAG yerleşkesi ve çevresinin düşük aerosol değerlerine sahip olduğu görülür. Özellikle yerleşkenin güneyi ve Batı-Doğu doğrultusunda nispeten geniş bir alan düşük AOD değerlerine sahiptir. Ancak DAG yerleşkesinin kuzeyinde yüksek AOD değerleri görülmeye başlanmaktadır. Genel olarak DAG yerleşkesi için kuzeyindeki kent yerleşim alanı yerleşkeye en yakın nispeten yüksek AOD değeri içeren bölgedir. Bu durumda özellikle düşük/küçük yükseklik açısında gözlem yapıldığında kuzey yönünde elde edilen veriler daha düşük kalitede veya ekstra maliyetli olacaktır. DAG çevresinde diğer yönlerde geniş bir alan oldukça düşük AOD değerlerine sahiptir. VIIRS AOD 0 – 5 aralığında birimsiz bir veri olmasına karşın Erzurum için çok dar bir aralıkta değişim göstermektedir. Erzurum 550 nm AOD haritası için minimum, maksimum, ortalama, medyan ve standart sapma değerleri sırasıyla 0.0661, 0.2068, 0.1364, 0.1323 ve 0.0220 olarak hesaplanmıştır. DAG konumuna denk gelen ortalama AOD değeri ise 0.1140'dır.



Şekil 1. DAG'ı kapsayan 550 nm dalga boyunda uzun dönem (2012-2020) ortalama AOD haritası

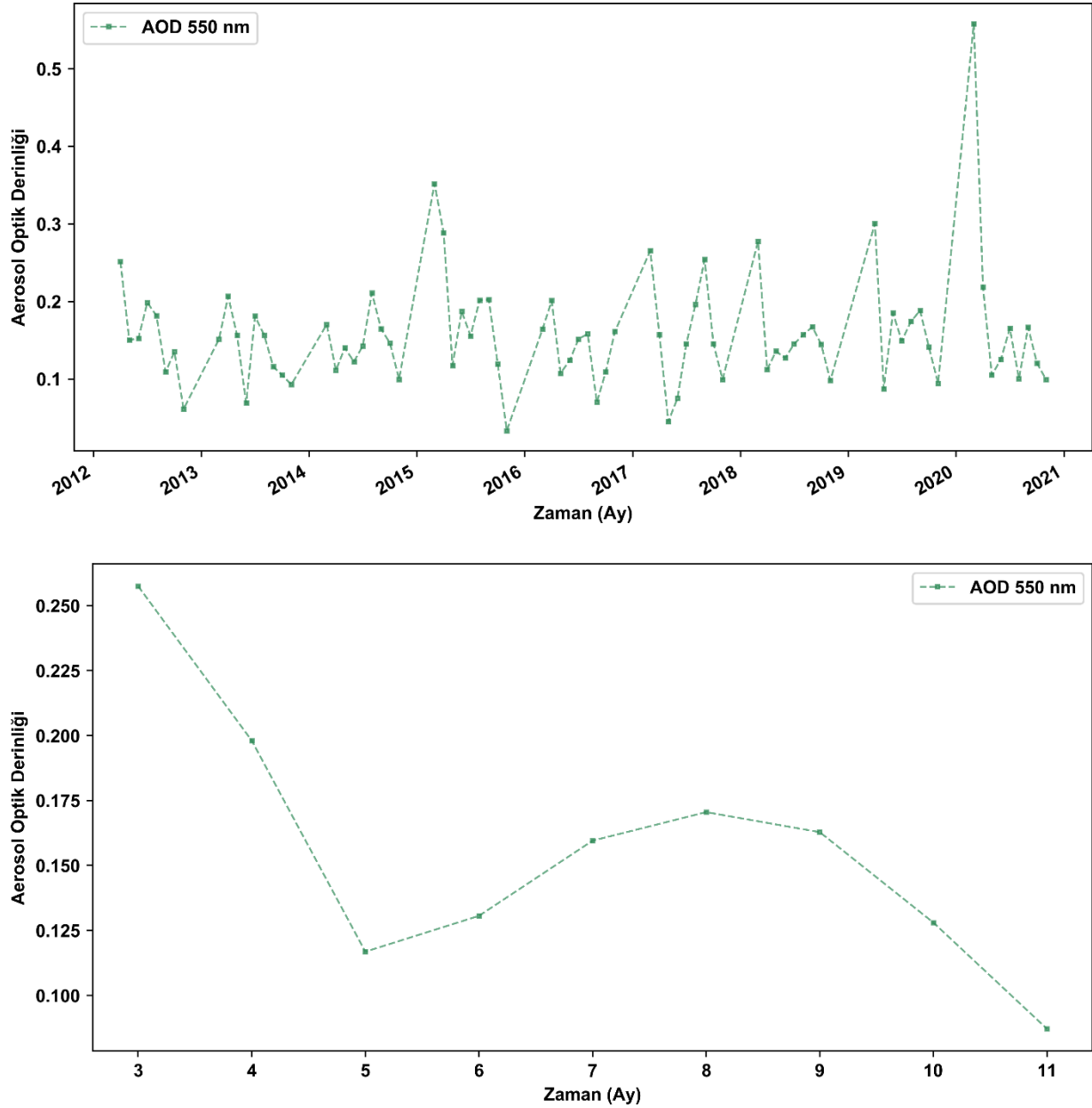
Çizelge 1. DAG yerleşkesinin günlük AOD istatistiksel değerleri

