

To Cite This Article: Coşkun, M., Şahiner, H. & Canbulat, O. (2022). Covid 19 sürecinde coğrafi özellikler ve atmosfer kararlılığına göre Karabük il merkezi ve Zonguldak'ın Ereğli ilçesinde aerosol optik derinlik analizi. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 45, 380-403. <http://dx.doi.org/10.32003/igge.1011643>

COVID 19 SÜRECİNDE COĞRAFİ ÖZELLİKLER VE ATMOSFER KARARLILIĞINA GÖRE KARABÜK İL MERKEZİ VE ZONGULDAK'IN EREĞLİ İLÇESİNDE AEROSOL OPTİK DERİNLİK ANALİZİ

Aerosol Optical Depth Analysis in Karabuk City Center and Ereğli District of Zonguldak According to Geographical Properties and Atmospheric Stability in the Covid 19 Process

Mücahit COŞKUN^{ID} Hüseyin ŞAHİNER^{ID} Onur CANBULAT^{ID}

Öz

Aerosoller doğal süreçler ya da insan faaliyetleri sonucunda atmosfere karışmakta ve iklim şartlarından insan sağlığına kadar birçok faktör üzerinde etkili olmaktadır. Bu çalışmada 1 Ocak 2019 ve 19 Nisan 2021 tarihleri arasında aerosol optik derinlik görüntüsü alınabilen toplam 292 günlük Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer uncertainty ve 0.55 µm verileri kullanılmıştır. Salgının etkisinin Türkiye'de ciddi anlamda hissedildiği 2020 Mart ayının 15. günü analizlerde salgın öncesi ve salgın süreci ayrım günü olarak belirlenmiştir. Türkiye'nin önemli sanayi kentleri arasında yer alan Karabük ve Karadeniz Ereğlisi araştırmanın alan kapsamını, bu şehirlerde Covid-19 salgın sürecinin aerosol optik derinliği üzerindeki etkisi ise konu kapsamını oluşturmaktadır. Araştırmanın amacı salgın sürecinin aerosol optik derinliği üzerindeki etkisini ortaya koymaktır. Yapılan analizler sonucunda genel olarak uncertainty aerosol optik derinlik değerlerinde mevsimsel bir döngünün var olduğu tespit edilmiştir. Uncertainty aerosol optik derinliğinin hem genel ortalama hem de Covid 19 salgın süreci öncesi ve salgın sürecinde Karabük şehrinde Ereğli'ye oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki çalışma alanında da aerosol optik derinlik değerlerinde salgın sürecindeki 149 günlük dönemde, salgın öncesindeki 143 günlük döneme göre düşüş yaşanmıştır. 0.55 µm aerosol optik derinlik verileri ile yapılan analizlerde, uncertainty verilerine paralel olarak Covid 19 sürecinde azalma dikkat çekmekte ve azalma miktarı artmaktadır. Karabük Kardemir 1 istasyonundan alınan partikül madde 10 değerleri ile analiz sonuçları karşılaştırıldığında mevsimsel döngü bakımından benzerlik görülmekle birlikte en yüksek değerler sonbahar sonu ve kış başlarında ortaya çıkmaktadır. Ayrıca salgın süreci ile birlikte partikül madde 10 miktarında %32 gibi önemli oranda düşüş yaşanmıştır. Bu düşüşte salgın süreciyle birlikte sanayi de dahil olmak üzere insan faaliyetlerinde meydana gelen yavaşlamanın etkisi büyüktür.

Anahtar Kelimeler: Covid 19 ve Aerosol Optik Derinliği, Atmosfer Kararlılığı, Karabük ve Karadeniz Ereğlisi

Abstract

Aerosols that influence many factors from climatic conditions to human health are mixed with the atmosphere because of natural processes or human activities. This study focuses on a total of 292 days of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer uncertainty and 0.55 µm data between January 1, 2019 and April 19, 2021 when aerosol optical depth images can be taken. March 15, 2020 was considered as the turning point for the pandemics which the effects started to be felt seriously in Turkey. The data was analyzed for two periods of time as before the Covid-19 pandemic and during the pandemic. The region of the study involves Karabük and Karadeniz Ereğli where they are among the important industrial cities of Turkey while the scope involves the effect of the pandemic on aerosol optical depth. The purpose is to reveal the effect of pandemics on the aerosol optical depth. It has been determined that there is a seasonal cycle in the general uncertainty aerosol optical depth values. The Uncertainty aerosol optical depth is higher in Karabük than in Ereğli on the general average both before the Covid 19 pandemics and during the pandemics. In addition, both locations had a decrease in aerosol optical depth values for the 149-day period during the pandemics compared to the 143-day period before the pandemics. The decrease in 0.55 µm aerosol optical depth and the uncertainty data during pandemics draw attention. Furthermore, the rate of reduction increases. When the particulate matter 10 values taken from Karabük Kardemir 1 station are compared with the analysis, there is a similarity in terms of the seasonal cycle, while the highest values occur in late autumn and early winter. With the pandemics, there was a significant decrease of 32% in the amount of particulate matter 10. The remarkable decrease is attributed to the great impact of the slowdown in human activities, including industries.

Keywords: Covid 19 and Aerosol Optical Depth, Atmospheric Stability, Karabük and Karadeniz Ereğli

* Sorumlu Yazar / Correspondence Author: Doktora Öğrencisi., Karabük Üniversitesi., onurcanbulat25@gmail.com

GİRİŞ

Atmosfer, bileşimini oluşturan gazların dışında aerosol adı verilen sıvı ve katı parçacıklardan meydana gelmektedir. Boyutları mikronlarla ifade edilen bu parçacıklar havada uzun süre kalabilmekle birlikte (bir yılı aşkın), çoğunlukla bir haftadan daha kısa süre asılı durabilmekte, konveksiyonel hareketler ve rüzgârlarla dikey ya da yatay olarak taşınabilmektedir (Seinfeld & Pandis, 2006). Doğal olaylar ve beşeri faaliyetler aerosollerin birincil üretim kaynaklarıdır. Bunların dışında atmosfer içerisinde güneş ışığına bağlı olarak meydana gelen reaksiyonlar sonucunda da aerosoller oluşur (Erlat, 2016). Aerosollerin doğal oluşum sebeplerinin başında çöller gelmektedir (Oğuz vd., 2015). Özellikle Sahra Çölü Bölgesinde oluşan mineral tozları toplam aerosol üretiminin büyük kısmını oluşturmakta ve zaman zaman Türkiye'yi etkilemektedir (Topuz & Karabulut, 2017). Tozların bünyesindeki demir minerali bulut içerisinde tepkimeye uğrar. Bu minareller rüzgârlar sayesinde çok uzak mesafelere taşınarak bitki gelişiminde de önemli rol oynar (Bağcı & Şengün, 2012). Örneğin Sahra Çölünden Amazon Havzasına taşınan mineraller bu bölgedeki bitki gelişimine olumlu yönde etki ederler. Çöl tozlarının dışında denizler, okyanuslar, volkanik patlamalar, yangınlar, göktaşlarının atmosferde parçalanması, bitki gelişimine bağlı olarak oluşan polen ve organik karbonlar, sanayi kaynaklı is ve tozlar, fotokimyasal süreçlerle ortaya çıkan sülfat ve nitratlar diğer aerosol kaynaklarıdır (Pere vd., 2009; Türkeş, 2010). Bir bölgedeki aerosol yoğunluğu ve miktarı rüzgârın şiddetine, yönüne, atmosferin kararlılık şartlarına, bitki örtüsüne, topoğrafyaya, sanayi faaliyetlerinin yoğunluğuna, karasal ve denizel ortam şartlarına bağlı olarak değişebilmektedir (Güllü vd., 1998; Coen vd., 2018).

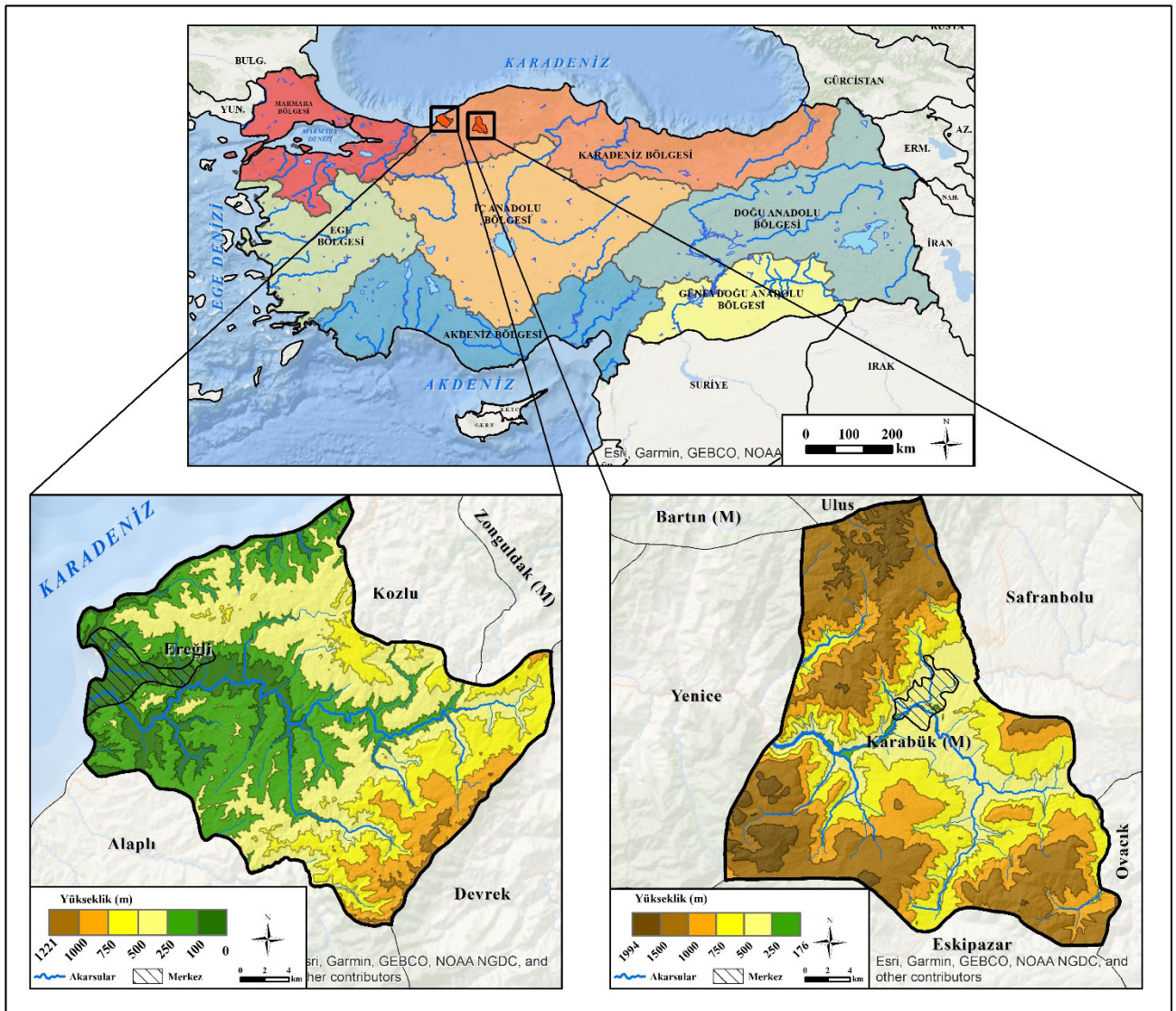
Aerosoller, Dünya'nın enerji bütçesine ve atmosfer olaylarına sağladığı katkılar sebebiyle önemli atmosferik etkenlerdendir (Seo vd., 2015; Bartoszek vd., 2020; Shaeb vd., 2020). Çeşitli sebeplerle atmosfere karışabilmekte ve birçok olaya etki etmektedir. Büyük volkanik patlamalar sebebiyle ortaya çıkan yüklü miktarda aerosol, sıcaklığın da etkisiyle stratosfere kadar taşınmaktadır. Burada bir yılı aşkın bir süre kalabilen bu partiküller, albedo etkisine bağlı olarak küresel sıcaklık ortalamalarının düşmesine sebep olmaktadır. Sanayi faaliyetleri sonucu atmosfere karışan partiküller ise daha yüksek sıcaklığı tutma özelliğine sahip olduğu için yerel ölçekte sıcaklık artışlarına katkı sağlamaktadır. Dalga çatlamalarıyla ve diğer kaynaklardan atmosfere karışan aerosoller yoğunlaşma çekirdeği işlevi göyerek bulut ve yağış oluşumuna etki ederler. Aerosollerin Dünya'nın enerji bütçesine olan etkileri doğrudan, bulut ve yağış oluşumuna etkileri ise dolaylı etki olarak değerlendirilir (Min & Zhang, 2014). Ayrıca buzul alanlarındaki geçmiş jeolojik devirlere ait toz birikimlerinden o döneme ait iklim özellikleri hakkında çıkarım yapılabilmektedir (Ackerman & Knox, 2015). Uydu ve yer istasyonlarından yapılan aerosol ölçümlerine bağlı olarak sınır tabakası yüksekliği tahmini yapılmaktadır (Nichol vd., 2010; Onyango vd., 2020). Sınır tabakası yüksekliği, atmosferi kirletici partiküllerin dağılımının belirlenmesi adına önemli bir parametredir. Çünkü bu yükseklik, dikey karışımın üst sınırını ifade etmektedir. Sonuç olarak aerosoller sıcaklık üzerindeki pozitif ve negatif geri besleme özellikleri, hava kirliliği, atmosfer olayları, bitki gelişimi ve sahip olduğu birçok özelliğe bağlı olarak önemli bir araştırma konusudur (Baumer vd., 2008; Khan vd., 2019).

