



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Türkiye ve Yakın Çevresinde Güneş Fotometreleri ile Elde Edilen Aerosol Optik Derinliği Verisinin Zamansal ve Mekansal Değişimi

 Elif TEZCAN ^a,  Selin KARSLIOĞLU ^a,  Gizem TUNA TUYGUN ^a,  Tolga ELBİR ^{a,*}

^a Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: tolga.elbir@deu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.960072

ÖZ

Yer seviyesinde konumlandırılmış AERONET ağına bağlı güneş fotometreleri ile belirlenen Aerosol Optik Derinliği (AOD), atmosferik aerosollerin izlenmesinde kullanılan temel parametredir. Kısaca, belli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin atmosferdeki aerosoller nedeniyle azalması olarak tanımlanan bu parametrenin bir bölgede mekansal ve zamansal değişimlerinin belirlenmesi o bölge atmosferinde aerosol varlığına ve özelliklerine ilişkin önemli bilgiler vermektedir. Bu çalışma kapsamında, ülkemizin de içinde yer aldığı Doğu Akdeniz bölgesinde 2008-2018 yılları arasındaki toplam 10 AERONET istasyonunda AOD değişimleri incelenmiştir. Değerlendirmeler farklı zaman dönemleri (yıllık, mevsimlik ve aylık) için ayrı ayrı yapılmıştır. Buna göre, çalışma alanı içinde AOD verilerinin mevsimlere göre farklılık gösterdiği ortaya konmuştur. İlkbahar ve yaz aylarında büyük AOD değerleri elde edilirken sonbahar ve kış aylarında daha küçük değerler görülmüştür. Türkiye’de yer alan kırsal istasyonda, kentsel istasyona göre daha büyük AOD değerleri elde edilmiştir. Özellikle yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri kırsal istasyonun Afrika ve Asya kaynaklı toz taşınımından en çok etkilendiği mevsimler olup, bu durumun istasyonda büyük AOD değerlerinin ölçülmesine neden olduğu bilinmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen Türkiye ve yakın çevresinde yer alan 8 AERONET istasyonunda aylık değişimlerin birbirine benzediği, en çok veri sayısına yaz aylarında (Temmuz ve Ağustos) ulaşıldığı görülmüştür. En az veri sayıları ise kış mevsiminde Aralık ve Ocak aylarında elde edilmiştir. Diğer istasyonlardan farklı olarak toz taşınımından etkilendiği bilinen Atina (ATHENS-NOA), Kıbrıs Limasol (CUT-TEPAK), Girit adası (FORTH_CRETE) ve İskeçe (Xanthi) gibi Akdeniz Bölgesi istasyonlarında ilkbahar aylarında, Türkiye’de yer alan kırsal istasyonda olduğu gibi büyük AOD değerleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen AOD verisi yardımıyla, bölgede yer seviyesindeki partikül madde konsantrasyonlarının tahminine yönelik istatistiksel tahmin modellerinin hazırlanması mümkün olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Aerosol optik derinliği, Aerosol, AOD, AERONET, Türkiye, Doğu Akdeniz

Temporal and Spatial Variation of Aerosol Optical Depth Data from Sun Photometers in Turkey and its Surroundings

ABSTRACT

Aerosol Optical Depth (AOD) is the main parameter monitored by sun photometers located at the ground in the AERONET network for the monitoring of atmospheric aerosols. AOD is defined as the reduction of electromagnetic energy of a certain wavelength due to aerosols in the atmosphere. It provides significant information about the spatial and temporal variations of aerosols and aerosol properties in a region. In this study, variation of AOD at 10 AERONET stations in the Eastern Mediterranean region including Turkey were determined between 2008-2018. Results were analyzed in different temporal scales including annual, seasonal, and monthly. The results indicated that the AOD data differed by season in the study area. In general, larger

AOD values were obtained at the rural station in Turkey compared to the urban station. Especially the rural station is mostly affected by dust transport from Africa and Asia in summer, spring, and autumn. It is known that this causes large AOD values at this station. Whereas larger AOD values were obtained in the spring and summer months, smaller values were observed in the autumn and winter months. It was determined that the monthly changes were similar at 10 AERONET stations. The highest number of data was observed in the summer months (July and August). The least data numbers were obtained in December and January in the winter season. Different from other stations, stations such as Athens (ATHENS-NOA), Cyprus Limassol (CUT-TEPAK), Crete Island (FORTH-CRETE), and Xanthi (Xanthi), which are known to be affected by dust transport, showed similar results with the rural station in Turkey. They had larger AOD values mainly in the spring and summer months. Statistical models for estimation of ground-level particulate matter concentrations in the region could be established with AOD obtained by this study.

Keywords: Aerosol optical depth, Aerosol, AOD, AERONET, Turkey, Eastern Mediterranean

I. GİRİŞ

Havada asılı kalan küçük katı ve/veya sıvı parçacıklar olarak bilinen aerosollerin kaynakları arasında volkanik patlamalar, orman yangınları, okyanus dalgaları, toz fırtınaları gibi doğal kaynaklar ile endüstriyel faaliyetler ve fosil yakıtların yakılması gibi antropojenik kaynaklar sayılabilir [1-3]. Bunların dışında, aerosollerin atmosferde güneş ve nem etkisiyle bazı fotokimyasal reaksiyonlar sonucu ikincil kirleticiler olarak da oluşabildiği bilinmektedir [4]. Bu nedenle aerosoller atmosferdeki varlıkları nedeniyle özellikle hava kalitesinin izlenmesi, iklim değişikliğinin incelenmesi ve sağlık etkilerinin belirlenmesi gibi çalışmalarda incelenen temel hava kirleticilerin başında gelir [5-9]. Ayrıca, aerosoller meteorolojik etkenlerle atmosferde uzak mesafelere taşınabildikleri için oluştukları kaynağın etrafındaki yerel hava kalitesini olumsuz etkiledikleri gibi yüzlerce ya da binlerce kilometre uzağa taşınarak bölgesel ve küresel ölçekte de etkili olabilmektedir [10-15].