İndeks	1X1 Piksel	3X3 Piksel (Ortalama)	3X3 Piksel (Medyan)	5X5 Piksel (Ortalama)	5X5 Piksel (Medyan)
Veri sayısı	686	1133	1133	1449	1449
Minimum	0.0154	0.0131	0.0131	0.0173	0.0168
Maksimum	0.5938	0.7572	0.7572	1.0046	1.0046
Ortalama	0.1140	0.1487	0.1459	0.1751	0.1702
Medyan	0.0875	0.1184	0.1155	0.1427	0.1366
Standart sapma	0.0982	0.1142	0.1159	0.1304	0.1333



Şekil 2. DAG yerleşkesinin 550 nm dalga boyunda günlük AOD değerleri

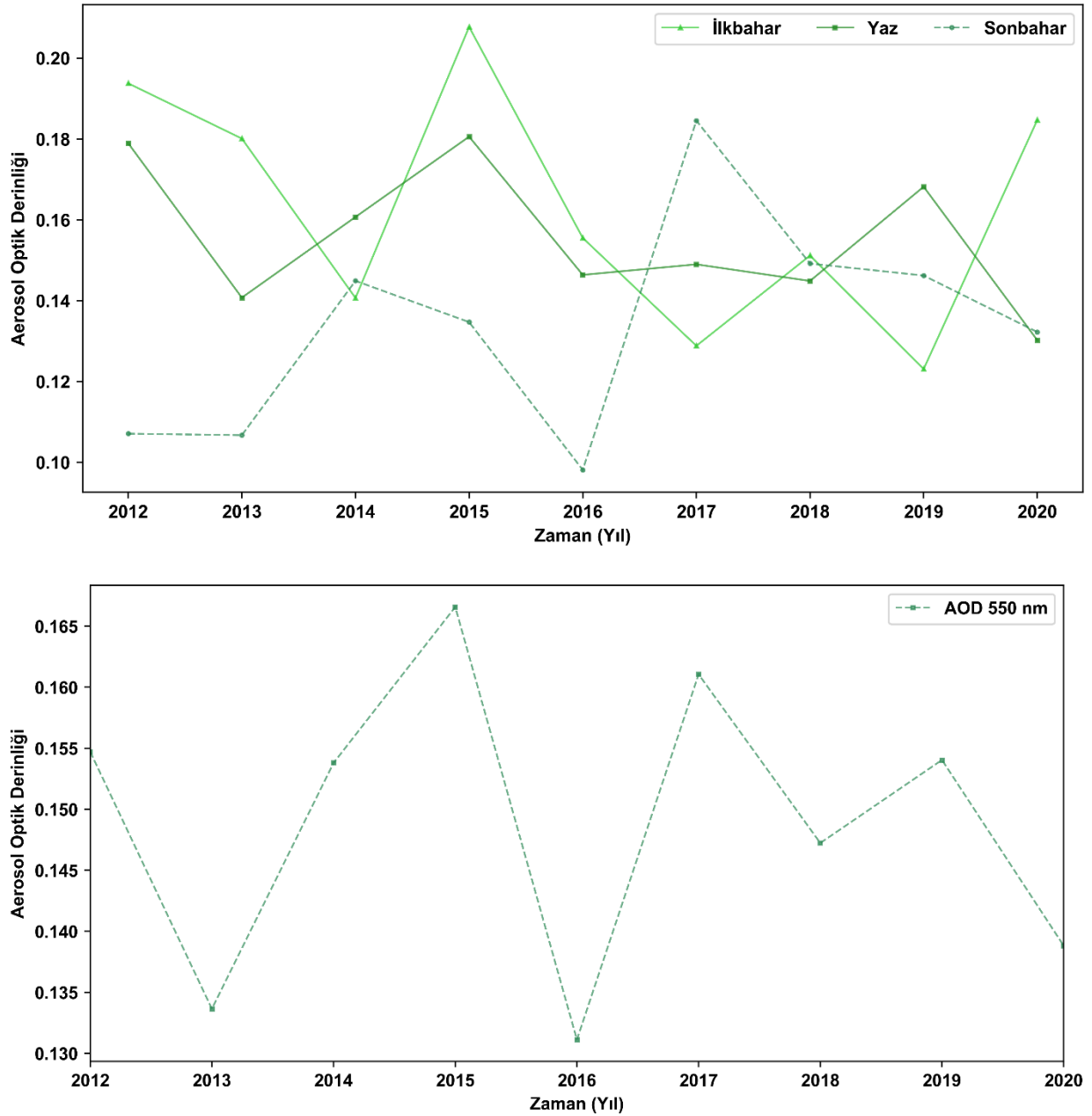
DAG yerleşkesine en yakın piksellerin aerosol değerleriyle zamansal analizler yapılmıştır. Bu kapsamda VIIRS 550 nm AOD verileri için günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerin zamansal değişimleri verilmiştir. VIIRS 550 nm AOD günlük veri setinin istatistiksel değerleri Çizelge 1’de ve değerlerin değişim grafiği de Şekil 2’de verilmiştir. Veri setinin uzunluğunu artırmak ve DAG yerleşkesinin değerlerini çevresiyle karşılaştırmak için çizelgede dokuz (3X3) ve 25 (5X5) pikselin de değerleri verilmiştir. Şekil 2’de DAG yerleşkesine en yakın dokuz (3X3) pikselin ortalama değerlerinin zaman serisi verilmiştir. Çizelge ve Şekil birlikte değerlendirildiğinde tek bir piksel için DAG yerleşkesinin AOD değerleri 0.0154 – 0.5938 arasında ve 0.1140 ortalama değer civarında değişim göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi kış aylarında AOD değerleri sağlanamamıştır. Çizelgeden bir pikselin ortalama ve medyan değeri 0.1140 ve 0.0875 iken dokuz pikselin ortalama ve medyan değeri 0.14 ve 0.11 ve 25 pikselin ortalama ve medyan değeri 0.17 ve 0.14 civarındadır. Merkezde DAG yerleşkesi olacak şekilde dışa doğru genişleyen bir alan için yapılan bu hesaplamalar yerleşkeden uzaklaştıkça aerosol değerlerinin arttığını göstermektedir. Yerleşkenin çevresine göre daha düşük aerosol değerlerine sahip olması bir yandan olumlu iken öte yandan etraftaki aerosolün hava akımları ile taşınma olasılığı da vardır.