Aerosollerin doğal ya da beşeri kaynaklardan ortaya çıkması, atmosfer olaylarındaki rolü ve özellikle antropojenik kökenli aerosollerin insan sağlığı üzerinde sahip olduğu olumsuz etkileri bilinmektedir. Covid 19 salgın sürecinin aerosoller üzerindeki etkisi araştırmanın en önemli nedenini oluşturmaktadır. Örneğin, 1952 Londra hava kirliliği ve sis hadisesinde olduğu gibi bu olumsuz etki gözlemlenmiştir (Polivka, 2018). Ayrıca Covid 19 salgın sürecinin insan faaliyetleri üzerindeki etkisi ve bu faaliyetlerdeki değişimin atmosfer derişimi ve aerosol optik derinliği üzerinde etkisinin bulunup bulunmadığı sorusu, araştırmacıların zihinlerinde merak uyandırmaktadır. Araştırma, salgın sürecinin insan faaliyetleri üzerindeki etkisini tam olarak gösterebilmek adına, birer demir-çelik sanayi üretim alanı olan Karabük ve Karadeniz Ereğlisi'ni kapsamaktadır. Yapılan analizler, salgın sürecinin insan faaliyetlerini kısıtlaması sonucunda aerosol optik derinliğinde meydana gelen değişimleri ortaya koymaktadır. Çalışmada, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) verileri kullanılarak, Türkiye'nin önemli demir-çelik sanayi şehirleri olan Karabük ve Karadeniz Ereğlisi'nde aerosol optik derinliği (AOD) analiz edilerek karşılaştırılmaktadır. Açık kaynak özelliğine sahip olması ve farklı aerosol boyutlarına ait verilerin bulunması sebebiyle analizde MODIS verileri kullanılmıştır. Karabük ve Karadeniz Ereğlisi'nin seçilme nedeni, bu sahalarda aerosollerin önemli ölçüde antropojenik kaynaklı olmasıdır. İnsan faaliyetlerine bağlı olarak oluşan aerosollerin sağlık üzerinde de olumsuz etkileri

vardır (Yalçın & Kaya, 2019). Aerosol derinliklerindeki farklılıklar hava kirliliklerinde önem arz eden ve daha çok kullanılan Pasquill-Gifford hava kararlılık kriterlerine göre değerlendirilmekte ve sebepleri ortaya konmaktadır. Ayrıca yaklaşık 2020 yılı mart ayı ortalarından itibaren Türkiye’de etkisi kuvvetli olarak hissedilen Covid 19 salgın sürecinin çalışma alanlarında aerosol optik derinliği üzerindeki etkisi açıklanmaktadır. Analiz sonuçlarına bağlı olarak yapılan haritalandırmada sanayi faaliyet bölgelerinin aerosol optik derinliğine etkisi açıkça görülmektedir.

Çalışma Alanlarının Jeomorfolojik ve Klimatolojik Özellikleri

Araştırma Türkiye’nin kuzey kesiminde yer alan Karabük il merkezi ve Zonguldak iline bağlı olan Ereğli ilçesini kapsamaktadır (Şekil 1). Matematik konum olarak Karabük kent merkezinin bulunduğu alan yaklaşık $41^{\circ} 11'$ kuzey enlemi, $32^{\circ} 37'$ doğu boylamında; Ereğli kent merkezi ise $41^{\circ} 16'$ kuzey enlemi, $31^{\circ} 25'$ doğu boylamında yer almaktadır.

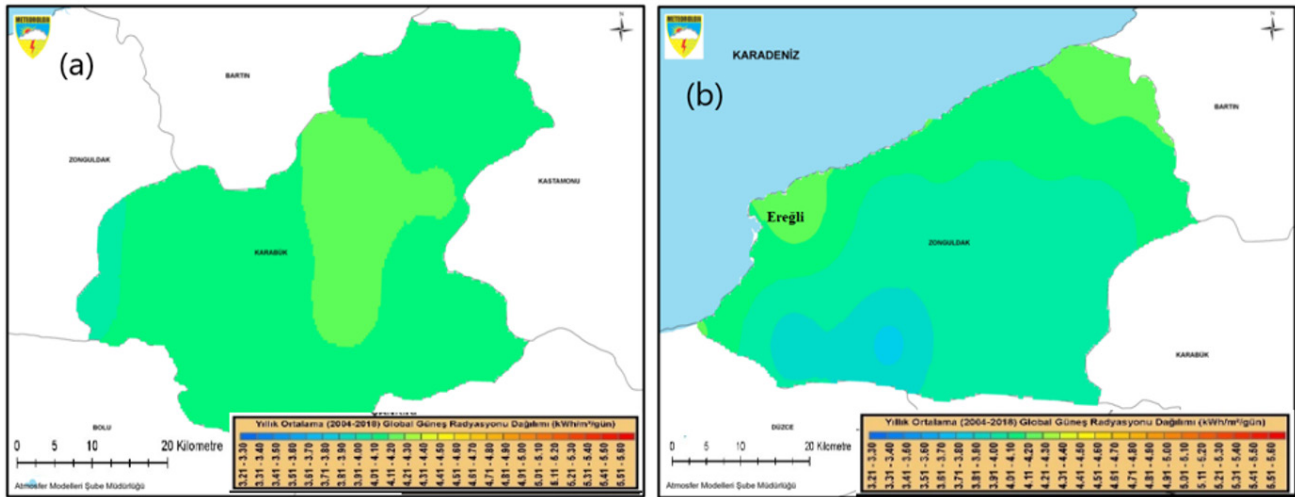


Şekil 1. Çalışma Alanlarının Lokasyon ve Fiziki Haritaları

Batı Karadeniz arazisi genel olarak Kuzey Anadolu Dağları'nın batı bölümünü oluşturmaktadır. Sahayı yükseltisi 2000 m'yi fazla aşmayan dağlık alanlar, akarsu vadilerini takip eden depresyonlar ve aşınım düzlükleri oluşturmaktadır. Karabük il merkezi denizden ortalama 280 m yükseltiye sahip, kabaca doğu-batı uzanışlı bir depresyon içerisinde yer alır. Arazide yükselti 250-500 m arasında değişir. Doğuda Safranbolu'ya doğru 500 m'nin üzerine çıkar. Keltepe şehre yakın alanlar içerisinde 2000 m'ye varan rakımıyla en yüksek noktadır. Araç, Soğanlı ve Filyos Karabük'ün bulunduğu depresyonu oluşturan akarsulardır (Atalay & Mortan, 2017).

Ereğli, Karabük ile benzer şekilde engebeli bir topoğrafik yapıya sahiptir. Kıyıda alçak alanlar, engebeli araziler üzerindeki aşınım düzlükleri ve iç kesimlerdeki dağlık alanlar arazinin genel görünümünü belirlemiştir. Ortalama 5 m yükseltiye sahiptir. Kıyı kuşağında ise yükselti 0-200 m arasında değişmektedir. İç kesimlere doğru yükselen arazi güneydoğudaki Babadağ'da 1500 m'ye varmaktadır. En önemli akarsu, ilçe arazisinin de büyük bölümünü kateden Güluç Çayıdır.

Genel olarak her iki saha da Karadeniz iklimi etkisi altında olsa da Karabük'ün iç kesimde yer alması karasallığın etkisini artırmıştır. Yazları sıcaklık değerleri daha fazla yükselirken, kış mevsiminde ise Ereğli'ye göre daha düşük değerler gözlemlenmektedir. Toplam yağış tutarındaki azalma karasallığın sebep olduğu diğer bir durumdur (Atalay, 2010). Pasquill-Gifford hava kararlılık kriterlerine göre sıcaklık, güneş radyasyonu, rüzgâr hızı ve bulutluluk atmosfer kararlılığı üzerinde en fazla etkiye sahip iklim elemanlarıdır (Pasquill, 1961; Gifford, 1961). (Şekil 2 ve 3). Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) uzun süreli kayıtlarına göre araştırma sahalarına ait iklim verileri Tablo 1'de belirtilmiştir.



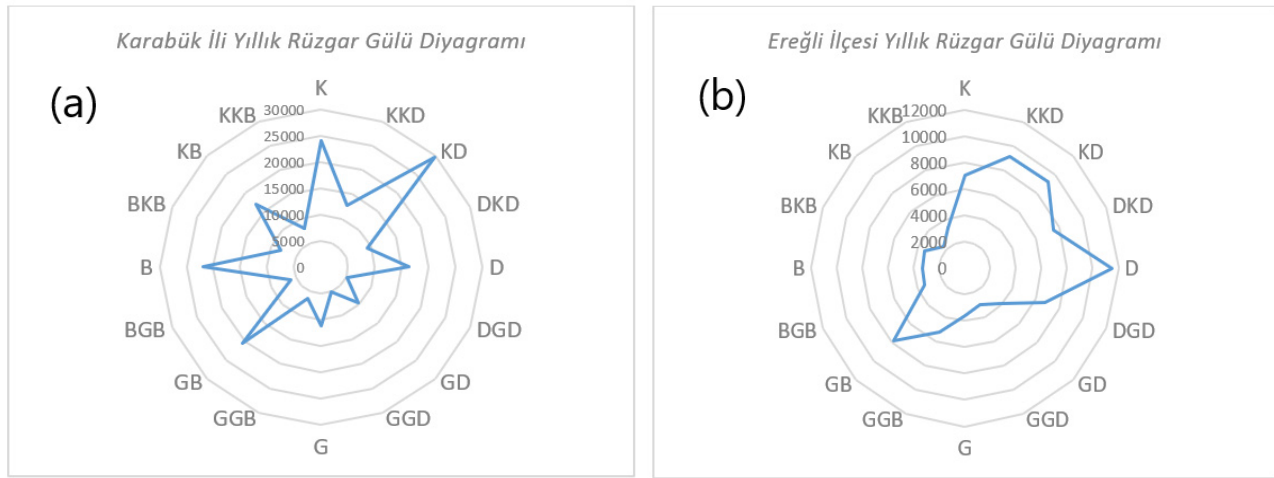
Şekil 2. Yıllık Ortalama Güneş Radyasyonu Dağılımı. Karabük (a) ve Zonguldak (b) İleri(MGM)

Tablo 1. Karabük ve Ereğli İklim Elemanlarına Ait Veriler

	Ortalama Sıcaklık	Ocak S. Ort. (°C)	Temmuz S. Ort. (°C)	Bulutluluk	Bulutlu Gün	Rüzgâr Hızı	Nem (%)	Yağış (mm)	Kapalı Gün
	(°C)			(Okta)		(m/s)			
Karabük	13.4	2.3	24.1	3.8	230	1	67	522.1	39
Ereğli	14.6	5.8	23.9	4.2	232	1.9	74.4	1119.9	55

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (Karabük 1965-2014, Ereğli 2007-2017)

Karabük ilinde karasallığın etkisi ile ısınma ve soğuma daha hızlı gerçekleşmektedir. Ereğli ilçesine oranla temmuz ayı sıcaklık ortalaması daha yüksek, ocak ayı ortalaması ise daha düşüktür. Atmosferdeki dikey karışıma rüzgârdan daha çok bu hızlı sıcaklık değişimleri etki edecektir. Çünkü atmosfer kararlılık durumunu belirleyen diğer parametrelerden rüzgâr hızı, Ereğli'ye oranla neredeyse iki kat daha düşüktür (1 m/s). Ereğli ise 1.9 m/s yıllık ortalama rüzgâr hızına sahiptir. Nemliliğin %74.4 gibi yüksek bir seviyede olması Ereğli'de sıcaklık geçişlerinin daha dengeli olması anlamına gelir. Bu bakımdan atmosfer kararlılığı Ereğli'de rüzgâr parametresi altında şekillenecektir. Kararsız atmosfer koşulları havanın dikey yönde yükselişini kolaylaştırmaktadır. Bu durum da herhangi bir sebeple atmosfere karışan toz ve partiküllerin seyrelmesi ve dağılması anlamına gelmektedir. Uygun kararsız hava koşullarında seyrelebilen partiküller sonucunda aerosol optik derinliği de azalma eğiliminde olmaktadır. Bu bakımdan çalışma sahalarının AOD karşılaştırmalarında atmosfer kararlılık şartları da önemli bir parametreyi oluşturur. Ayrıca atmosfer basıncının yükseldiği zaman dilimlerinde havanın dikey yönde hareketleri sınırlanır. Bu da atmosfere karışan partiküllerin belirli bir yükseltide hapsolmesine sebep olur (İnversiyon gibi). Basıncın en fazla yükseldiği kış mevsimine bakıldığında Karabük 986.1 hPa, Ereğli ise 1017.3 hPa basınç değerine sahiptir. Bu durum da atmosfer kararlılığını artırır.



Şekil 3. Yıllık Rüzgâr Güllü Diyagramları. Karabük (a) ve Ereğli (b)

Sıcaklık ve güneş radyasyonu partiküllerin dikey dağılımını belirlerken (konvektif hareket), rüzgâr hızı ve hâkim rüzgâr yönü laminar dağılım üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca hâkim rüzgâr yönü ve ortalama rüzgâr hızı partiküllerin yaklaşık taşınım yönü ve kuvveti hakkında fikir vermektedir.

MATERYAL VE METOT

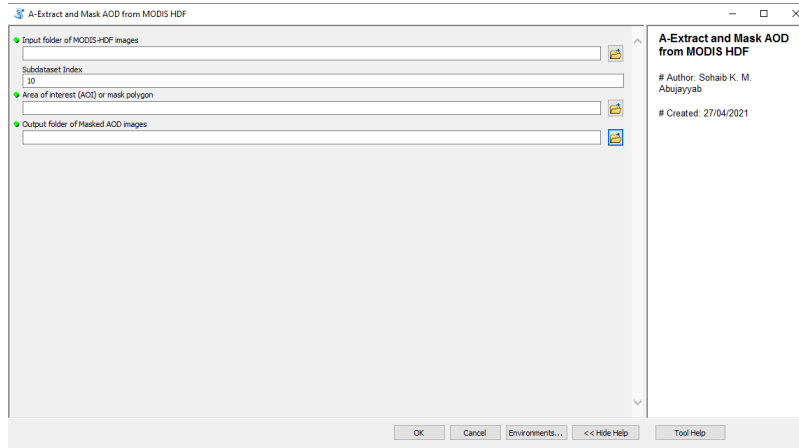
Analize ait işlem basamakları uydu görüntülerinin işlenmesi, haritalanması, tablolaştırılması ve sahalara ait atmosfer kararlılık kriterlerinin belirlenmesi olarak iki başlıktan oluşmaktadır. MODIS uydu görüntülerinin standardizasyonu ve ArcGIS programında görselleştirilebilmesi amacıyla verilere bu işlem basamakları uygulanmaktadır. Ayrıca araştırma sahalarına ait atmosfer kararlılık kriterlerinin belirlenmesi bu alanlarda atmosferik sirkülasyonda etkin olacak iklim elemanının tespiti için önemlidir. Kararsızlığı belirleyecek iklim elemanı aynı zamanda dağılımı da yönlendirecek ve sağlayacaktır.