Aerosoller güneş radyasyonunu soğurmakta, yansıtmakta ve bulut mikro fiziği özelliklerini etkilemektedir. Aynı zamanda, insan sağlığını etkilemekte ve görüş mesafesini azaltmaktadır [16]. Bu özellikleri nedeniyle aerosoller dünyanın radyasyon değişimini etkileyen en önemli faktör olarak kabul edilmektedir [17]. Bu nedenle, atmosferdeki aerosol miktarının tespit edilmesi, bunların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, radyasyon değişimine katkısının incelenmesi, iklim değişikliği, hava kalitesi, ekosistemler ve insan sağlığı üzerine olan etkilerinin araştırılması oldukça önemlidir [16].

Atmosferdeki aerosol varlığının bir göstergesi olan Aerosol Optik Derinliği (AOD), belli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin atmosferdeki aerosoller nedeniyle azalması olarak tanımlanır [4]. Atmosferin derinliği boyunca birim taban alanına sahip bir kolon içindeki ortalama aerosol miktarını AOD yardımıyla izlemek mümkündür [18]. Birimsiz olan AOD değeri sıfıra yakınsa atmosferde yok denecek kadar az miktarda aerosol bulunduğu ve güneş ışığının yeryüzüne bir engelle karşılaşmadan doğrudan ulaşabildiği anlamına gelmektedir. Artan AOD değeri ise, atmosferde artan aerosol miktarını ve dolayısıyla daha az güneş ışığının yeryüzüne ulaştığını gösterir [19]. 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 olduğu bilinmektedir [15]. Ayrıca 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 [19-22].

Yer seviyesinden AOD gözlemi için küresel bir ağ olan Aerosol Robotik Ağı (AERONET – Aerosol Robotic Network) bünyesindeki güneş fotometreleri kullanılmaktadır [23]. AERONET, NASA (National Aeronautics and Space Administration) ve PHOTON (PHOTométrie pour le Traitement Opérationnel de Normalisation Satellitaire) iş birliği ile oluşturulan küresel ölçekte çeşitli ulusal kamu

kurumları, üniversiteler ve enstitüler ile ortak çalışmalar yürütmek, aerosol araştırmaları yapmak ve uydular tarafından üretilen verilerin kalite kontrolünü sağlamak amacıyla geliştirilen bir ağıdır. Tüm dünyayı kapsayan bu ağ içinde yer alan toplam 1200'ün üzerindeki farklı istasyonda yer seviyesinde güneş fotometreleri ile yüksek zamansal çözünürlüğe sahip AOD verisi üretilmektedir [23]. Bu ağ tarafından üretilen AOD verileri çoğunlukla uydulardan temin edilen AOD verilerinin doğrulanması amacıyla kullanılmaktadır [24-25].

AERONET ağındaki tüm istasyonlar her 15 dakikada bir 340–1020 nm dalga boyları arasında 8 farklı dalga boyunda (340, 380, 440, 500, 675, 870, 940 ve 1020 nm) AOD ölçümü gerçekleştirmektedir [23]. Bu dalga boyları içinde 940 nm spesifik olarak atmosferde bulunan su buharının tespiti için kullanılmakta iken 500 nm dalga boyu atmosferik aerosollerin göstergesi olarak AOD ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [23].

AOD verileri kullanılarak yapılan ulusal çalışmalar oldukça sınırlıdır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gerçekleştirilen bir çalışmada küresel güneş radyasyonu ile MODIS uydusundan elde edilen AOD verisi karşılaştırılmıştır [35]. Doğu Akdeniz Havzası için gerçekleştirilen diğer bir çalışmada sıcaklık, yağış ve AOD'nin zamansal değişimlerini incelenmiştir [36]. Bir başka çalışmada ise matematiksel bir model kullanılarak AOD verilerinden PM_{2.5} konsantrasyonu tahmin edilmiştir [37]. Ancak bilgimize göre AERONET istasyonlarında kaydedilen AOD verisinin Türkiye için zamansal ve mekansal değişiminin incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır.

AERONET ağından elde edilen AOD verileri Seviye 1, Seviye 1,5 ve Seviye 2 olmak üzere 3 ayrı seviyede ve kalitede elde edilmektedir. Seviye 1 verileri herhangi bir filtreleme işlemi uygulanmamış ham verileri işaret etmektedir. Seviye 1,5 verileri, bulut varlığından kaynaklanan problemlili verilerin ayıklanması ve bazı uç değerlerin uzaklaştırılması sonrası kalitesi iyileştirilmiş verileri göstermektedir. En kaliteli veri olarak kabul edilen Seviye 2 verileri ise; doğrudan karşılaştırmalarda kullanılması önerilen kalite kontrolü tamamlanmış ve kalite güvencesi sağlanmış AOD verilerini ifade etmektedir [23]. Bu çalışma kapsamında, Türkiye ve sınır komşusu Yunanistan, Romanya, Kıbrıs ve Ukrayna gibi ülkelerde bulunan toplam 10 AERONET istasyonunda ölçülen AOD verisinin zamansal ve mekansal değişimleri incelenmiştir.

II. GEREK VE YÖNTEM

Ülkemizde sürekli gözlem yapan tek AERONET istasyonu Mersin'in Erdemli ilçesinde Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Deniz Bilimleri Enstitüsü yerleşkesinde bulunan IMS-METU-ERDEMLİ istasyonudur. Bu istasyon deniz kenarında konumlandırılmış olup kırsal bir alanda bulunmaktadır. Bunun dışında AERONET ağına bağlı 4 ulusal istasyonumuz (TUBITAK_UZAY_Ankara, Tuz_Golu, Tuz_Golu_2, Tuz_Golu_3) daha bulunuyor olsa da bunlar geçmiş yıllarda özel amaçlarla kısa süreli veri üretmiş ve şu anda hizmet vermemektedir. Dolayısıyla bu istasyonlarda üretilen verilerle uzun süreli aerosol çalışmaları gerçekleştirmek mümkün değildir. Türkiye'deki istasyon sayısının yetersizliğinden dolayı bu çalışma kapsamında Türkiye'nin sınır komşusu ülkelerde yer alan ve olabildiğince ülke sınırlarına yakın konumlanmış AERONET istasyonları da çalışmaya dahil edilerek daha geniş bir alanda değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla; Yunanistan'dan 4, Romanya'dan 2, Güney Kıbrıs'tan 1 ve Ukrayna'dan 1 istasyon olmak üzere yurtdışından toplam 8 AERONET istasyonu daha çalışmaya dahil edilmiştir. Her ne kadar ülkemizde kesikli olarak çalışmış olsa da (2010 ve 2011 yıllarında tüm aylar, 2009 yılında 1 ay, 2012 yılında 4 ay ve 2017 yılında 1 ay) birkaç yıllık veri sağlaması nedeniyle Ankara kent merkezinde ODTÜ Yerleşkesi içinde yer alan TÜBİTAK Uzak Teknolojileri Araştırma Enstitüsü'nde bulunan TUBITAK_UZAY_Ankara istasyonu da çalışmaya dahil edilerek değerlendirilmiştir. Böylece, Türkiye'deki 2 istasyon ile komşu ülkelerdeki 8 istasyon çalışmada birlikte incelenmiş ve tüm sonuçlar toplam 10 istasyon için irdelenmiştir. Çalışmada incelenen 10 AERONET istasyonunun konumları Şekil 1'te verilmiştir. İstasyonların coğrafi koordinatları ve istasyonlardan veri temin edilebilen yıllar ise Tablo 1'de listelenmiştir.