Şekil 3. DAG yerleşkesinin 550 nm dalga boyunda aylık ortalama (üstte) ve uzun dönem aylık ortalama AOD değerleri (altta)

VIIRS 550 nm günlük dokuz (3X3) pikselin ortalama AOD değerlerinden hesaplanan aylık, uzun yılların aylık, mevsimlik ve yıllık ortalama değerlerinin zamansal değişimleri Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 3’de aylık değerler 0.0337 ile 0.5582 aralığında ve 0.1573 ortalama değeri civarında değişim göstermektedir. 2012 – 2020 yılları arasındaki aylık değerlerin değişimi kararlı olup azalma veya artış eğilimi söz konusu değildir. Şekilden uzun yılların

(2012 – 2020) aylık ortalama AOD grafiği incelendiğinde, DAG yerleşkesinde tek bir pikselin aldığı minimum ve maksimum değerler 0.0721 (Kasım ayı) ve 0.2858 (Mart ayı) olarak hesaplanmıştır. Tek bir piksel için yüksek AOD değerleri Mart, Eylül, Ağustos, Temmuz ve Nisan aylarında ve düşük AOD değerleri de Kasım, Mayıs, Haziran ve Ekim aylarında gerçekleşmiştir. Dokuz piksel (3X3) alanı için ortalama değerlere göre yüksek AOD değerleri Mart, Nisan, Ağustos, Eylül ve Temmuz aylarında ve düşük AOD değerleri de Kasım, Mayıs, Ekim ve Haziran aylarında gerçekleşmiştir. Erzurum için Aralık, Ocak ve Şubat hariç (veri yok) diğer aylar dikkate alındığında ortalama AOD değerleri 0.0803 (Kasım ayı) ile 0.1623 (Ağustos ayı) aralığında değişmektedir. Yüksek ortalama AOD değerleri sırasıyla Ağustos, Mart, Temmuz, Eylül, Haziran, Ekim ve Nisan aylarında iken düşük ortalama AOD değerleri sırasıyla Kasım ve Mayıs aylarında hesaplanmıştır. VIIRS aerosol ürünü Aralık, Ocak ve Şubat aylarında veri sağlamadığı gibi, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında bu ürünün doğruluğu düşük kalmaktadır. Bu durum yüzeyde bulunan kar miktarının ve kar'ın fiziksel yapısının (sulu kar) farklı yansıma karakteristiği göstermesi ile açıklanabilir. Haziran'dan Kasım'a kadar aerosol değerleri önce artışa geçip Ağustos ayından itibaren ise düşüş göstermektedir. DAG yerleşkesi için Aralık, Ocak ve Şubat aylarında kar nedeniyle aerosol değerleri hesaplanamamıştır. Mart ayında ise karın fiziksel yapısı nedeniyle yüksek aerosol değerleri hesaplanmıştır. Diğer aylar içinde Ağustos ve Eylül yerleşkede en yüksek aerosol değerlerinin ölçüldüğü aylardır.



Şekil 4. DAG yerleşkesinin 550 nm dalga boyunda mevsimlik (üstte) ve yıllık ortalama AOD değerleri (altta)

Şekil 4'te DAG yerleşkesi için AOD değerlerinin kış hariç (veri yok) yıllara göre mevsimsel (üst) ve yıllık (alt) değişimleri verilmiştir. Mevsimlik grafik incelendiğinde hem mevsimler bazında hemde yıllara göre aerosol değerleri

dalgalanmalar göstermektedir. AOD değerlerinin büyüklük sırası ilkbahar, yaz ve sonbahar şeklinde gerçekleşmiştir. İlk bahar değerleri 0.1231 – 0.2077 (2019 ve 2015) aralığında, yaz değerleri 0.1302 – 0.1806 (2020 ve 2015) aralığında ve sonbahar değerleri 0.0981 – 0.1845 (2016 ve 2017) aralığında değişmiştir. Mevsimlerin ortalama değerleri ilkbahar, yaz ve sonbahar için sırasıyla 0.1628, 0.1555 ve 0.1337 olarak hesaplanmıştır. Özellikle sonbahar değerleri son yıllara doğru ciddi bir artış gösterirken ilkbahar ve yaz değerleri ise azalma eğilimindedir. Şekilde yıllık AOD değerlerinin değişim grafiği incelendiğinde DAG için yıllık ortalama AOD değerleri 0.1311 – 0.1666 (2016 ve 2015) aralığında ve 0.1490 değeri civarında değişim göstermektedir. 2012 – 2020 yılları arasında DAG AOD değerleri kararlı bir değişime sahip olup 2015 ve 2017 yılları nispeten yüksek değerli iken 2013 ve 2016 yıllarında düşük değerler görülmektedir.