Uydu Görüntülerinin İşlem Basamakları

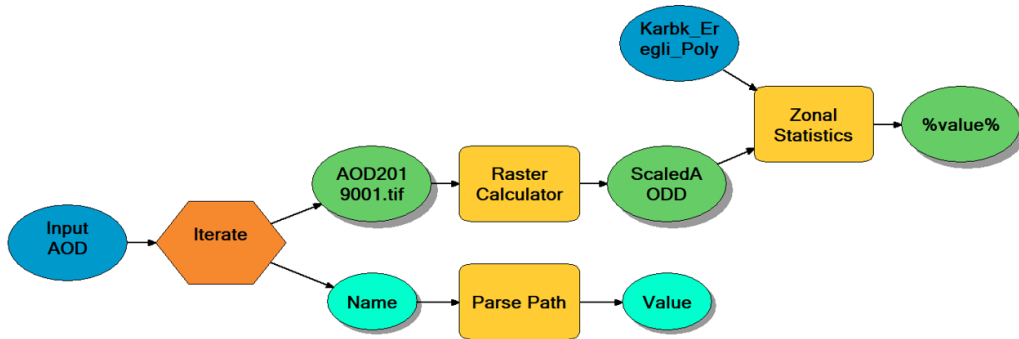
Araştırmada MODIS'in Aqua ve Terra uydusuna ait, erişime açık veriler kullanılmıştır. NASA (National Aeronautics and Space Administration)'ya ait bu uydu sistemi okyanus ve karalar üzerinde aerosol optik derinliğini gözlemlemektedir. Ayrıca MODIS NDVI, albedo, bulutluluk gibi farklı alanlarda da araştırmacılara veri sağlamaktadır. Uydular her 1-2 günlük süreçte tüm Dünya'yı görüntülemektedir. 36 farklı bant aralığına sahip sistem, görünür ve kızılötesi alanlarda veri kaydı yapmaktadır. Bulutlu günlerde görüntü kaydı alamayan sistem, 1 km çözünürlüğe sahiptir. Görüntü dosyaları .hdf uzantılıdır (Zeydan &

Yıldırım, 2012). Bu sebeple coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi yazılımlarda kolayca bu görüntüler işlenebilmektedir. Aerosol optik derinlik verileri aerosollerin atmosferdeki dağılımını ve yoğunluğunu ifade eder (URL 1). Aerosol optik derinliğine ait bir birim olmamakla birlikte genel olarak 0-1 arasında ifade edilmektedir. 1'in üzerindeki değerler kuvvetli toz taşınımını ve kum fırtınalarını gösterir (Lee vd., 2012; Dündar vd., 2013; Wei vd., 2019).

1 Ocak 2019 ve 19 Nisan 2021 tarihleri arasında AOD görüntüsü alınabilen toplam 292 günlük MODIS belirsizlik (uncertainty) aerosol optik derinlik verileri çalışmada kullanılmıştır. Bulutlu günlerde MODIS AOD görüntüsünün alınamaması analize dahil edilen gün sayısını sınırlandırmıştır. Covid 19 salgın sürecinin araştırma sahalarındaki aerosol optik derinliği üzerindeki etkisinin tespiti amacıyla, salgının Türkiye'de etkisini fazlasıyla hissettirdiği 2020 yılı Mart ayı içerisinde 15 Mart tarihi salgın öncesi ve salgın süreci analizlerinin ayırım tarihi olarak belirlenmiştir. Salgın öncesi döneme ait 143, salgın süreci için ise 149 günlük görüntü kullanılmıştır. Uncertainty veri analizine ek olarak belirtilen tarihler arasında 0.55 µm AOD verileri ile ayrıca bir analiz yapılmıştır. 0.55 µm verilerinde salgın öncesi döneme ait 87, salgın sürecinde ise 82 günlük görüntü alınabilmiş ve kullanılmıştır. Analizlerin tutarlılığı adına salgın öncesi ve salgın süreci dönemlerine ait görüntü sayılarının birbirine yakın olmasına dikkat edilmiştir. Analiz öncesi veri hazırlama işlemleri için Python dilinde ArcMap programı için özel olarak yazılan bir araç çubuğu kullanılmıştır. Bu araç çubuğu, uydu görüntülerinin çalışma sahalarına göre kesme işlemlerinin yanı sıra verilerin kronolojik sıraya göre isimlendirilip kaydedilmesi işlemlerini yapmaktadır (Şekil 4). Bu basamak tüm uydu görüntüleri için tamamlanmadan ArcGIS'te çoklu veri işleme gerçekleştirilememektedir. Uydu görüntülerinin işlenmesi, sayısallaştırma ve haritalandırma basamakları için ArcGIS 10.4.1 programı kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 4. Veri Ön İşlemleri Sırasında Kullanılan ve Özel Olarak Geliştirilen Eklenti



Şekil 5. ArcGIS Veri İşleme Basamakları. Iterate= Çoklu okuma, Parse Path= Her görüntünün farklı kaydı, Raster Calculator= Ölçeklendirme aracı, Zonal Statistics= Verinin alansal ortalaması için kullanılmıştır.

Iterator aracı AOD görüntülerinin çoklu yazım ve kaydına imkân sunmaktadır. Verilerin standardizasyonu ve haritalandırılması için her güne ait uncertainty AOD görüntüsü MODIS'te yer alan (URL 2) ölçeklendirme faktörü (0.0001) ile raster calculator aracılığıyla çarpılmıştır. 0.55 µm AOD verileri için ölçeklendirme değeri 0.001'dir ve bu değer her aerosol boyutu için farklı olup partiküllerin gerçek ebatlarında gösterilmesini sağlar. Zonal statistic ise AOD görüntülerinin alansal ortalamasını hesaplamaktadır. Haritalandırma raster calculator işlem sonucuna ve program işlem basamaklarına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Aerosol derinliğinin alansal dağılımının hesaplanması ve raster hesaplama aracı, araştırmaya konu olan yerleşim alanları üzerinde aerosol yoğunluğunun zamansal ve alansal değişimi hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadır. Bu bilgiler de haritalama ve verilerin şekil, grafik ya da tablo olarak sunumuna imkân tanır.

Çalışma Alanlarına Ait Atmosfer Kararlılık Şartlarının Belirlenmesi

Atmosfer kararlılık şartları herhangi bir kaynaktan havaya karışan partiküllerin dağılım karakteristiğini belirlemektedir. Atmosfer kararlılığı gezegensel sınır tabakasının yüksekliğini, o da partiküllerin dağılımını etkiler. Atmosferin yeryüzüne en yakın ve buradaki değişimlere hızlı bir şekilde cevap verebilen bölümüne sınır tabakası denmektedir (Stull, 1988). Atmosfer ne kadar kararsız ise sınır tabakası yüksekliği o kadar fazla olacak ve dolayısıyla aerosollerin dikey yönde karışımı ve seyrelmesi kolaylaşacaktır (Camuffo, 2019). Bunun sonucunda ise AOD değerleri azalacaktır. Bir hava parselinin kendisini çevreleyen hava kütesinden daha sıcak olması, o havanın yükselmesini sağlar. Bu durum kararsız hava olarak ifade edilir. Sıcaklıklar dengelenene kadar yükselme devam eder (Çimen vd., 2007). Bu nedenle sıcaklık ve güneş radyasyonu kararlılığın belirlenmesinde temel parametrelerdendir. Partiküllerin taşınımı ve seyrelmesi dikey yönde sıcaklık sayesinde olurken, yatay yönde rüzgârlar aracılığıyla olmaktadır. Rüzgâr hızı ve sürekliliği, havadaki toz parçacıklarını uzak mesafelere taşıyarak bir alandaki aerosol yoğunluğunu azaltmaktadır. Topoğrafik şartlar, rüzgârın hızı ve yönü üzerinde önemli rol oynar. Şiddetli rüzgârların kanalize olabildiği vadiler, boğazlar, deniz kıyısı olan alanlar bu taşınım sürecinde avantajlı olan sahalardır. Bu nedenle atmosfer kararlılığının belirlenmesinde diğer önemli parametre rüzgârlardır. Rüzgârların atmosferik taşınım üzerindeki etkisi birçok alanda araştırma konusu olmaktadır.

Atmosfer kararlılığının belirlenmesinde Showalter, Rackliff, K indeksi gibi birçok yöntem olmasına rağmen bu yöntemler yüksek atmosfer (1500 m, 3000 m, 5500 m) şartlarında yağış ve fırtınaların oluşumunu tespit etmeyi amaçlamaktadır (Pepler, 1988). Ancak herhangi bir kaynaktan atmosfere karışan aerosollerin ilk etapta bu yüksekliklere ulaşması pek mümkün değildir. Bu nedenle yeryüzüne daha yakın alanların kararlılık şartlarının belirlenmesinde Pasquill-Gifford kararlılık kriterleri kullanılmaktadır (Venkatram, 1996; Krüger & Emmanuel, 2013; Mao vd., 2020). Bu kararlılık sınıflandırmasına göre dikkat edilen parametreler ve onlara ait değerler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Pasquill-Gifford Atmosfer Kararlılık Sınıflandırması

Yer Seviyesinde (10 m'de) Rüzgâr Hızı (m/s)	Gündüz			Gece	
	Güneş Radyasyonu			Bulutluluk	
	Kuvvetli	Orta	Zayıf	≥4/8	<4/8
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

A: Çok Kararsız B: Orta Derecede Kararsız C: Az Kararsız D: Nötr E: Orta Derecede Kararlı F: Çok Kararlı

Araştırma için Karabük il merkezi (1965-2014) ve Ereğli ilçesine ait (2007-2017) Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan ortalama değerler kullanılmıştır. Karabük 13.4°C ortalama sıcaklık, düşük güneş radyasyonu, 1 m/s rüzgâr hızı, 3.8 okta bulutluluk değerlerine sahiptir. Ereğli'de ise 14.6°C ortalama sıcaklık, düşük güneş radyasyonu, 1.9 m/s rüzgâr hızı ve 4.2 okta bulutluluk görülür. Karabük şehri yaz sıcaklık ortalamaları, güneş radyasyonu değerlerinin daha yüksek olması ve karasallığın sebep olduğu hızlı ısınma şartları nedeniyle konvektif akımlara daha müsaittir. Ereğli istasyonunda bulutluluk

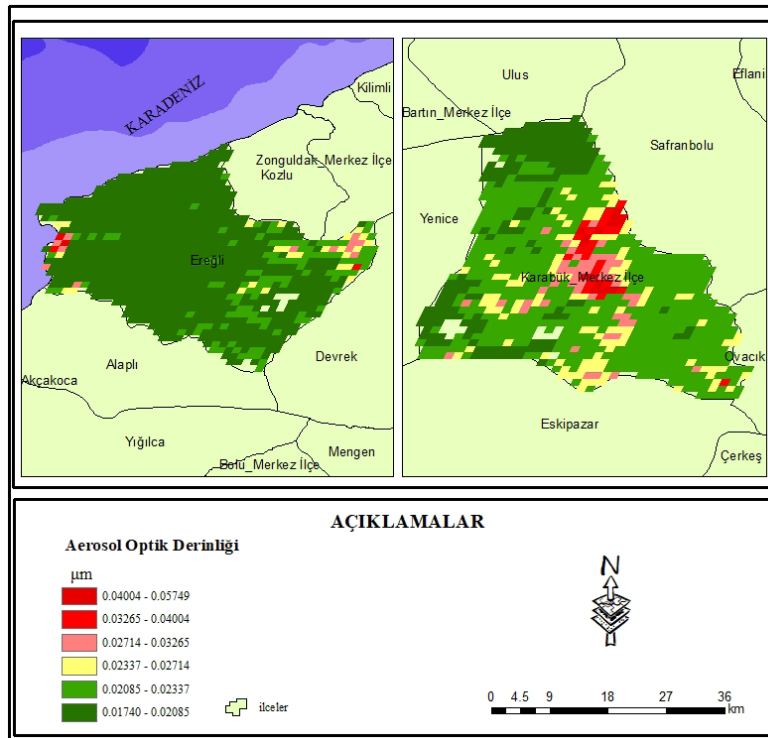
ölçümü yapılmadığı için bulutluluk değeri kendisine en yakın (yaklaşık 45 km) ve benzer iklim şartlarına sahip Zonguldak istasyonundan (1937-2017) alınmıştır. Ereğli ve Zonguldak'a ait iklim elemanlarının yıl içerisindeki değerlerinin birbirine çok yakın olması Zonguldak istasyonunun bulutluluk için seçilmesinde etkili olmuştur. Örneğin Ereğli ve Zonguldak'ın bulutlu gün sayısı 232'dir. Ereğli'nin nispi nem oranı %74, Zonguldak'ın %72'dir. Yıllık toplam yağış tutarı Ereğli'de 1119 mm iken Zonguldak'ta 1219 mm'dir. Şehirlere ait diğer parametrelerde de benzer durumlar söz konusudur.

Ayrıca yapılan analiz sonuçlarını yer istasyonlarında kaydedilen partikül madde (PM) 10 değerleri ile karşılaştırmak için Çevre ve Şehircilik Bakanlığının araştırma sahalarına ait kayıtlar alınmıştır (URL 3). Karabük şehrine ait PM 10 değerleri Kardemir 1 istasyonu ölçümlerine aittir. Ancak Ereğli istasyonunun araştırma sürecini kapsayan zaman diliminde PM 10 ya da PM 2.5 ölçüm kayıtları bulunmamaktadır. Bu nedenle karşılaştırma yalnızca Karabük il merkezini kapsamaktadır.

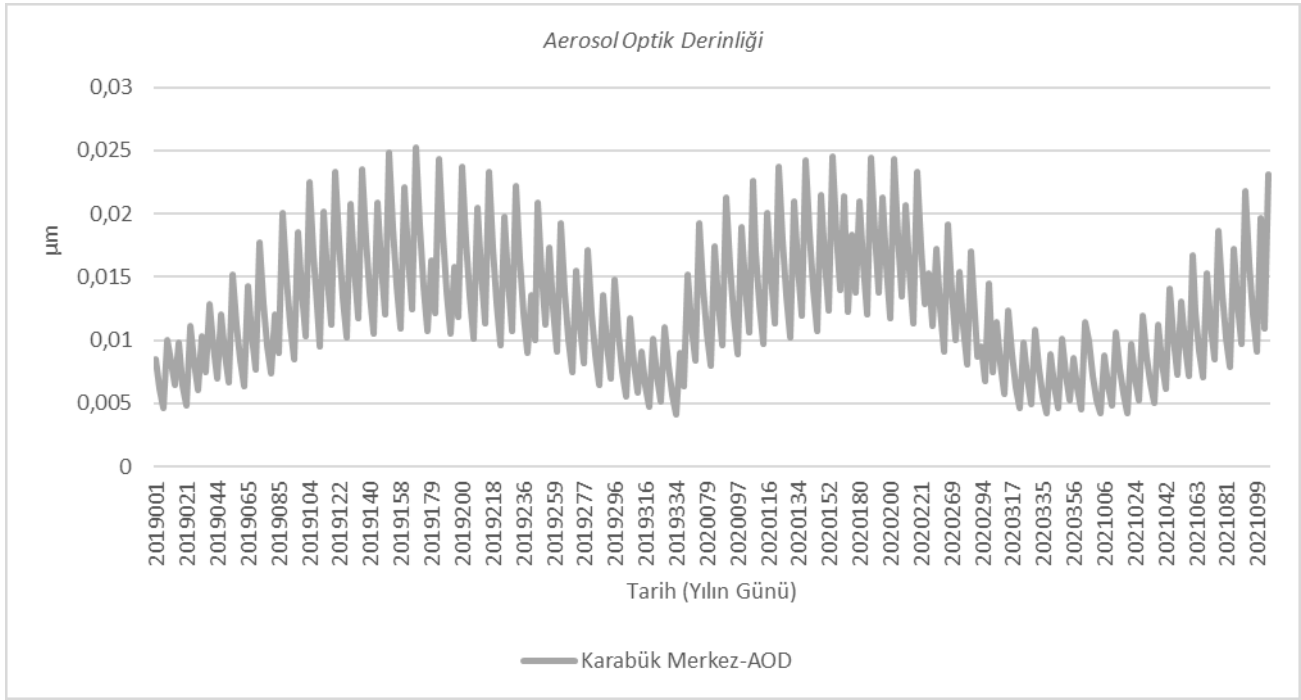
BULGULAR

Araştırma sahalarına ait 1 Ocak 2019-19 Nisan 2021 tarihleri arasında veri kaydı bulunan 292 gün için yapılan analiz sonucunda scale faktör ile standardize edilen uncertainty AOD değerleri ortalamaları Karabük şehir merkezinde 0.01250 μm , Ereğli ilçesinde ise 0.01105 μm 'dir. Karabük il merkezinde aerosol optik derinliğinin Ereğli'ye göre %11.6 daha fazla olduğu saptanmıştır. Ayrıca her iki çalışma sahasında da AOD'nin demir-çelik sanayisinin kurulu ve yerleşmelerin yoğun olduğu alanlarda fazla olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 6).