Çalışmada Giles vd. [26] tarafından geliştirilmiş ve 2018 yılı içinde kullanılmaya başlanan AERONET Versiyon-3 verileri kullanılmıştır. Bu versiyonda en yüksek kaliteye sahip 500 nm dalga boyundaki Seviye 2 AOD verileri ile çalışılmıştır. Veriler, AERONET'in web sitesinden (https://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/webtool_aod_v3) Microsoft Excel dosyaları olarak indirilmiş ve arşivlenmiştir.



Şekil 1. Çalışmada incelenen AERONET istasyonları ve konumları.

Tablo 1. İncelenen AERONET istasyonlarına ait bilgiler.

AERONET İstasyonu	Ülke	Enlem (N°)	Boylam (E°)	Rakım (m)	Veri Temin Edilen Dönem
IMS-METU-ERDEMLI	Türkiye	36,565	34,255	3	1999 – 2018
TUBITAK_UZAY_Ankara	Türkiye	39,891	32,778	924	2009 – 2017*
ATHENS-NOA	Yunanistan	37,972	23,718	130	2008 – 2018
FORTH_CRETE	Yunanistan	35,332	25,282	20	2003 – 2017
Thessaloniki	Yunanistan	40,630	22,960	60	2005 – 2018
Xanthi	Yunanistan	41,146	24,918	54	2008 – 2015
Bucharest_Inoe	Romanya	44,450	26,525	89	2007 – 2016
Eforie	Romanya	44,075	28,632	40	2009 – 2018
CUT-TEPAK	Kıbrıs	34,674	33,042	22	2010 – 2018
Sevastopol	Ukrayna	44,615	33,517	80	2006 – 2013

* 2010 ve 2011 yıllarında tüm aylar, 2009 yılında 1 ay, 2012 yılında 4 ay ve 2017 yılında 1 ay

Çalışmada Türkiye’de ve komşu ülkelerde yer alan AERONET istasyonlarından alınan AOD verilerine ilişkin yıllara, mevsimlere ve aylara göre veri sayıları, minimum, maksimum, ortalama, standart sapma, medyan, vb. gibi tanımlayıcı istatistiksel göstergeler hesaplanmıştır. Ayrıca, AOD verilerininin zamansal değişimleri yıllık, mevsimlik ve aylık olarak incelenmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen tüm istatistiksel analizler ve görselleştirme işlemleri R programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

III. BULGULAR

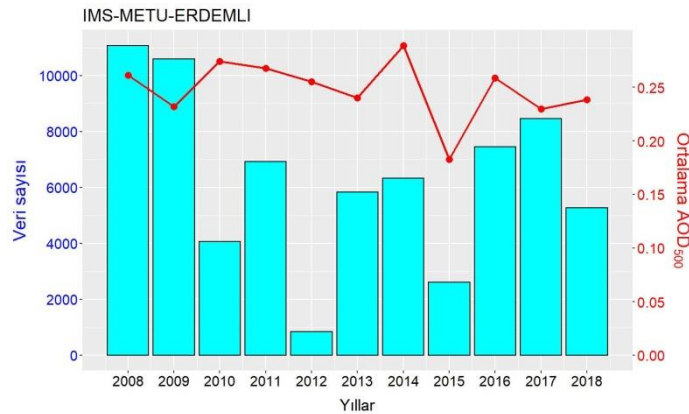
A. TÜRKİYE’DE AERONET AĞINDAN ELDE EDİLEN AOD VERİLERİ

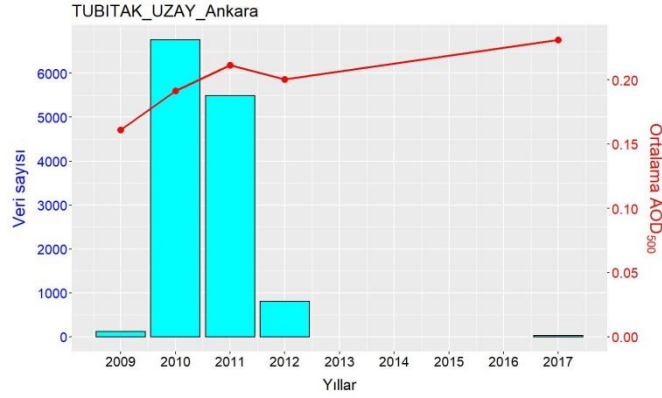
Türkiye sınırları içinde yer alan ve verisi kullanılabilir olan iki AERONET istasyonunda (IMS-METU-ERDEMLİ ve TUBITAK_UZAY_Ankara) 2008-2018 yılları arasında ölçülmüş 500 nm dalga boyundaki 15 dakikalık AOD verileri temin edilmiştir. Birisi kent merkezi içinde, diğeri ise deniz kenarında ve kırsal bir bölgede bulunan bu iki istasyondan on bir yıllık dönem için elde edilen AOD verilerine ilişkin bazı temel istatistiksel göstergeler Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Türkiye’deki iki AERONET istasyonundan 2008-2018 yılları arasında elde edilen AOD verileri.