Erzurum alanı için çalışma zaman diliminde (2012 – 2020) ilkbahar mevsiminde ortalama aerosol verisi diğer mevsimlere göre daha geniş bir değer aralığına sahiptir. İlkbahar mevsim için DAG çevresinde (kuzeyde kent yerleşim yerleri hariç) ve şehrin kuzeyinde düşük aerosol değerleri hesaplanmıştır. Bu bölgeler yüksek rakıma sahip olan yerler olup çevresine göre daha uzun süre kar örtüsüne sahip alanlardır. Erzurum'da yüksek aerosol değerleri yaz ve sonbahar mevsimlerinde hesaplanmıştır. Bu mevsimlerde kış ve ilkbaharın aksine aerosolün alansal dağılımı daha karardır. Ortalama AOD değerleri büyükten küçüğe yaz, sonbahar, ilkbahar ve kış şeklinde sıralanır. DAG yerleşkesi için ortalama AOD değerleri büyükten küçüğe ilkbahar, yaz ve sonbahar şeklindedir. Arazi şekli, toprak yapısı, rakım, ova, yerleşim yerleri, ulaşım-yakıt-ısıtma vb. insan faaliyetleri gibi nedenlerden dolayı yıllar içinde aerosol değerleri küçük değişimler dışında kararlı bir alansal değişime sahiptir. Erzurum'un yıllık ortalama AOD değerleri 0.1164 (2013 yılı) ile 0.1576 (2017 yılı) aralığında değişmiştir. Yıllık bazda 2017, 2015, 2019 ve 2014 yılları yüksek değerlere sahip iken 2013, 2016, 2012 ve 2020 yıllarında nispeten düşük değerler hesaplanmıştır.

4. SONUÇLAR

Çalışmada uzaktan algılama verileriyle Erzurum ve DAG yerleşkesi için atmosferik aerosolün alansal ve zamansal dağılımı ve değişimi analiz edilmiştir. Bu çalışma hem bölge ve yerleşke atmosferinin aerosol bakımından mevcut durumunu tespit etmekte hem de DAG'nin faaliyete geçmesiyle yapılacak gözlem planlamalarına katkı sunmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- Erzurum için genel olarak düşük rakımlı yerler, yerleşim alanları, toprak türü, düşük bitki örtüsü ile komşu iller nedeniyle yüksek aerosol değerleri oluşmuştur.
- DAG yerleşkesinin güneyi ve Batı-Doğu doğrultusunda nispeten geniş bir alan düşük AOD değerlerine sahiptir. Ancak DAG yerleşkesinin kuzeyinde yüksek AOD değerleri görülmeye başlanmaktadır.
- Genel olarak DAG yerleşkesi için kuzeyindeki kent yerleşim alanı yerleşkeye en yakın nispeten yüksek AOD değeri içeren bölgedir. Bu durumda özellikle düşük/küçük yükseklik açısında gözlem yapıldığında kuzey yönünde elde edilen veriler daha düşük kalitede veya ekstra maliyetli olacaktır.
- Merkezde DAG yerleşkesi olacak şekilde dışa doğru genişleyen bir alan için yapılan hesaplamalar yerleşkeden uzaklaştıkça aerosol değerlerinin arttığını göstermektedir.
- DAG yerleşkesi için yüksek AOD değerleri Mart, Eylül, Ağustos, Temmuz ve Nisan aylarında ve düşük AOD değerleri de Kasım, Mayıs, Haziran ve Ekim aylarında gerçekleşmiştir.
- Erzurum için yüksek ortalama AOD değerleri sırasıyla Ağustos, Mart, Temmuz, Eylül, Haziran, Ekim ve Nisan aylarında iken düşük ortalama AOD değerleri sırasıyla Kasım ve Mayıs aylarında hesaplanmıştır.
- DAG yerleşkesinin mevsimlere göre AOD değerlerinin büyüklük sırası ilkbahar, yaz ve sonbahar şeklinde gerçekleşmiştir. Yerleşkenin sonbahar değerleri son yıllara doğru ciddi bir artış gösterirken ilkbahar ve yaz değerleri azalma eğilimindedir.
- Erzurum'un mevsimlere göre AOD değerlerinin büyüklük sırası yaz, sonbahar ve ilkbahar şeklinde gerçekleşmiştir.
- 2012 – 2020 yılları arasında DAG AOD değerleri kararlı bir değişime sahip olup 2015 ve 2017 yılları nispeten yüksek değerli iken 2013 ve 2016 yıllarında düşük değerler hesaplanmıştır.
- Erzurum'un yıllık ortalama AOD değerleri 0.1164 (2013 yılı) ile 0.1576 (2017 yılı) aralığında değişmektedir.
- Erzurum'un yıllık ortalama AOD değerleri 2017, 2015, 2019 ve 2014 yıllarında nispeten yüksek değerlere sahip iken 2013, 2016, 2012 ve 2020 yıllarında düşük değerler hesaplanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM), Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Projesi (Proje No: 2011K120230) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK) 2218 Programı (Proje No: 118C467) kapsamında desteklenmiştir. ATASAM, DAG ve TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Bu yayın TÜBİTAK-2218-Yurt İçi Doktora Sonrası Araştırma Burs Programından (Proje No: 118C467) yararlanılarak oluşturulmuştur. Ancak yayın ile ilgili tüm sorumluluk yayının sahibine aittir. TÜBİTAK'tan alınan maddi destek, yayının içeriğinin bilimsel anlamda TÜBİTAK tarafından onaylandığı anlamına gelmez.