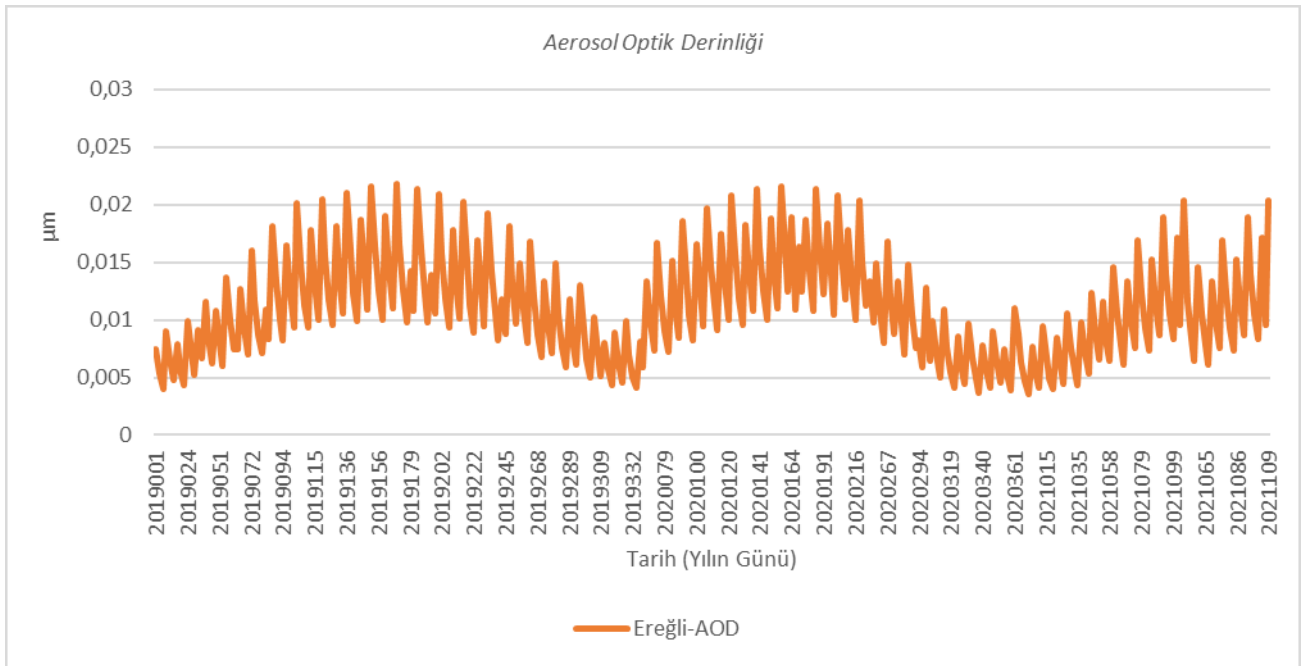
Uncertainty AOD değerlerinde her iki çalışma sahasında da ilkbahar başları ile yükselişe geçen mevsimsel bir döngü gerçekleşmektedir (Şekil 7 ve 8). Orman Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre Karabük ilinin yaklaşık %71'i, Ereğli ilçesinin ise %55'i ormanlarla kaplıdır (URL 4). Bu durum uncertainty aerosol optik derinliği ile bitki örtüsünün gelişim dönemleri arasında önemli bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Karabük il merkezinde tespit edilen uncertainty AOD değerleri araştırmaya konu olan zaman diliminin neredeyse tamamında Ereğli'nin AOD değerlerinden yüksektir.



Şekil 6. Araştırma Sahalarına Ait Uncertainty AOD Değerleri



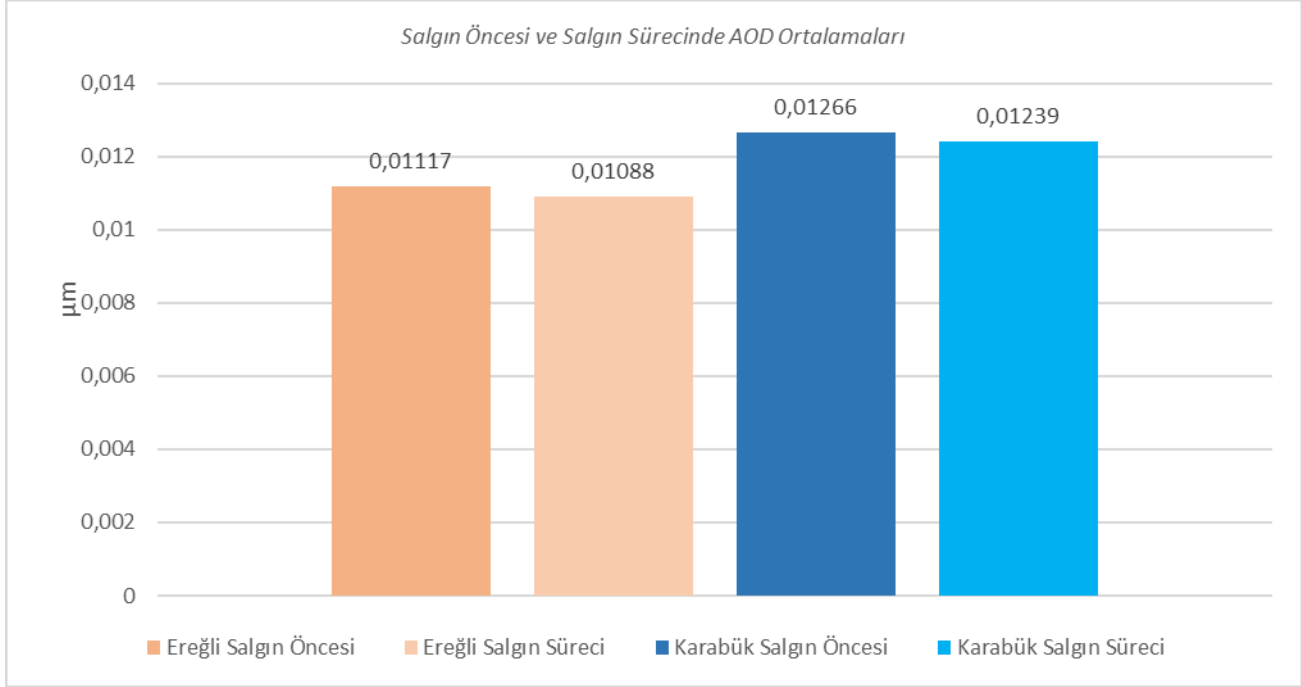
Şekil 7. Karabük İl Merkezine Ait Uncertainty AOD Değerleri



Şekil 8. Ereğli İlçesine Ait Uncertainty AOD Değerleri

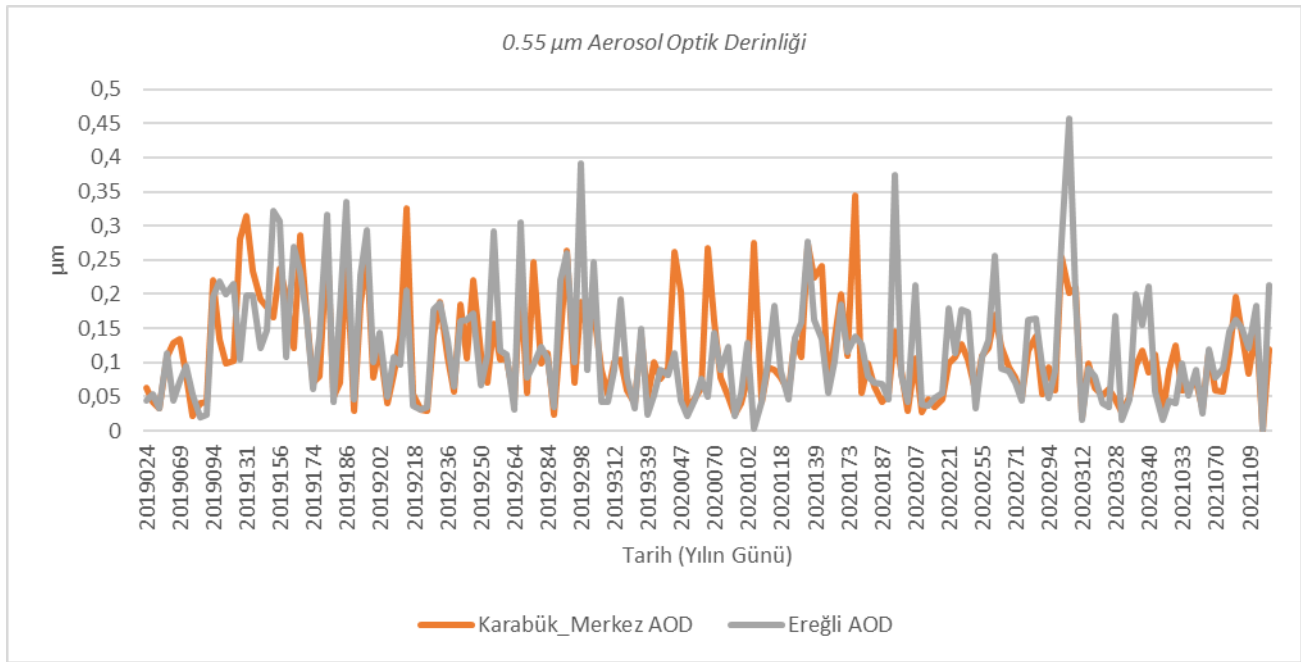
Salgın öncesi 143 günü kapsayan zaman diliminde yapılan analizde Karabük şehir merkezine ait uncertainty AOD ortalaması 0.01266 μm , salgın sürecindeki 149 günlük dönemde ise 0.01239 μm 'dur. Karabük'te Covid 19 salgın sürecinde AOD ortalamalarında %2.1'lik azalma gözlemlenmektedir. Ereğli'de salgın öncesi AOD ortalaması 0.01117 μm , salgın sürecinde

ise 0.01088 μm 'dir. Salgının Ereğli AOD ortalamasına etkisi %2.6'dır (Şekil 9). Ereğli'ye ait yapılan analizde salgın öncesi dönemde standart sapma değeri 0.00438, salgın süreci zaman diliminde ise 0.00460'dır. Karabük'te ise salgın öncesi dönemde 0.00507 standart sapma değeri mevcutken, salgın sürecinde bu değer 0.00527'dir.

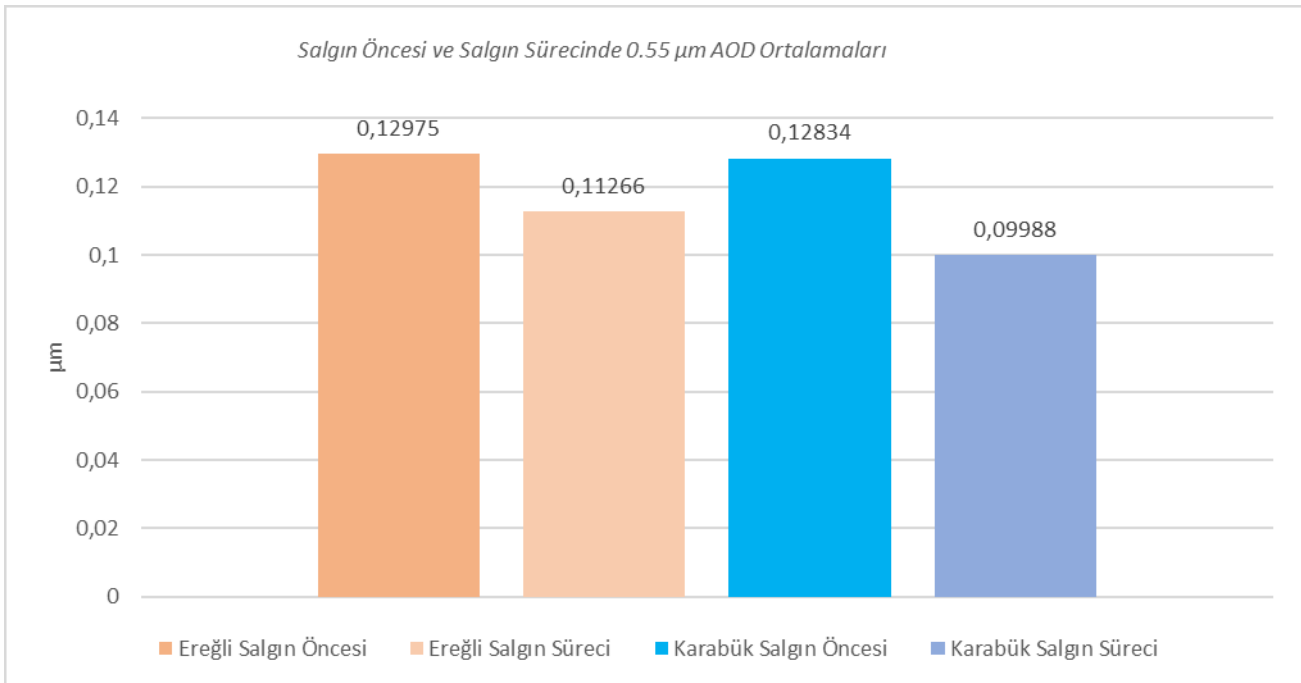


Şekil 9. Ereğli ve Karabük Merkezde Salgın Öncesi ve Salgın Sürecinde Uncertainty AOD Ortalamaları

0.55 μm AOD verileri ile yapılan analizlerde Karabük şehrinde ortalama değer 0.11453 μm 'dir. Ereğli ilçesinde ise bu değer 0.12146 μm 'dir. Ereğli ilçesi %5.8 daha fazla bir AOD değerine sahiptir (Şekil 10). Salgın öncesi süreçte Karabük'te ortalama değer 0.12834 μm , salgın sürecinde ise 0.09988 μm 'dir. Ereğli ilçesinde salgın öncesinde 0.12975 μm ortalama değeri görülürken, salgın sürecinde ortalama değer 0.11266 μm 'a düşmektedir. Covid 19 salgın sürecinde, 0.55 μm AOD değerlerinde Karabük şehrinde %22.2, Ereğli'de ise %13.2'lik düşüş yaşanmıştır (Şekil 11 ve Tablo 3).