AOD	IMS-METU-ERDEMLİ	TUBITAK_UZAY_Ankara
Toplam Veri Sayısı	69472	13203
Kullanılabilir Veri Sayısı	69443	13198
Ortalama	0,250	0,200
Standart Sapma	0,149	0,097
Medyan	0,219	0,188
Minimum	0,017	0,035
Maksimum	1,870	1,060

Kentsel bölgede bulunan TUBITAK_UZAY_Ankara istasyonu 2009-2017 yılları arasında sınırlı sayıda veri ürettiği için (2010 ve 2011 yıllarında neredeyse tüm aylar, 2009 yılında 1 ay, 2012 yılında 4 ay ve 2017 yılında 1 ay), kırsal bölgede yer alan IMS-METU-ERDEMLİ istasyonu Türkiye’de uzun süreli ve kesintisiz ölçüm gerçekleştiren tek istasyon durumundadır. IMS-METU-ERDEMLİ istasyonunda 2008-2018 yılları arasında toplam kullanılabilir AOD verisi sayısı 69443 iken TUBITAK_UZAY_Ankara istasyonunda bu sayı 13198 (yaklaşık beşte biri) olmuştur. Her iki istasyonda kullanılabilir AOD verisi sayısının yıllara göre değişimi Şekil 2’de verilmiştir. IMS-METU-ERDEMLİ istasyonunda en çok veri 2008 ve 2009 yıllarında elde edilmişken en az veri 2012 ve 2015 yıllarında görülmüştür. Diğer yıllarda ise veri sayıları genellikle 4000-8000 arasında değişmiştir. TUBITAK_UZAY_Ankara istasyonunda en çok veri sayısına 2010 ve sonra 2011 yıllarında ulaşılmıştır. İstasyonun bu yıllardaki veri sayısının IMS-METU-ERDEMLİ istasyonunda elde edilen yıllık veri sayılarına yakın olduğu görülmüştür. Elde edilen kullanılabilir veri sayıları literatür ile kıyaslandığında, farklı ülkelerdeki AERONET istasyonlarında da benzer mertebelerde veri sayıları elde edildiği görülmüştür [27-32]. Bu durum, ülkemizde farklı atmosferik ve arazi kullanım koşulları altında AERONET istasyonları ile yeterli sayıda veri ürettiğimizi göstermiştir.

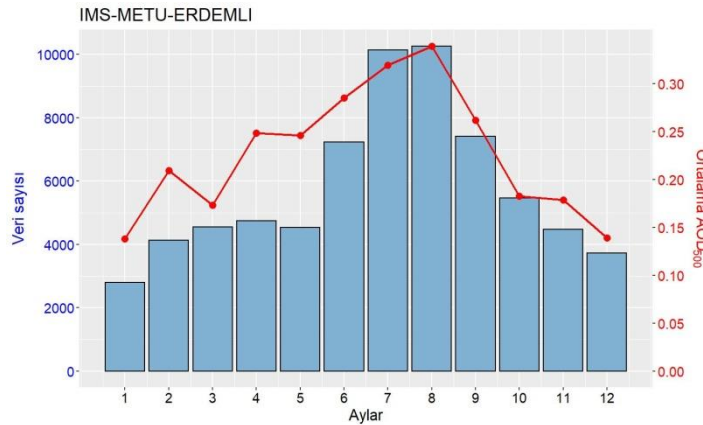


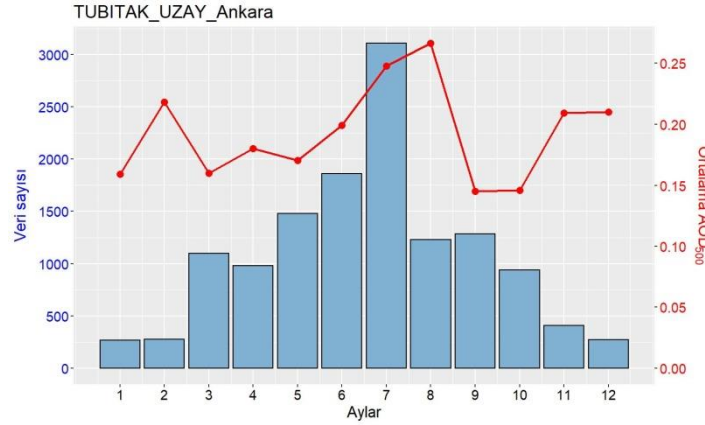


Şekil 2. Türkiye'deki iki AERONET istasyonunda yıllara göre toplam kullanılabilir AOD verisi sayısı ve ortalama AOD değerleri.

Yıllara göre ortalama AOD değerleri kırsal bölgedeki IMS-METU-ERDEMLİ istasyonunda 0,18-0,29 arasında değişirken kentsel bölgedeki TUBITAK_UZAY_Ankara istasyonunda 0,16-0,23 arasında değişmiştir. Kırsal istasyonda birbirine yakın yıllık ortalama AOD değerleri (2015 yılı hariç) elde edilmiştir. Kentsel istasyonda ise 2010 ve 2011 yılları arasında ortalama AOD değerlerinde büyük bir değişim görülmemiş olup 2009 yılında ölçümlerin sadece kış aylarını kapsaması nedeniyle küçük, 2017 yılında ise sadece yaz aylarını içermesi nedeniyle büyük değerler elde edildiği görülmüştür. Genel olarak, kırsal istasyonda kentsel istasyona göre daha büyük AOD değerleri elde edilmiştir.