KAYNAKLAR

- Atmospheric Sciences 5200**, *Introduction to Atmospheric Aerosols*. Utah University. http://home.chpc.utah.edu/~hallar/cloud_physics/lecture1.pdf.
- Chýlek, P. ve Coakley, J. A.**, 1974. Aerosols and climate. *Science*, 183(4120), 75-77.
- Hayes, D. S. ve Latham, D. W.**, 1975. A rediscussion of the atmospheric extinction and the absolute spectral-energy distribution of VEGA. *The Astrophysical Journal*, 197, 593-601.
- Hinds, W. C.**, 1999. *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles (1st Edition)*. New York: John Wiley & Sons.
- Hsu, N. C., Jeong, M. J., Bettenhausen, C., Sayer, A. M., Hansell, R., Seftor, C. S., Huang, J. ve Tsay, S. C.**, 2013. Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(16), 9296-9315.
- Martins, J. V. ve Tabacniks, M. H.**, 2009. *University of Maryland Baltimore County - UMBC, Phys650 - Special Topics in Experimental Atmospheric Physics (Spring)*. UMBC userpages. https://userpages.umbc.edu/~martins/PHYS650/Aerosols_Size_Effects_Health.pdf.
- Mohan, V., Uddin, W., Sagar, R., ve Gupta, S. K.**, 1999. Atmospheric extinction at devasthal, naini tal. *Astronomical Society of India*, 27(4), 601-608.
- Pakstiene, E.**, 2001. The dependence of atmospheric extinction on meteorological conditions and aerosol size distribution. *Baltic Astronomy*, 10, 651-669.
- Tomasi, C. and Lupi, A.**, 2017. *Primary and Secondary Sources of Atmospheric Aerosol*. Wiley-vch. https://application.wiley-vch.de/books/sample/3527336451_c01.pdf.
- Sayer, A. M., Hsu, N. C., Lee, J., Bettenhausen, C., Kim, W. V. ve Smirnov, A.**, 2018. Satellite Ocean Aerosol Retrieval (SOAR) algorithm extension to S-NPP VIIRS as part of the “Deep Blue” aerosol project. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(1), 380-400.
- Voziakova, O. V.**, 2012. Atmospheric transparency over Mount Shatdzhatmaz in the optical and near-infrared ranges. *Astronomy letters*, 38(4), 271-279.