Şekil 10. 0.55 µm AOD Değerlerinin Değişimi



Şekil 11. Ereğli ve Karabük Merkezde Salgın Öncesi ve Salgın Sürecinde 0.55 µm AOD Ortalamaları

0.55 µm verilerine ait analizlerde Karabük şehrinde salgın öncesi dönemde standart sapma değeri 0.07914, salgın sürecinde ise 0.06551'dir. Ereğli ilçesinde ise salgın öncesi dönemde 0.08870 standart sapma değeri mevcutken, salgın sürecinde bu değer 0.08100'dür.

Tablo 3. Salgın Öncesi ve Salgın Sürecinde AOD Ortalamaları

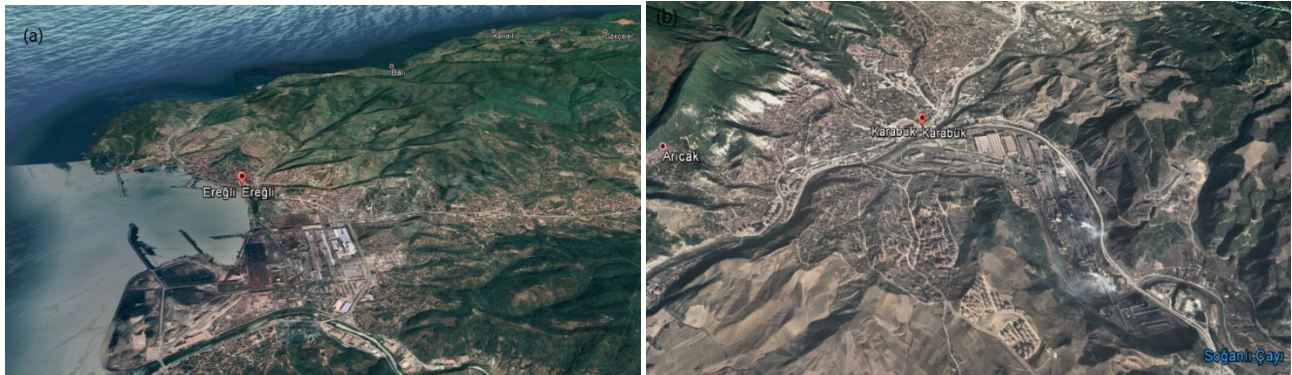
	Salgın Öncesi Uncertainty AOD (μm)	Salgın Sürecinde Uncertainty AOD (μm)	Değişim Oranı (%)	Salgın Öncesi 0.55 μm AOD	Salgın Sürecinde 0.55 μm AOD	Değişim Oranı (%)
Ereğli	0.01117	0.01088	2.6	0.12975	0.11266	13.2
Karabük	0.01266	0.01239	2.1	0.12834	0.09988	22.2

Aerosollerin atmosferdeki dağılımını etkileyecek olan atmosfer kararlılık şartları Pasquill-Gifford sınıflandırması dikkate alınarak değerlendirildiğinde, yıllık ortalama değerlere göre Karabük şehri gündüz koşullarında düşük güneş radyasyonu, 1 m/s rüzgâr hızı ile B (orta derecede kararsız) kategorisinde; gece koşullarında ise 3.8 okta bulutluluk ile F (çok kararlı) kategorisinde yer almaktadır. Ereğli ilçesinde nisan-eylül kadar olan süreçte ortalama rüzgâr hızı 2.1 m/s'dir. Bu altı aylık süreçte düşük güneş radyasyonunu da dikkate alındığında Ereğli, gündüz koşullarında C (az kararsız), yılın geri kalan döneminde ise B (orta derecede kararsız) kategorisinde yer almaktadır. Gece koşullarında ise 4.2 okta bulutluluk ile E (orta derecede kararlı) sınıflandırmasına dahildir (Tablo 4).

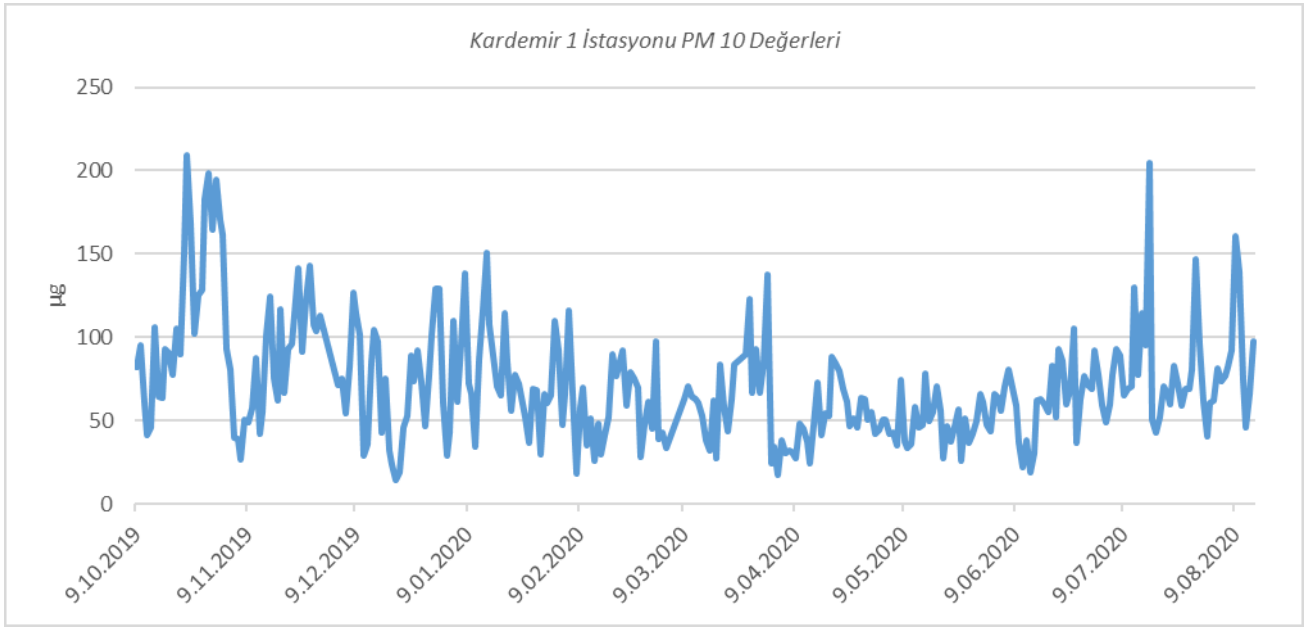
Tablo 4. Çalışma Sahalarının Kararlılığı Ait Meteorolojik Değerleri

	Güneş radyasyonu	Rüzgâr hızı (m/s)	Bulutluluk (okta)	Atmosfer Kararlılığı	
				Gündüz	Gece
Ereğli	Düşük	Nisan-Eylül 2.1 Yıllık ortalama 1.9	4.2	Nisan-Eylül; C (Az kararsız) Ekim-Mart; B (Orta derecede kararsız)	E (orta derecede kararlı)
Karabük	Düşük	1	3.8	B (orta derecede kararsız)	F (çok kararlı)

Ereğli ilçesi yılın altışar aylık iki döneminde rüzgâr hızına göre iki farklı atmosfer kararlılığı sahiptir. Belirtilen sürelerin uzunluğu sebebiyle, sahanın atmosfer kararlılığı yıl içinde iki farklı kategoride değerlendirilmiştir. Ereğli ilçesinde yıllık ortalama rüzgâr hızı Karabük şehrinin yaklaşık iki katı kadardır. Bu durum aerosol yoğunluğunun azalmasında Ereğli için avantaj sağlamaktadır. Ayrıca araştırma sahalarına ait jeomorfolojik özelliklerin farklı oluşu aerosol derinlikleri üzerinde etkili olmaktadır (Şekil 12).

**Şekil 12.** Ereğli İlçesi (a) ve Karabük (b) İl Merkezinin Genel Arazi Yapısı

Karabük Kardemir 1 istasyonundan alınan PM 10 değerleri AOD analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında, benzer bir süreç dikkat çekmektedir. Özellikle Covid 19 sürecindeki azalış tüm verilerde ortaktır. Salgının etkilerinin yoğun olarak hissedildiği 15 Mart 2020 öncesindeki ve sonrasındaki 150'şer güne ait PM 10 değerleri karşılaştırıldığında, 15 Mart sonrasında değerlerde %32 oranında düşüş meydana gelmiştir (Şekil 13). Analize dahil olan günlerde Karadeniz Ereğlisi istasyonuna ait PM 10 veri kayıtlarının bulunmaması bu sahaya ait karşılaştırma yapılamamasına sebep olmuştur.

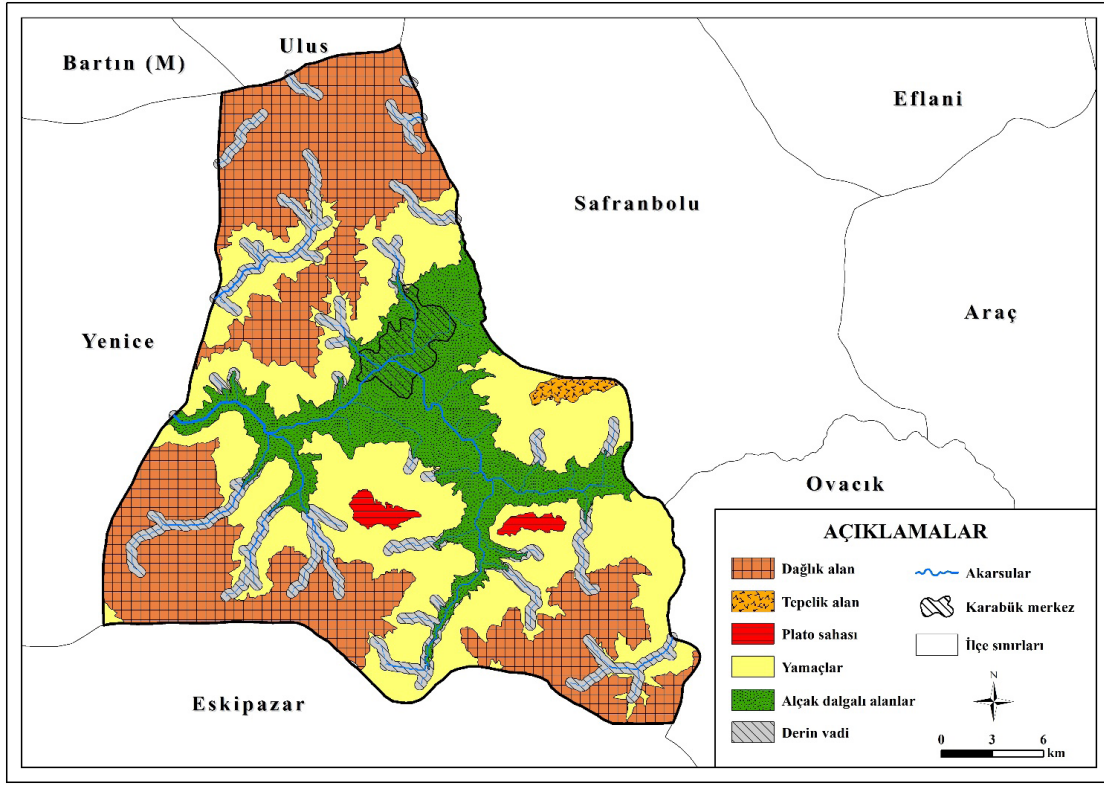


Şekil 13. Karabük Kardemir 1 İstasyonu PM 10 Değerleri

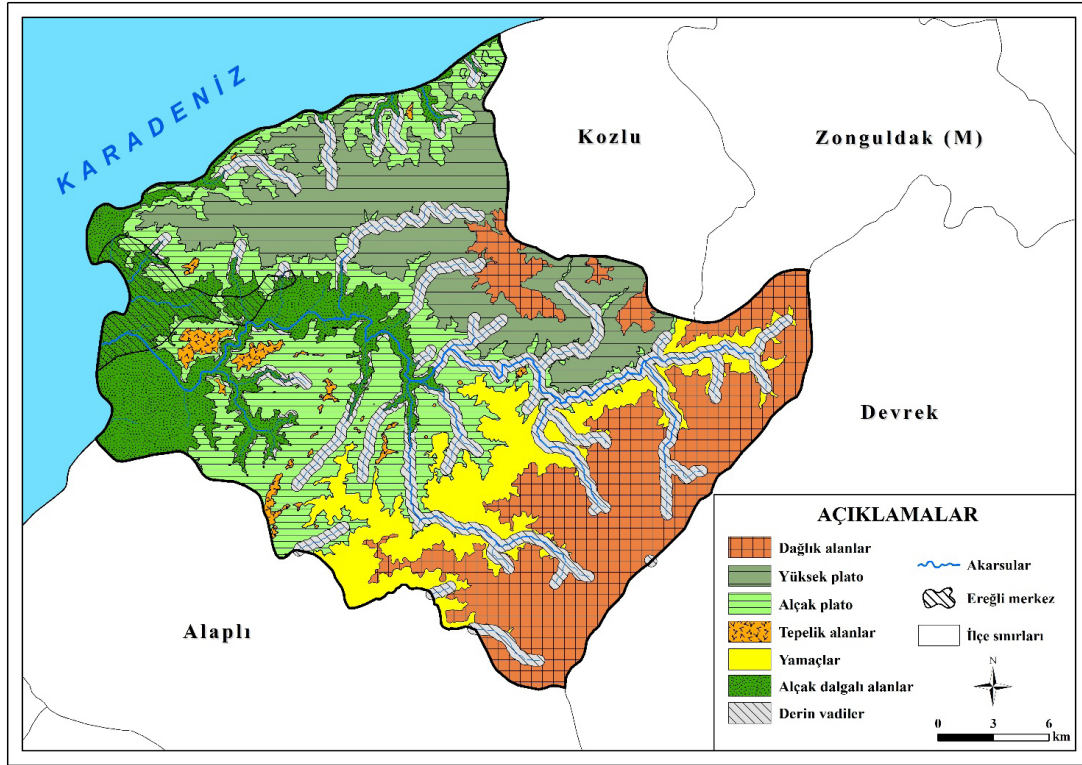
SONUÇLAR

Her iki çalışma sahasında da uncertainty aerosol optik derinliğinde yaşanan mevsimsel döngü içerisinde ilkbahar mevsiminin ilk ayı ile birlikte AOD değerlerinde artış görülmektedir. Bu durum da uncertainty AOD değerleri ile bitki örtüsünde meydana gelen gelişim arasında sıkı bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Bitkilerin tozlaşma, çiçek açma gibi gelişim aktiviteleri polen vb. partiküllerle atmosfere önemli oranda aerosol katkısı sağlamaktadır. Her iki çalışma alanının da yarıdan fazlasının ormanlarla kaplı olduğu düşünüldüğünde, aerosol derinliğindeki bu mevsimsel artış yapılan analizin sonuçlarını desteklemektedir. Bu sonuca ek olarak aerosol optik derinliğinin demir-çelik işletmelerinin ve şehir merkezlerinin kurulu olduğu alanda daha fazla olması, değerlerin mekânsal dağılımında insan faaliyetlerinin de etkili olduğunu göstermektedir.