Şekil 3'te AOD verilerinin her iki istasyonda aylık değişimleri görülmektedir. Her iki istasyonda da en çok veri sayısı yaz aylarında elde edilmiştir. İstasyonlara göre değişmekle birlikte en büyük veri sayısı Temmuz ve Ağustos aylarında elde edilmiş, bu ayları Mayıs, Haziran, Eylül ve Ekim gibi ilkbahar ve sonbahar ayları izlemektedir. En az veri sayısı ise Ocak, Şubat ve Aralık gibi kış mevsimi aylarında görülmektedir. Bu durum çoğunlukla kış aylarında atmosferde sıkça yaşanan bulutluluk ve yağış gibi aerosol tespitini zorlaştıran meteorolojik faktörlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri kırsal istasyonun Afrika ve Asya kaynaklı toz taşınımından en çok etkilendiği mevsimler olup bu durumun istasyonda büyük AOD değerlerinin (Ağustos=0,34, Temmuz=0,32, Haziran=0,29) elde edilmesine neden olduğu bilinmektedir [33-34]. Kentsel istasyonda en büyük AOD değerleri yaz aylarında (Ağustos=0,27, Temmuz=0,25) elde edilmişken sonbahar ve kış aylarında en küçük değerler izlenmiştir. Erdemli'deki kırsal istasyonda görülmeyen bu durumun temel nedeni ise, Ankara'daki istasyonunun kent merkezi içinde bulunması ve kış aylarında evsel ısınmadan kaynaklanan antropojenik kaynaklı aerosollerin atmosferde yaygın bulunmasıdır.





Şekil 3. Türkiye'de AERONET istasyonlarında kullanılabilir verisi sayısının ve ortalama AOD değerlerinin aylara göre değişimi.

B. KOMŞU ÜLKELERDEKİ AERONET AĞINDAN ELDE EDİLEN AOD VERİLERİ

Türkiye sınırları içinde yeterince AERONET istasyonu bulunmaması nedeniyle sınır komşusu olan bazı ülkelerin sınıra yakın konumdaki AERONET istasyonlarında incelenmiştir. Böylece mekansal farklılıkların değerlendirmesi için yetersiz olan ulusal AERONET istasyon sayısı arttırılmış ve çalışmalar ülkemizi de kapsayan daha geniş bir bölgeye yayılmıştır. Çalışma kapsamında ülkemizdeki iki istasyona ilave olarak 8 AERONET istasyonu daha çalışmaya dahil edilmiştir. Ulusal istasyonlar için gerçekleştirilen çalışmaların bir benzeri bu istasyonlar için de yapılmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen 10 AERONET istasyonundan elde edilen kullanılabilir AOD veri sayısı ve bunların ortalamaları yıllar bazında Şekil 4'te verilmiştir. İstasyonların çoğunun aynı ülkemizdeki kentsel istasyon gibi 2008-2018 yılları arasında kesikli veri ürettiği ve bu nedenle bazı yıllara ait hiç verinin bulunmadığı görülmüştür. Buna karşın ülkemizdeki kırsal istasyon gibi Yunanistan'daki Athens-NOA, Romanya'daki Eforie ve Girit Adası'ndaki FORTH_CRETE istasyonlarının en uzun süreli veri üreten istasyonlar olduğu görülmüştür. İstasyonlardaki yıllık ortalama AOD değerleri birbirine yakın iken bazı istasyonlarda bazı yıllarda sadece birkaç ay veri olması nedeniyle çok büyük ya da küçük ortalama AOD değerleri oluştuğu görülmüştür. Tüm istasyonlarda aylık değişimlerin birbirine benzediği, en çok veri sayısına Temmuz ve Ağustos aylarında ulaşıldığı görülmüştür. Bu ayları Mayıs ve Haziran ayları izlemektedir. En az veri sayıları ise Aralık ve Ocak aylarında elde edilmiştir. Diğer istasyonlardan farklı olarak toz taşınımından etkilendiği bilinen Atina (ATHENS-NOA), Kıbrıs Limasol (CUT-TEPAK), Girit adası (FORTH_CRETE) ve İskeçe (Xanthi) gibi Akdeniz Bölgesi istasyonlarının ilkbahar aylarında, yaz aylarında olduğu gibi büyük AOD değerlerine sahip olduğu görülmüştür [3]. İstasyonlara ait aylık veri sayıları ve ortalama AOD değerleri Şekil 5'te verilmiştir.