Karabük il merkezi, uncertainty AOD analizi yapılan tüm dönemlerde Ereğli ilçesine oranla daha yüksek AOD değerlerine sahiptir. Hem genel ortalama değerlerde hem de salgın öncesi ve salgın sürecine ait verilerde yaklaşık %11-12 oranında yüksek değerler görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında sahalara ait coğrafi özellikler etkili olmaktadır. Karabük şehrinin, etrafı dağlar ve tepelerle çevrili bir depresyonda yer alması partiküllerin dağılımını güçleştirmektedir (Şekil 14). Ereğli'nin ise rüzgârlara açık, deniz kıyısındaki konumu hava sirkülasyonu açısından avantaj sağlamaktadır (Şekil 15). Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının 2020 raporuna göre Ereğli demir-çelik işletmeleri, Karabük demir-çelik işletmelerinden daha fazla yıllık üretim değerlerine sahiptir. Yani atmosfere insan kaynaklı aerosol salınımı açısından daha etkilidir. Ereğli ilçesi, deniz kenarında yer alması sebebiyle dalga çatlama sonucunda atmosfere daha fazla aerosol (deniz tuzu partikülleri) ulaştırma özelliğine sahiptir. Buna rağmen Karabük il merkezinde aerosol yoğunluğunun daha fazla oluşu, sahaya ait jeomorfolojik ve klimatolojik koşulların aerosol birikimi üzerindeki etkisini göstermektedir. Ayrıca Karabük Kardemir 1 istasyonundan alınan PM 10 değerleri ile yapılan karşılaştırmada PM 10 değerlerinin MODIS sonuçlarına göre en az yoğunluğun yaşandığı sonbahar sonu ve kış mevsimi başlangıcında zirve yapıyor olması demir-çelik üretimi kaynaklı salınımın yoğunluğunu kanıtlamaktadır. Karabük şehrinin sahip olduğu klimatolojik ve jeomorfolojik özellikler ise kış mevsiminde partiküllerin dağılımını ve seyrelmesini sınırlandırmaktadır. Ayrıca salgının etkilerinin kuvvetle hissedildiği 2020 Mart ayı ortalarından itibaren PM 10 değerlerinde %32 oranında düşüş yaşanmıştır. 0.55 µm AOD analiz sonuçlarına göre azalış Karabük şehrinde %22.2 iken, Ereğli ilçesinde %13.2'dir. Uncertainty AOD verilerine göre ise değerler salgın sürecinde Karabük'te %2.1, Ereğli'de ise %2.6 oranında azalmıştır.



Şekil 14. Karabük İl Merkezi Basitleştirilmiş Jeomorfoloji Haritası



Şekil 15. Ereğli İlçesi Basitleştirilmiş Jeomorfoloji Haritası

Atmosferdeki partiküllerin dağılımını mekanik ya da konvektif süreçler belirlemektedir. Mekanik süreçleri rüzgâr oluşturmakta, konvektif hareket ise sıcaklık şartlarına bağlı olarak meydana gelmektedir. Bu özelliklerin toplamı ise atmosfer kararlılık şartlarının oluşmasını sağlamaktadır. Sahalara ait klimatolojik veriler dikkate alındığında, Paquill-Gifford hava kararlılık sınıflandırmasına göre Karabük şehir merkezinin gündüz orta derecede kararsız (B), gece çok kararlı (F) şartlara sahip olduğu görülür. Meteorolojik verileri itibarıyla Karabük şehrinde hava sirkülasyonu daha çok konvektif hareketlerle gerçekleşmektedir. Düşük rüzgâr hızı ve Karadeniz iklim şartlarına göre daha hızlı ve çok ısınabilmeye yatkın iklim özellikleri bu durumu desteklemektedir. Bu nedenle Karabük il merkezinde yerel ölçekte atmosfer kararlılığını ve aerosollerin dağılımını belirleyen temel iklim elemanı sıcaklıktır. Şehrin yıllık ortalama değerlere göre orta derecede kararsız özelliğe sahip olması, dağılım adına olumlu bir durumdur.

Ereğli ilçesi deniz kıyısında yer alması ve rüzgârlara açık olması sebebiyle genel hava sirkülasyonu adına Karabük'e göre daha avantajlı konumdadır. Gündüz koşullarında yılın altı aylık döneminde orta derecede kararsız (B), geri kalan diliminde ise az kararsız (C) özelliğe sahiptir. Gece koşullarında ise orta derecede kararlı (E) sınıfındadır. Yıllık ortalama rüzgâr hızı Karabük şehrine göre iki kat daha fazladır. Coğrafi özellikleri dikkate alındığında Ereğli ilçesinde atmosferik dağılımı, aerosol derinliğini ve atmosfer kararlılık şartlarını belirleyecek temel faktör rüzgârlardır. Hakim rüzgar yönüne bağlı olarak doğu ve kuzeydoğudan esen rüzgârlar, partikülleri ilk olarak Karadeniz üzerine taşıyacaktır. Bu durum uncertainty verilerine ait aerosol optik derinliğinin Ereğli üzerinde daha az olmasında etkili olan önemli faktörlerdendir.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Aerosoller, doğal süreçler ya da insan faaliyetli kaynaklar neticesinde atmosfere karışmaktadır. Özellikle insan faaliyetleriyle oluşan aerosollerin sağlık üzerindeki etkisi bilinmektedir. Bu nedenle aerosol optik derinliğine yönelik analizler, üretim faaliyetlerinin yürütülmesi ve şekillendirilmesinde önemli çalışmalarlardır. Sahaların coğrafi koşulları da dikkate alınarak üretim süreci yönlendirilmelidir. Örneğin Karabük kış mevsimi şartlarında coğrafi bir depresyonda yer alması ve klimatolojik özellikleri sebebiyle inversiyon (sıcaklık terselmesi) oluşumuna müsaittir (Coşkun vd., 2020). Bu durum da kararlı atmosfer koşullarını oluşturduğu için aerosol dağılımını sınırlandırmaktadır. Bu gibi lokal özelliklerin dikkate alınarak sanayi üretimin gerçekleştirilmesi insan sağlığını daha az tehlikeye atacaktır.

Araştırmanın konu kapsamıyla ilgili alan yazın incelendiğinde (Filonchuk vd., 2019) Çin üzerinde yaptıkları farklı uydu görüntülerine ait AOD analizlerinde insan faaliyetleriyle aerosol optik derinliği arasındaki ilişkiye dikkat çekmektedirler. Ayrıca çalışmada aerosollerin taşınmasında rüzgâr, sıcaklık gibi atmosfer kararlılığında önemli rol oynayan iklim elemanlarına vurgu yapılmaktadır. (Topuz & Karabulut, 2021) Türkiye'de salgın sürecinin hava kirliliğine etkisini Çevre ve Şehircilik Bakanlığında aldıkları 9 adet yer istasyonuna ait PM 10 verilerine göre değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada da salgın sürecinde değerlerde önemli düşüşler olduğu saptanmıştır. Literatürdeki çalışmalar genel olarak AOD ve PM 10 değerleri ile insan faaliyetleri arasındaki ilişki üzerinde yoğunlaşmaktadır. Karabük şehri ve Karadeniz Ereğlisi'ne ait meteorolojik veriler analiz sonuçlarıyla karşılaştırıldığında özellikle uncertainty AOD analizi ile meteorolojik kayıtların uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Rüzgâr hızının Karabük şehrine göre daha fazla olduğu Karadeniz Ereğlisi'nde aerosol optik derinliği daha azdır. Ayrıca yapılan analiz haritasında Karabük şehir merkezinde görülen aerosol yoğunluğu bu durumu desteklemektedir. Karabük şehrinin sahip olduğu jeomorfolojik özellikler ve bundan kaynaklı yerel hava şartları bu durumun ortaya çıkmasında etkili olan diğer bir faktördür.

Araştırma sürecinde yaşanan en önemli sınırlılıklar, MODIS uydu görüntülerinin çözünürlüğü ve Ereğli'de bulunan PM 10 kayıt istasyonunun araştırmayı kapsayan zaman diliminde PM 10 kayıtlarının bulunmamasıdır. İstasyon, 11.11.2021 tarihinde ölçümleri arasına PM 10'u eklemiştir. 1 km çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri, ilçe ve küçük il merkezi gibi dar alanlarda sonuçların haritalandırılması aşamasında düşük çözünürlükte haritaların oluşmasına sebep olmaktadır. Ereğli'de istasyon kayıtlarının eksik olması ise analiz sonuçları ile yer istasyonu karşılaştırmalarının tam olarak yapılamaması sonucunu doğurmuştur. Bu bakımdan insan sağlığını da önemli ölçüde etkileyen bu tip kayıtların düzenli olarak tutulması gerekmektedir.

Ayrıca bulutlu günlerde uydu aracılığıyla AOD görüntülerinin alınamaması, araştırmanın kapsamındaki iki yıllık süreçte bazı günlerin analize dahil edilememesine neden olmuştur. 0.55 µm AOD verilerinde MODIS uydu görüntülerinin araştırmaya dahil olan tarihler arasında daha da sınırlı olması bu görüntülere ait haritalandırma yapılamamasına sebep olmuştur. Bu alanda bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda bu gibi sınırlılıklar göz önüne alınarak çalışmanın alan ve zaman kapsamı şekillendirilmelidir. Bu uygulamalar araştırmacının nesnel, görsel olarak nitelikli ve doğruluğu yüksek bir çalışma ortaya koymasına yardımcı olacaktır.

Teşekkür

Karabük Üniversitesi Coğrafya Bölümünden Dr. Öğretim Üyesi Sohaib K.M. ABUJAYYAB'a MODIS görüntülerinin işlem basamaklarında yer alan, Python dilinde geliştirilen veri ön işleme aracı için teşekkür ederiz.

| EXTENDED ABSTRACT |

Aerosol Optical Depth Analysis in Karabuk City Center and Ereğli District of Zonguldak According to Geographical Properties and Atmospheric Stability in the Covid 19 ProcessMücahit COŞKUN^{ID} Hüseyin ŞAHİNER^{ID} Onur CANBULAT^{ID}**INTRODUCTION**

The atmosphere consists of not only its gases but also aerosols that are in the form of liquid and solid particles. Although these particles are suspended in the air generally for a short time (less than a week), they can swing for more than a year due to convective motions, and wind in the vertical and horizontal directions (Seinfeld & Pandis, 2006). Natural events and human activities are primary sources of aerosols. Moreover, sunlight can cause reactions that result in aerosol formations (Erlat, 2016). Deserts have the highest contributions among natural events (Oğuz et al., 2015; Topuz & Karabulut, 2017; Bağcı & Şengün, 2012) Aerosol density in a region depends on wind speed and direction, stability of the atmosphere, flora, topography, industrial activities, inland and coastal climate conditions (Güllü et al., 1998; Coen et al., 2018). Atmospheric boundary layer height, which can be estimated by satellite and terrestrial meteorological stations, is an important factor in studying the behavior of pollutant aerosols. (Nichol et al., 2010; Onyango et al., 2020; Baumer et al., 2008; Khan et al., 2019).

The effect of aerosols is well known (e.g., Great Smog of London in 1952) (Polivka, 2018). However, the effect of pandemics on aerosols was not studied widely. Therefore, the primary goal of the research is to figure out the relationship between pandemic and aerosol optical depth (AOD) due to industrial activities. The locations of interest are chosen as Karabuk and Karadeniz Ereğli. Both have heavy industry in their urban areas. Aerosol density is affected by atmospheric stability, and thus aerosol optical depth. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data was used to predict the AOD of two locations before and during the COVID-19 pandemics. The Pasquill-Gifford approach was used as atmospheric stability criteria since it was widely used for atmospheric pollutants studies (Pasquill, 1961; Gifford, 1961).

Karabuk and Ereğli are affected by the Karadeniz climate and have rugged topography. Karabuk city center is located about 280 m above sea level while Ereğli is located about 5 m above sea level. Karabuk has 250-500 m surrounding hills, whereas Ereğli has 0-200 m hills (Atalay & Mortan, 2017; Atalay, 2010). Heating and cooling in Karabuk is faster due to the continental climate. Vertical mixing is affected by this changing rate more than the wind effect. Karabuk's average wind speed (1 m/s) is half of the wind speed (1.9 m/s) in Ereğli. The average precipitation in Ereğli is about %74.4. Therefore, the heat transition is more stable. That left wind parameters to form atmospheric stability.

DATA AND METHOD

Satellite image processing, mapping, tabulation, and decision of atmospheric stability are the steps to follow in the analysis. Open-source data from Aqua and Terra satellites were used. The two satellites belong to NASA (National Aeronautics and Space Administration) and observe continental and oceanic AOD. Furthermore, the MODIS NDVI satellite provides data for albedo and cloudiness. The system has a 36 bandwidth and records data with a 1 km resolution (URL 1). ArcGIS software allows to process and visualize the relevant data obtained from the satellites. The AOD parameter is usually between 0-1. A value bigger than 1 represents strong sand transportation and sandstorms (Lee et al., 2012; Dündar et al., 2013; Wei et al., 2019).

AOD data for 292 days was taken when available between January 1st, 2019 and April 19th, 2021. Heavy cloudy days limited the data size since the recording was not successful. Turkey was affected by the pandemics starting on March 15th, 2020. This resulted in 143 days before the pandemics and 149 days during the pandemics for uncertainty analysis. The 0.55 μm AOD value was used as a reference AOD value for 87 days before the pandemics and 82 days during pandemics. A python code was used for data preparation to use with ArcMap. The code clips the satellite images to match the area of interest and stores data chronologically.

ArcGIS tools were used for the standardization and mapping of AOD images from MODIS (URL 2). The raster calculator was used to scale (0.0001) the images. The scaling factor for 0.55 μm AOD data was set to 0.001, which shows particles in real sizes. The scaling factor is different for every aerosol size. Zonal statistics were used to calculate a regional average for AOD images.

The closest part of the atmosphere to Earth is called the atmospheric boundary layer. The fast response to any atmospheric changes takes place in this layer (Stull, 1988). The less stable atmosphere, the higher the boundary layer, and the easier mixing in the vertical direction (Camuffo, 2019). In this case, AOD values would be smaller. Usually, the transport of particles is affected by heat in the vertical direction and wind in the horizontal direction (Çimen et al., 2007).

Meteorological data were obtained from the Turkish State Meteorological Service for Karabuk (between 1965 and 2014) and Ereğli (between 2007 and 2017). Karabuk has a 13.4°C average temperature, low sun radiation, 1 m/s wind speed, and 3.8 okta cloudiness. The values for Ereğli are 14.6°C average temperature, low sun radiation, 1.9 m/s wind speed, and 4.2 okta cloudiness. Karabuk is under the effect of convective motion since its summer average temperature and sun radiation are higher. Ereğli station is not available for cloudiness. Instead, data from Zonguldak station, which is 45 km away and has similar climatic conditions, was used. Moreover, particulate matter (PM) 10 data from the Turkish Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change were obtained to compare analysis results (URL 3). PM 10 and PM 2.5 values for Ereğli for the time frame. The comparison was made only for Karabuk city center.

FINDINGS

Uncertainty AOD values were calculated as 0.01250 μm for Karabuk and 0.01105 μm for Ereğli by scaling factor and standardization. AOD values for Karabuk are %11.6 more than Ereğli. AOD densities are found to be high where the iron and steel industry is located. For both locations, uncertainty AOD values start to increase starting from the beginning of spring and follow seasonal cycles shown in Figure 1 (Sekil 7 in the original paper) and Figure 2 (Sekil 8 in the original paper). Based on data (URL 4) obtained from the Turkish Ministry of Agriculture and Forestry, %71 of Karabuk and %55 of Ereğli are covered by forests. This clearly represents the relationship between AOD and the plantation life cycle. Karabuk uncertainty AOD values are higher than that of Ereğli for all seasons.

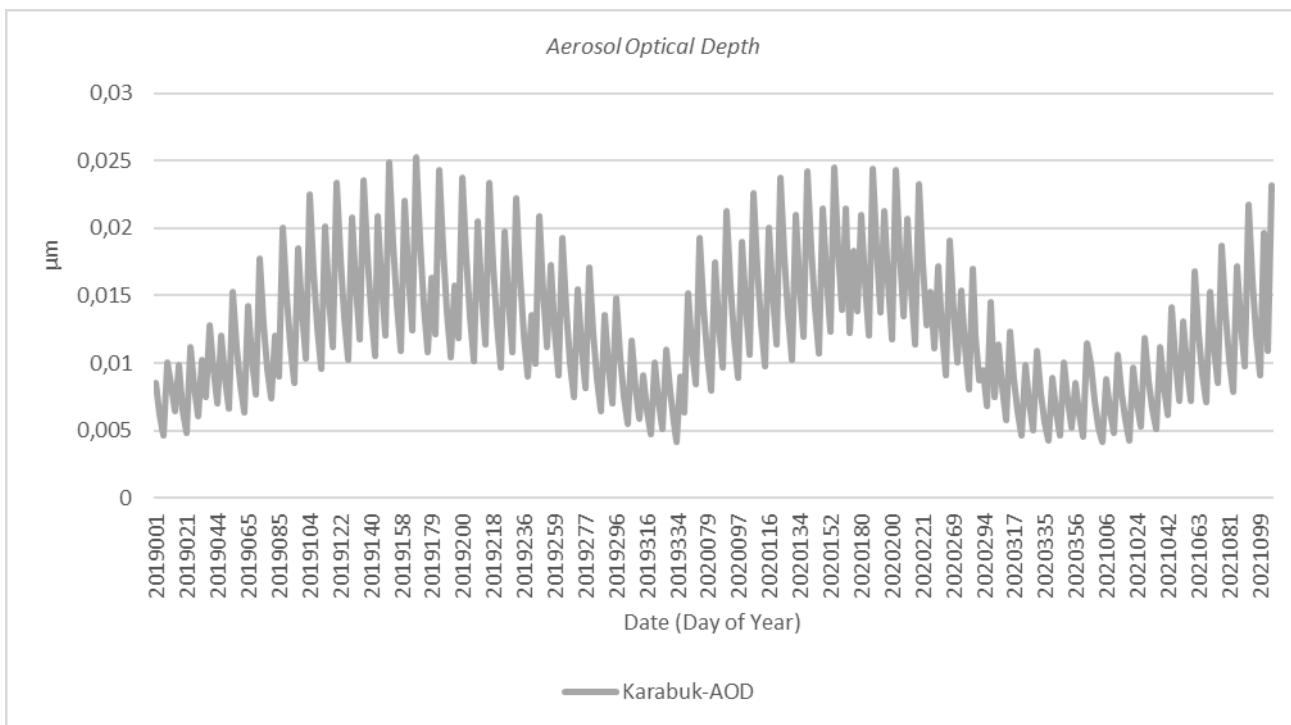


Figure 1. Karabuk Uncertainty AOD Values

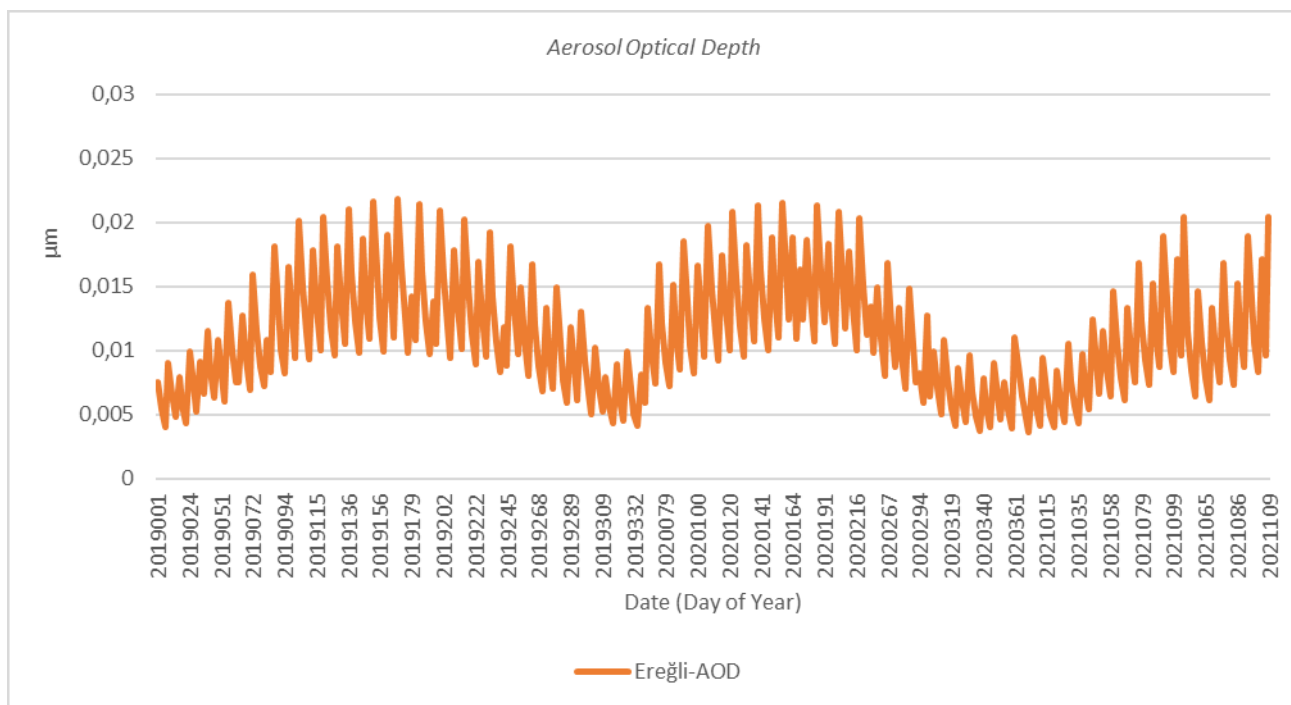


Figure 2. Ereğli Uncertainty AOD Values

Karabuk's average uncertainty AOD values were found to be $0.01266 \mu\text{m}$ and $0.01239 \mu\text{m}$ before the pandemics and during the pandemics, respectively. This showed that a 2.1% reduction in average uncertainty AOD values was observed between before and during the pandemics. The average uncertainty AOD values for Ereğli were found to be $0.01117 \mu\text{m}$ and $0.01088 \mu\text{m}$ before the pandemics and during the pandemics, respectively. Similarly, the reduction of 2.6% for Ereğli was observed between before and during the pandemics Figure 3 (Sekil 9 in the original paper). The uncertainty AOD values had smaller fluctuations for Ereğli than Karabuk. For both locations, uncertainty AOD values had smaller standard deviations before the pandemics than during the pandemics.

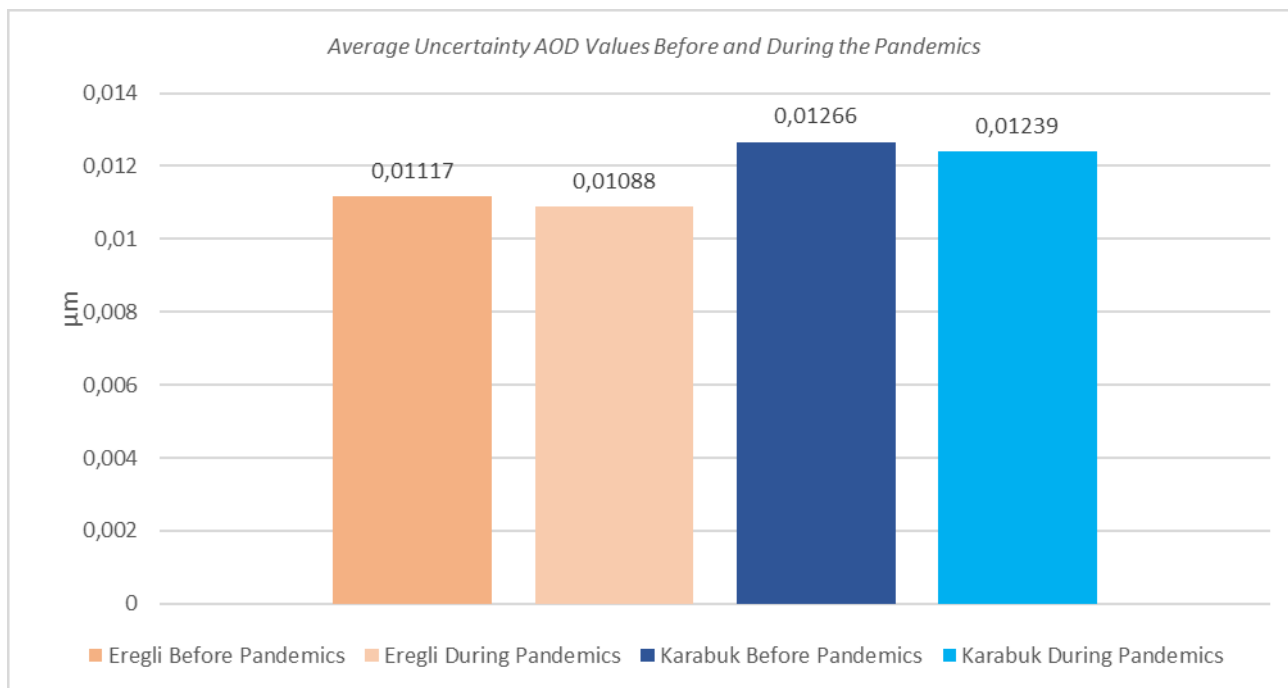


Figure 3. Average Uncertainty AOD Values Before and During the Pandemics

The average value for Karabuk when $0.55 \mu\text{m}$ AOD data was used was found to be $0.11453 \mu\text{m}$, while it was $0.12146 \mu\text{m}$ for Ereğli. The difference between Ereğli and Karabuk was calculated as 5.8%. In detail, the average values were $0.12834 \mu\text{m}$ before the pandemics and $0.09988 \mu\text{m}$ during the pandemics for Karabuk, whereas the values were $0.12975 \mu\text{m}$ and $0.11266 \mu\text{m}$ for Ereğli Figure 4 (Sekil 10 in the original paper). In other words, a 22.2% reduction for Karabuk and a 13.2% reduction for Ereğli were observed during the pandemics Figure 5 (Sekil 11 in the original paper). $0.55 \mu\text{m}$ AOD values for Karabuk fluctuate less than those for Ereğli. For both locations, the standard deviation was smaller during the pandemics.