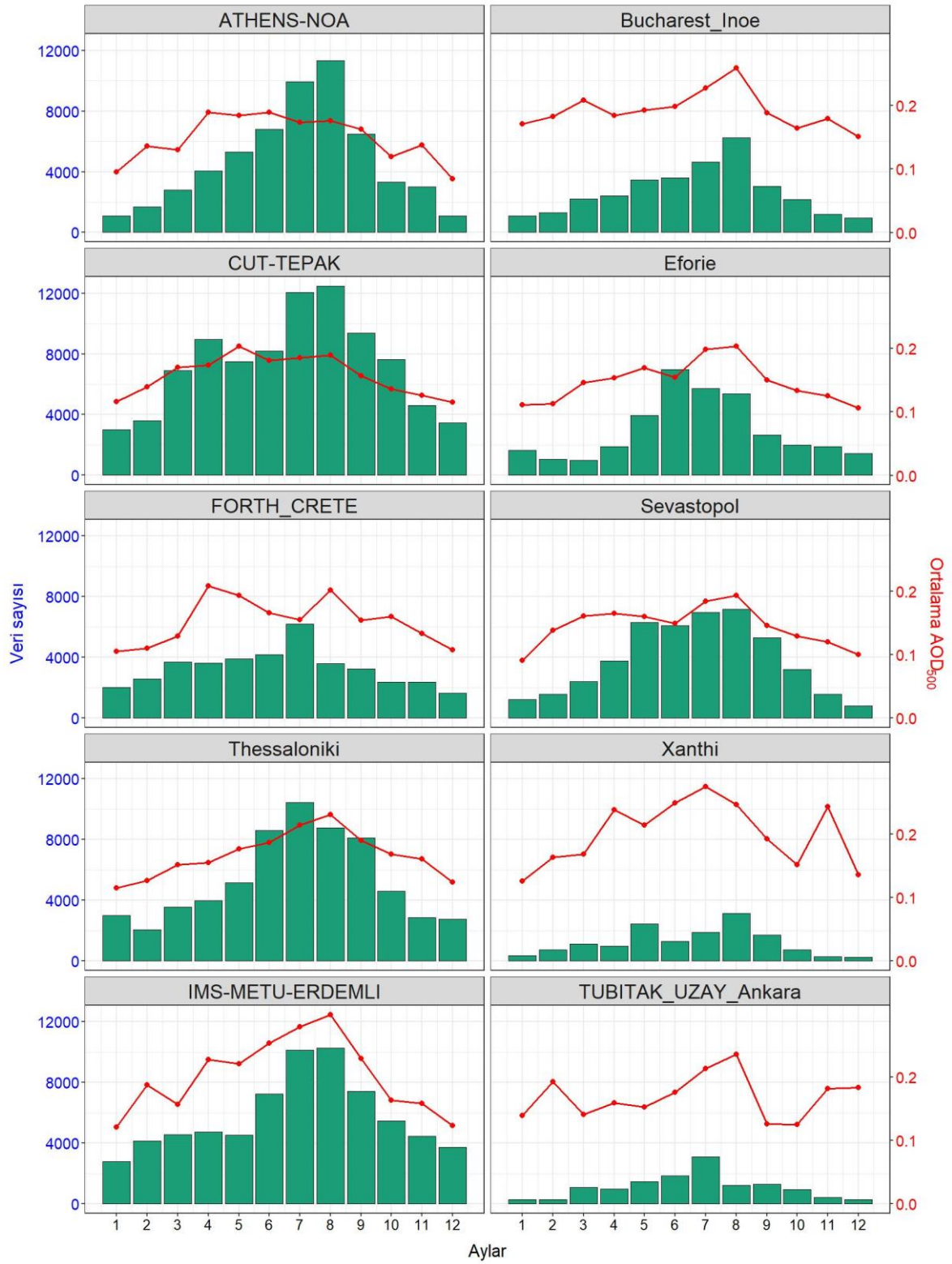
IV. SONUÇ

Küresel ölçekte güneş fotometreleri ile yer seviyesinden AOD ölçümü yapılmaktadır. AERONET ağına ait bu istasyonlar yüksek kurulum ve işletme maliyetleri nedeniyle bazı ülkelerde sayıca çok fazla değildir. Bu çalışma kapsamında, ülkemizdeki AERONET istasyonlarından temin edilen AOD verilerinin Türkiye'deki zamansal ve mekansal değişimleri belirlenmiştir. Ancak, ülkemizde bu tür çalışmalarda kullanılacak tek AERONET istasyonu bulunmaktadır. Mersin ili Erdemli ilçesindeki IMS-METU-ERDEMLİ istasyonu, ülkemizde uzun yıllardır gözlem yapan tek yer istasyonu durumundadır. Bu istasyon dışında, AERONET ağı içinde ülkemize ait olduğu görülen başka istasyonlar da bulunmaktadır. Ancak bunların hiçbiri bu çalışmada incelenen on bir yıllık döneme ait AOD verisine sahip değildir. Bunun nedeni, bu istasyonların tamamı farklı bilimsel araştırma projeleri kapsamında kısa süreli kullanılmış istasyonlar olmasıdır. Buna rağmen, bu istasyonlar içinde en fazla veriye sahip olan Ankara kentindeki TUBITAK_UZAY_Ankara isimli istasyon sahip olduğu birkaç yıllık verisi ile bu çalışmaya dahil edilmeye çalışılmıştır. Ancak, Türkiye gibi geniş bir coğrafyada bir

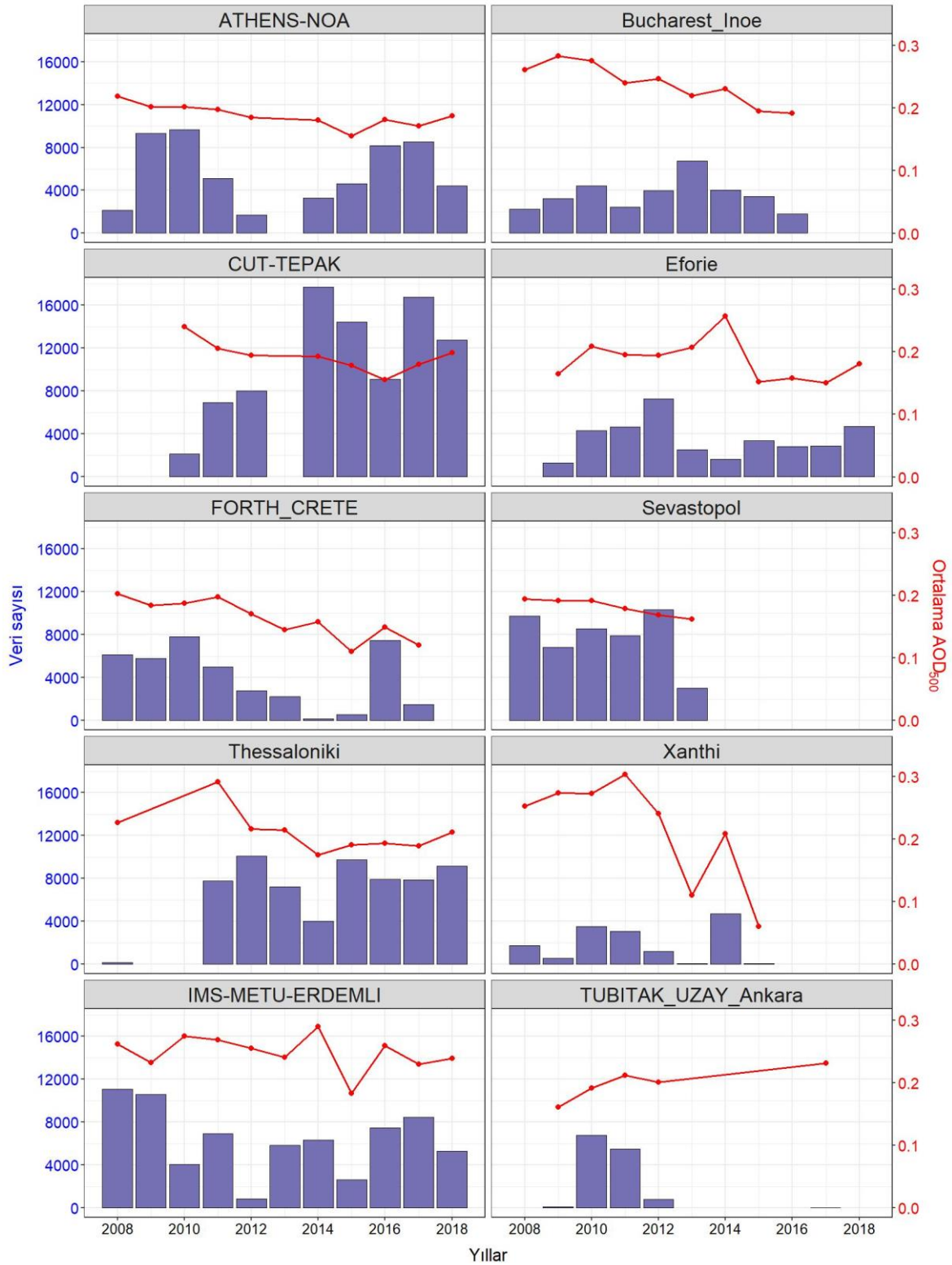
(bazı yıllarda iki) noktada AOD verisi yeterli olmayacağı düşüncesiyle bazı sınır komşusu ülkelere ait ve olabildiğince ülke sınırlarımıza yakın konumlarda bulunan 8 AERONET istasyonu daha çalışmaya dahil edilmiştir. Böylece çalışma kapsamında birbirinden farklı konumlarda bulunan toplam 10 AERONET istasyonu karşılaştırmalı değerlendirilebilmiştir.