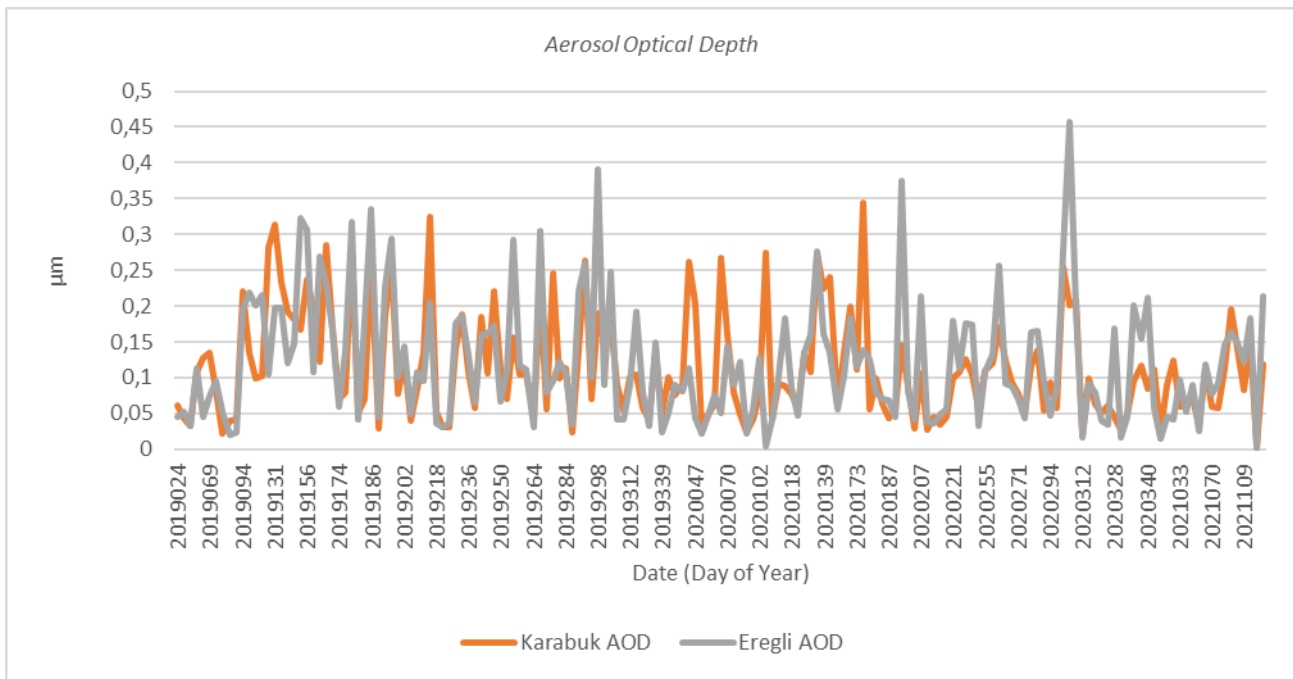


Figure 4. 0.55 µm AOD Values for Karabuk and Ereğli

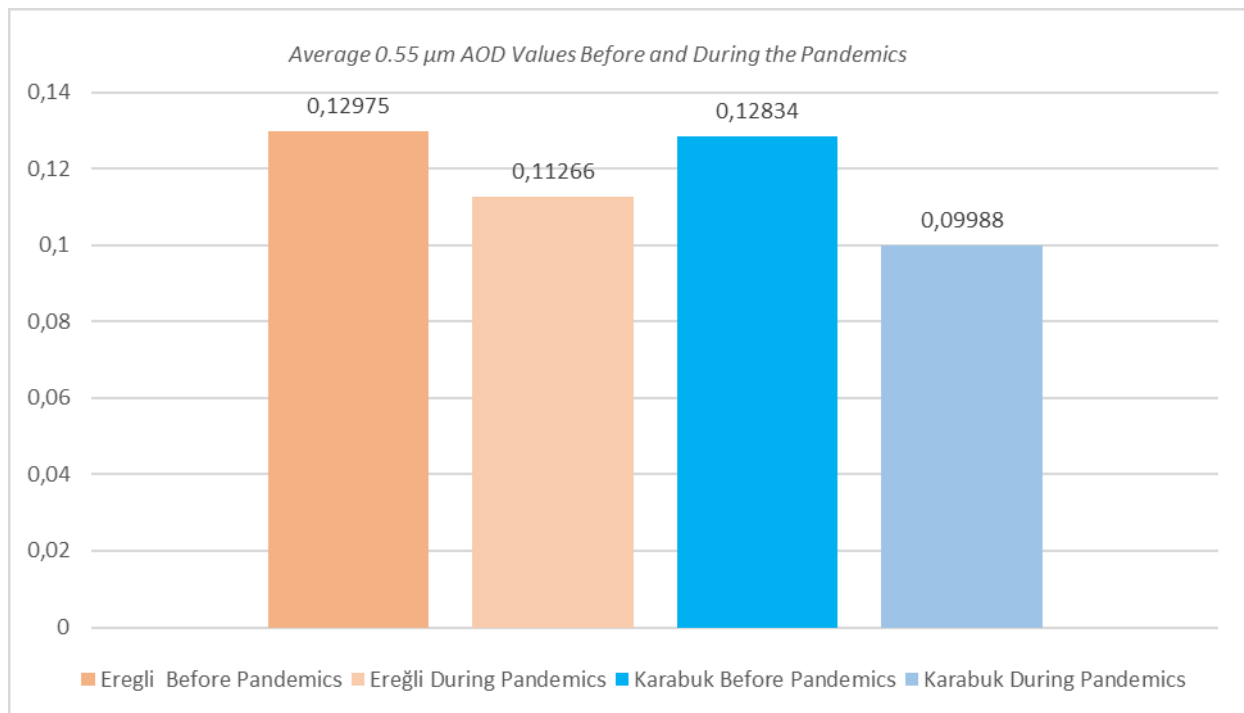


Figure 5. Average 0.55 µm AOD Values Before and During the Pandemics

When Pasquill-Gifford classification was considered, Karabuk had moderately unstable (B class) atmospheric conditions during the daytime and very stable (F class) at night. Atmospheric stability for Eregli during the daytime was separable into two over a year. It is found as slightly unstable (C class) between April to September and moderately unstable (B class) between October to March. It is found to be moderately stable (E class) at night. When the results of the analysis for Karabuk were compared with PM 10 values obtained from Kardemir 1 station, they agreed. Similar comparisons were not made since there was no PM 10 observation for Eregli.

CONCLUSIONS

Uncertainty AOD values for both locations had seasonal behavior starting with an increment in the spring. This behavior was attributed to the plantation life cycle since both locations were covered by forest areas. Plantation contributes to aerosol optical depth remarkably. Furthermore, iron and steel industry production caused a recognizable effect.

Based on the 2020 Report of the Turkish Ministry of Industry and Technology, Eregli has more iron and steel production than Karabuk. Thus, the AOD values for Eregli were expected to be higher. On the contrary, due to geographical effects, Karabuk had approximately 11-12% higher AOD values than Eregli because of the analysis made with uncertainty AOD values. This was attributed to the geographical properties of the locations. The PM 10 comparison proved the AOD density depends strongly on iron and steel production in Karabuk.

The dispersion of particles in the atmosphere was determined convective and mechanical behavior of the atmosphere. Karabuk was moderately unstable during the daytime and very stable at night. Thus, atmospheric stability was mainly affected by temperature changes.

Eregli, which was on the coastal site, had an advantage in terms of air circulation. It presented a moderately unstable daytime atmosphere for the first half of a year and slightly unstable for the second half of a year. For the night, the stability condition was moderately stable. Eregli had two times higher average wind speed than Karabuk. The dispersion of particles in the atmosphere was mainly determined by wind characteristics. Wind from the east and northeast carry particles towards the Black Sea. Therefore, the AOD density was less than Karabuk.

DISCUSSIONS

Aerosols are produced by natural and artificial activities. The density and production of aerosols can be analyzed by aerosol optical depth. The industry that produces aerosols should be managed by the geographical properties of the sites. As an example, Karabuk generally has an inversion layer in winter (Coşkun et al., 2020). Industrial production, which causes an increase in aerosol density, can be limited in the winter. The precaution will reduce the health risk in Karabuk.

The main limitation of the study was the resolution of MODIS satellite images. This resulted in poor resolution mapping. The lack of PM 10 data for Eregli was another limitation to the study. This limits satellite data comparison with terrestrial data. An assumption had to be made that the MODIS data represented the actual behavior of the Eregli atmosphere. A similar study should consider such limitations.

Acknowledgment

We thank Sohaib K.M. ABUJAYYAB, Assistant Prof. Karabuk University, Geography Department, for assistance with python code which was used to pre-process MODIS images for the analysis.

KAYNAKÇA / REFERENCES

- Ackerman, S. A., & Knox, J. A. (2015). *Atmosferimizi anlamak*. (Çev. M. Kadioğlu, S. Çakır). (3.Baskı). Ankara: Nobel akademik Yayıncılık.
- Atalay, İ. (2010). *Uygulamalı klimatoloji*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık.
- Atalay, İ., & Mortan, K. (2017). *Türkiye bölgesel coğrafyası*. İstanbul: İnkılap Kitapevi.
- Bağcı, H. R., & Şengün, T. (2012). Çöl tozlarının beşeri çevre ve bitkiler üzerindeki etkileri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (24), 409-433.
- Bartoszek, K., Matuszko, D., & Soroka, J. (2020). Relationships between cloudiness, aerosol optical thickness, and sunshine duration in Poland. *Atmospheric Research*, (245), 105097. HYPERLINK “https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105097” \t “_blank” \o “Persistent link using digital object identifier” <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105097> .
- Baumer, D., Vogel, B., Versick, S., Rinke, R., Möhler, O., & Schnaiter, M. (2008). Relationship of visibility, aerosol optical thickness and aerosol size distribution in an ageing air mass over South-West Germany. *Atmospheric Environment*, 42(5), 989-998. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.017>.
- Camuffo, D. (2019). Atmospheric stability and pollutant dispersion. *Microclimate for Cultural Heritage*, 175-196.
- Coen, M. C., Andrews, E., Aliaga, D., Andrade, M., Angelov, H., Bukowiecki, N., . . . Ruffieux, D. (2018). Identification of topographic features influencing aerosol observations at high altitude stations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(16), 12289-12313.
- Coskun, M., Coskun, S., & Gözalan, S. (2020). Karabük-Safranbolu havzasında kış mevsimi sıcaklık inversiyonu: Doğal ortam ve insan üzerine olası etkileri (Türkiye). *Turkish Studies*, 15(1), 71-82 <https://dx.doi.org/10.29228/TurkishStudies.40320>.
- Çimen, N., Yağan, Y., & Polatkan, Ö. (2007). *Aeroloji*. Ankara: Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü.
- Dündar, C., Işık, A., Sert, M., & Güllü, G. (2019). Türkiye sinoptik toz gözlemlerinin MODIS verileri ile değerlendirilmesi., (s. IV. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu). Antalya.
- Erlat, E. (2016). *İklim sistemi ve iklim değişimleri*. İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.
- Filonchik, M., Yan, H., Zhang, Z., Yang, S., Li, W., & Li, Y. (2019). Combined use of satellite and surface observations to study aerosol optical depth in different regions of China. *Scientific Reports*, 9(1), 6174. <https://doi.org/10.1038/s41598.019.42466-6>.
- Gifford, F. A. (1961). Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion. *Nuclear Safety*, 4(2), 47-51.
- Güllü, G., Ulutaş, F., Belli, D., Erduran, S., Keskin, S., & Tuncel, G. (1998). Karadeniz aerosolü ve uzak mesafeli atmosferik taşınım. *Journal of Engineering and Environmental Science*, (22), 289-303.
- Khan, R., Kumar, K. R., & Zhao, T. (2019). The climatology of aerosol optical thickness and radiative effects in Southeast Asia from 18-years of ground-based observations. *Environmental Pollution*, 254(A), 113025. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113025>.
- Krüger, E., & Emmanuel, R. (2013). Accounting for atmospheric stability conditions in urban heat island studies: The case of Glasgow, UK. *Landscape and Urban Planning*, (117), 112-121.
- Lee, H. J., Coull, B. A., Bell, M. L., & Koutrakis, P. (2012). Use of satellite-based aerosol optical depth and spatial clustering to predict ambient PM 2.5 concentrations. *Environmental Research*, (118), 8-15. HYPERLINK “https://doi.org/10.1016/j.envres.2012.06.011” \t “_blank” \o “Persistent link using digital object identifier” <https://doi.org/10.1016/j.envres.2012.06.011> .
- Mao, S., Lang, J., Chen, T., Cheng, S., Cui, J., Shen, Z., & Hu, F. (2020). Comparison of the impacts of empirical power-law dispersion schemes on simulations of pollutant dispersion during different atmospheric conditions. *Atmospheric Environment*, 224, 117317. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117317>.
- Min, M., & Zhang, Z. (2014). On the influence of cloud fraction diurnal cycle and sub-grid cloud optical thickness variability on all-sky direct aerosol radiative forcing. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, (142), 25-36. HYPERLINK “https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2014.03.014” \t “_blank” \o “Persistent link using digital object identifier” <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2014.03.014> .
- Nichol, J. E., Wong, M. S., & Wang, J. (2010). A 3D aerosol and visibility information system for urban areas using remote sensing and GIS. *Atmospheric Environment*, 44(21-22), 2501-2506. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.04.036>.
- Oğuz, K., Dündar, C., Pekin, M., & Işık, A. G. (2015). 7-12 Eylül 2015 tarihli Toz Fırtınasının Uzaktan Algılama Verileri ile Analizi. II. Meteorolojik Uzaktan algılama sempozyumu bildiri kitapçığı. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- Onyango, S., Anguma, S., Andima, G., & Parks, B. (2020). Validation of the atmospheric boundary layer height estimated from the MODIS atmospheric profile data at an equatorial site. *Atmosphere*, 11(9), 908. HYPERLINK “https://doi.org/10.3390/atmos11090908” <https://doi.org/10.3390/atmos11090908> .
- Pasquill, F. (1961). The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorology Magazine*, 8(11), 33-40.
- Peppler, R. A. (1988). *A Review of static stability incides and related thermodynamic parameters*. Illinois: Illinois State Water Survey Division Climate Meteorology Section.
- Pere, J. C., Pont, V., Mallet, M., & Bessagnet, B. (2009). Mapping of PM10 surface concentrations derived from satellite observations of aerosol optical thickness over South-Eastern France. *Atmospheric Research*, 91(1), 1-8. HYPERLINK “https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.05.001” \t “_blank” \o “Persistent link using digital object identifier” <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.05.001> .
- Polivka, B. J. (2018). The great London smog of 1952. *Environments ve Health*, 118(4), 57-61.

- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2006). *Atmospheric Chemistry and physics. From air pollution to climate change*. New Jersey: Wiley Interscience Publication.
- Seo, S., Kim, J., Lee, H., Jeong, U., Kim, W., Holben, B. N., . . . 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. <https://doi.org/10.5194/acp-15-319-2015>.
- Shaeb, K. H., Biswadip, G., Dutta, D., Choudhury, S. B., & Seshasai, M. V. (2020). Spatial variability of the aerosol optical thickness over southern ocean and coastal Antarctica: Comparison with Modis and Merra-2 aerosol products. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 178(12), 104776. HYPERLINK “<https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2020.104776>” \t “_blank” \o “Persistent link using digital object identifier” <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2020.104776> .
- Stull, R. (1988). *An introduction to boundary layer meteorology*. London: Kluwer Academic Publishers.
- Topuz, M., & Karabulut, M. (2021). Koronavirüs (Covid-19) tedbirleri sürecinde hava kirliliği parametrelerinde meydana gelen değişimler: Doğu Akdeniz örneği. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, (44), 428-444. HYPERLINK “<https://doi.org/10.32003/igge.837367>” <https://doi.org/10.32003/igge.837367> .
- Topuz, M., & Karabulut, M. (2017). Eylül 2015 Hatay çöl tozu taşınımı değerlendirmesi. *Turkish Studies International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 12(3), 565-580. doi:10.7827/TurkishStudies.11575. doi:10.7827/TurkishStudies.11575.
- Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve meteoroloji*. İstanbul: Kriter Yayınevi.
- URL 1. 12 Mayıs 2021 tarihinde HYPERLINK “<https://nsidc.org/data/modis/>” https://nsidc.org/data/modis/_adresinden edinilmiştir.
- URL 2. 12 Mayıs 2021 tarihinde HYPERLINK “<https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd19a2v006/>” https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd19a2v006/_adresinden edinilmiştir.
- URL 3. 13 Mayıs 2021 tarihinde HYPERLINK “<http://www.havaizleme.gov.tr>” www.havaizleme.gov.tr adresinden edinilmiştir.
- URL 4. 14 Mayıs 2021 tarihinde web.ogm.gov.tr adresinden edinilmiştir.
- Venkatram, A. (1996). An examination of the Pasquill-Gifford-Turner dispersion scheme. *Atmospheric Environment*, 30(8), 1283-1290. HYPERLINK “[https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00367-3](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00367-3)” \t “_blank” \o “Persistent link using digital object identifier” [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00367-3](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00367-3) .
- Wei, X., Chang, N., Bai, K., & Gao, W. (2019). Satellite remote sensing of aerosol optical depth: Advances, challenges, and perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(16), 1640-1725. <https://doi.org/10.1080/10643.389.2019.1665944>.
- Yalçın, M., & Kaya, K. (2019). Türkiye’de solunum sistemine bağlı ölüm oranlarının mekansal kümelenmelerinin incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 750-761. doi:10.35414/akufemubid.588916. doi:10.35414/akufemubid.588916.
- Zeydan, Ö., & Yıldırım, Y. (2012). Uzaktan Algılama ile Atmosferik Partikül Madde Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. IV. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*. Zonguldak.