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 bitki örtüsü varlığını 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 etki, bu çalışmada da özellikle Akdeniz ve Ege bölgelerindeki büyük AOD değerleri ile izlenmiştir.

Bu çalışma gelecekte bu bölgede AOD verisi kullanmayı hedefleyen çalışmalarda araştırmacılara doğru istasyon ve örnekleme dönemi seçiminde yol gösterecektir.



Şekil 4. Çalışma alanındaki AERONET istasyonlarında yıllara göre kullanılabilir AOD veri sayısı ve ortalama değerleri.



Şekil 5. Çalışma alanındaki AERONET istasyonlarında aylara göre kullanılabilir AOD veri sayısı ve ortalama değerleri.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir (Proje no: 119Y005). Yer bazlı AOD verilerinin temini konusunda National Aeronautics and Space Administration (NASA)'ya teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. I. Calvo, C. Alves, A. Castro, V. Pont, A. M. Vicente ve R. Fraile, “Research on aerosol sources and chemical composition: Past, current and emerging issues,” *Atmospheric Research*, vol. 120–121, pp. 1–28, 2013.
- [2] E. Tutsak ve M. Koçak, “Long-term measurements of aerosol optical and physical properties over the Eastern Mediterranean: Hygroscopic nature and source regions,” *Atmospheric Environment*, vol. 207, pp. 1–15, 2019.
- [3] E. Ozdemir, G. Tuna Tuygun ve T. Elbir, “Application of aerosol classification methods based on AERONET version 3 product over eastern Mediterranean and Black Sea,” *Atmospheric Pollution Research*, vol. 11, no. 12, pp. 2226–2243, 2020.
- [4] K. L. Chan ve K. L. Chan, “Aerosol optical depths and their contributing sources in Taiwan,” *Atmospheric Environment*, vol. 148, pp. 364–375, 2017.
- [5] N. Bellouin, “Aerosols: Role in Climate Change,” *Encyclopedia of Atmospheric Sciences, Second Edition*, pp. 76–85, 2015.
- [6] S. Zhao, H. Zhang, S. Feng ve Q. Fu, “Simulating direct effects of dust aerosol on arid and semi-arid regions using an aerosol-climate coupled system”, *International Journal of Climatology*, vol. 35, no. 8, pp. 1858–1866, 2015.
- [7] T. H. Zhang ve H. Liao, “Aerosol absorption optical depth of fine-mode mineral dust in eastern China,” *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, vol. 9, no. 1, pp. 7–14, 2016.
- [8] T. Banerjee, M. Kumar, R. K. Mall ve R. S. Singh, “Airing ‘clean air’ in Clean India Mission,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 7, pp. 6399–6413, 2017.
- [9] J. R. Horne ve D. Dabdub, “Impact of global climate change on ozone, particulate matter, and secondary organic aerosol concentrations in California: A model perturbation analysis,” *Atmospheric Environment*, vol. 153, pp. 1–17, 2017.
- [10] Y. C. Lee, Y. F. Lam, G. Kuhlmann, M. O. Wenig, K. L.Chan, A. Hartl ve Z. Ning, “An integrated approach to identify the biomass burning sources contributing to black carbon episodes in Hong Kong,” *Atmospheric Environment*, vol. 80, pp. 478–487, 2013.
- [11] F. Tsai, J. Y. Tu, S. C. Hsu ve W. N. Chen, “Case study of the Asian dust and pollutant event in spring 2006: Source, transport, and contribution to Taiwan,” *Science of the Total Environment*, vol. 478, pp. 163–174, 2014.
- [12] Z. Zhang, M. Wenig, W. Zhou, T. Diehl, K. L. Chan ve L. Wang, “The contribution of different aerosol sources to the Aerosol Optical Depth in Hong Kong,” *Atmospheric Environment*, vol. 83, pp. 145–154, 2014.

- [13] D. Rupakheti, S. Kang, M. Bilal, J. Gong, X. Xia ve Z. Cong, “Aerosol optical depth climatology over Central Asian countries based on Aqua-MODIS Collection 6.1 data: Aerosol variations and sources,” *Atmospheric Environment*, vol. 207, pp. 205–214, 2019.
- [14] L. Shen, F. Hao, M. Gao, H. Wang, B. Zhu, J. Gao, Y. Cheng ve F. Xie, “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,” *Particuology*, vol. 53, pp. 197–207, 2020.
- [15] M. Filonchyk, V. Hurynovich ve H. Yan, “Trends in aerosol optical properties over Eastern Europe based on MODIS-Aqua,” *Geoscience Frontiers*, vol. 11, no. 6, pp. 2169–2181, 2020.
- [16] I. Kloog, M. Sorek-Hamer, A. Lyapustin, B. Coull, Y. Wang, A. C. Just, J. Schwartz ve D. M. Broday, “Estimating daily PM_{2.5} and PM₁₀ across the complex geo-climate region of Israel using MAIAC satellite-based AOD data,” *Atmospheric Environment*, vol. 122, pp. 409–416, 2015.
- [17] NASA - National Aeronautics and Space Administration. (2021). Atmospheric Aerosols: What Are They, and Why Are They So Important? [Online]. Available:<https://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Aerosols.html>.
- [18] S. Ghotbi, S. Sotoudeheian ve M. Arhami, “Estimating urban ground-level PM₁₀ using MODIS 3km AOD product and meteorological parameters from WRF model,” *Atmospheric Environment*, vol. 141, pp. 333–346, 2016.
- [19] A. D. Douglas, “A Geographical Comparison of the Relationship Between Aerosol Optical Depth and Fine Particulate Matter in Indiana,” M.S. thesis, Indiana University, Indiana, 2015.
- [20] A. K. Georgoulas, G. Alexandri, K. A. Kourtidis, J. Lelieveld, P. Zanis, U. Pöschl, R. Levy, V. Amiridis, E. Marinou ve A. Tsikerdekis, “Spatiotemporal variability and contribution of different aerosol types to the aerosol optical depth over the Eastern Mediterranean,” *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 16, no. 21, pp. 13853–13884, 2016.
- [21] P. Glantz, E. Freud, C. Johansson, K. J. Noone ve M. Tesche, “Trends in MODIS and AERONET derived aerosol optical thickness over Northern Europe,” *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, vol. 71, no. 1, pp. 1–21, 2019.
- [22] J. Wei, Z. Li, Y. Peng ve L. Sun, “MODIS Collection 6.1 aerosol optical depth products over land and ocean: validation and comparison,” *Atmospheric Environment*, vol. 201, pp. 428–440, 2019.
- [23] NASA - National Aeronautics and Space Administration. (2020). AERONET Site Information Database [Online]. Available:https://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/photo_db_v3/TUBITAK_UZAY_Ankara.html.
- [24] Y. Guo, N. Feng, S. A. Christopher, P. Kang, F. B. Zhan ve S. Hong, “Satellite remote sensing of fine particulate matter (PM_{2.5}) air quality over Beijing using MODIS,” *International Journal of Remote Sensing*, vol. 35, no. 17, pp. 6522–6544, 2014.

- [25] S. M. Loría-Salazar, H. A. Holmes, W. Patrick Arnott, J. C. Barnard ve H. Moosmüller, “Evaluation of MODIS columnar aerosol retrievals using AERONET in semi-arid Nevada and California, U.S.A., during the summer of 2012,” *Atmospheric Environment*, vol. 144, pp. 345–360, 2016.
- [26] D. M. Giles, A. Sinyuk, M. G. Sorokin, J. S. Schafer, A. Smirnov, I. Slutsker, T. F. Eck, B. N. Holben, J. R. Lewis, J. R. Campbell, E. J. Welton, S. V. Korkin ve A. I. Lyapustin, “Advancements in the Aerosol Robotic Network (AERONET) Version 3 database - Automated near-real-time quality control algorithm with improved cloud screening for Sun photometer aerosol optical depth (AOD) measurements,” *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 12, no. 1, pp. 169–209, 2019.
- [27] A. De Meij ve J. Lelieveld, “Evaluating aerosol optical properties observed by ground-based and satellite remote sensing over the Mediterranean and the Middle East in 2006,” *Atmospheric Research*, vol. 99, no. 3–4, pp. 415–433, 2011.
- [28] M. Mallet, O. Dubovik, P. Nabat, F. Dulac, R. Kahn, J. Sciare, D. Paronis ve J. F. Leon, “Absorption properties of Mediterranean aerosols obtained from multi-year ground-based remote sensing observations,” *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 13, no. 18, pp. 9195–9210, 2013.
- [29] P. Nabat, S. Somot, M. Mallet, I. Chiapello, J. J. Morcrette, F. Solmon, S. Szopa, F. Dulac, W. Collins, S. Ghan, L. W. Horowitz, J. F. Lamarque, Y. H. Lee, V. Naik, T. Nagashima, D. Shindell ve R. Skeie, “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*, vol. 6, no. 5, pp. 1287–1314, 2013.
- [30] S. A. Logothetis, V. Salamalikis ve A. Kazantzidis, “Aerosol classification in Europe, Middle East, North Africa and Arabian Peninsula based on AERONET Version 3,” *Atmospheric Research*, vol. 239, 2020.
- [31] S. S. Ningombam, E. J. L. Larson, U. C. Dumka, V. Estellés, M. Campanelli ve C. Steve, “Long-term (1995–2018) aerosol optical depth derived using ground based AERONET and SKYNET measurements from aerosol aged-background sites,” *Atmospheric Pollution Research*, vol. 10, no. 2, pp. 608–620, 2019.
- [32] X. Xu, L. Xie, X. Yang, H. Wu, L. Cai ve P. Qi, “Aerosol optical properties at seven AERONET sites over Middle East and Eastern Mediterranean Sea,” *Atmospheric Environment*, vol. 243, 2020.
- [33] N. Kubilay, S. Nickovic, C. Moulin ve F. Dulac, “An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean,” *Atmospheric Environment*, vol. 34, no. 8, pp. 1293–1303, 2000.
- [34] N. Kubilay, T. Oguz, M. Koçak ve O. Torres, “Ground-based assessment of Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) data for dust transport over the northeastern Mediterranean,” *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 19, no. 1, pp. 1–9, 2005.

[35] Y.B. Öztaner, A. Kahraman, E. Çalışkan, Ş. Tilev Tanrıöver, C. Kahya, B. Aksoy, S. İncecik, S. Topçu, Z. Aslan, B. Barutçu, İ. Sezen, S. Sarıkaya ve A. Deniz, “Açık gökyüzü şartlarında güneş radyasyonunun WRF modeli ile kısa vadeli tahmininde aerosol etkisinin değerlendirilmesi,” *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 2-11, 2013.

[36] O. Kahraman ve B.S. Akın, “Doğu Akdeniz havzasında sıcaklık, yağış ve aerosol değişiminin incelenmesi,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 244-253, 2019.

[37] T.K. Koçak ve F. Ebrahimi, “Uydulardan elde edilebilen aerosol optik derinlik verilerini kullanarak zemin seviyesi ince partikül konsantrasyonlarını tahmin etmek için doğrusal olmayan bir model geliştirilmesi,” *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, c. 3, s. 3, s. 119-127, 2019.