

Araştırma Raporu

**Türkiye ve Çevresi Aerosol (Toz Taşınımı) Analizleri
2003-2022**



**ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI
METEOROLOĐİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**



ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Araştırma Raporu

Türkiye ve Çevresi Aerosol (Toz Taşınımı) Analizleri 2003-2022

Araştırma Dairesi Başkanlığı
Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü

Ankara, 2023

YÖNETİCİ ÖZETİ

2003-2022 Dönemi Aerosol (Toz Taşınımı) Analizleri

Atmosferdeki en baskın aerosol çeşitlerinden bir tanesi olan Mineral Toz Partikülleri (Çöl Tozları), Dünya ekosistemi için büyük önem taşımaktadır. Çöllerden kalkan tozlar, atmosferin üst tabakalarına yükselerek uzun mesafeler kat etmektedir. Göreceli olarak daha büyük olan toz parçacıkları, kaynak alanlarının yakınlarında çökerken, küçük olanlar ise binlerce kilometre yol alabilmektedir. Dünyadaki başlıca toz kaynak alanları Afrika (Sahra çölü), Arabistan Yarımadası, Asya (Gobi ve Taklamakan), Güney Amerika ile Avustralya'da bulunan çöllerdir.

Sahra bölgesinden atmosfere salınan yıllık toz miktarı, Dünya üzerindeki tüm kaynaklardan salınan toz miktarının yaklaşık yarısı kadardır. Sahra'dan sonra gelen önemli toz kaynak alanları sırasıyla Ortadoğu ile Orta ve Güney Asya'dır. Afrika ve Ortadoğu Bölgelerinden kaynaklanan tozlar, Dünya yıllık toz salımlarının yaklaşık olarak % 70'ini oluşturmaktadır.

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla dünyadaki en önemli iki toz kaynağı olan Afrika ve Orta Doğu kaynaklı çöl tozlarının etkisi altında bulunmaktadır. Suriye ve Irak sınırına yakın yerleşimlerimiz başta olmak üzere, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Konya-Karaman havzası toz taşınımından en fazla etkilenen yörelerimizdir.

Sahra bölgesi başta olmak üzere, çöllerden atmosfere karışan tozların uzun mesafeler taşınarak, okyanus ve amazonlara değerli mineralleri taşıdığı ve gübreleme etkisi yaptığı bilinmektedir. Diğer taraftan kum ve toz fırtınaları, kronik sağlık sorunları bulunanlar ile hamile, yaşlı ve çocuklar için risk oluşturmaktadır. Kum ve toz fırtınalarının ulaştırma sektörü (hava, kara ve deniz ulaşımı) başta olmak üzere, sosyo-ekonomik hayat üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır. Toz taşınımının, hava kirliliğini artırması sonucu artış gösteren solunum yolu hastalıkları, enfeksiyonlar ve alerjiler nedeniyle insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği de bilinmektedir. Ayrıca Afrika'da yapılan çalışmalarda, özellikle çocuklarda görülen menenjit hastalığı ile kum ve toz fırtınaları arasında önemli bir ilişki olduğu görülmüştür.

Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) raporlarına göre, dünya çapında her yıl, yaklaşık 7 milyon insan hava kirliliği nedeniyle hayatını kaybetmektedir. Bu kayıpların yaklaşık 4 milyonu dış ortam hava kirliliğinden, kalan yaklaşık 3 milyonu ise iç ortam hava kirliliğinden kaynaklanmaktadır. DSÖ, 2019 yılı için, sağlık açısından en önemli 10 tehdit arasında ilk sıraya hava kirliliği ve iklim değişikliği sonucu ortaya çıkan sağlık sorunlarına yer vermektedir. OECD tarafından, Türkiye'de hava kirliliğine bağlı ölümlerin sayısı, her yıl yaklaşık 30 bin kişi olarak tahmin edilmektedir.

Bu nedenle, kum ve toz fırtınalarının tahmin edilerek, yetkililerin önlem almaları, halk sağlığı başta olmak üzere, bu olayların olumsuz etkileriyle mücadele etmek için büyük önem taşımaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından, Türkiye ile Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Batı Asya ülkeleri için Toz Taşınımı Tahminleri operasyonel olarak üretilmekte ve yayınlanmaktadır. 3'er saatlik

periyotlarla 3 günlük olarak üretilen toz taşınımı tahminleri ile saatlik uydu toz ürünleri MGM web sayfasında yayınlanmaktadır.

Hesaplamalar ve Bulgular

Uzun yıllar (2003-2022) Aerosol Optik Derinliği (AOD) alansal ortalamaları incelendiğinde; toz kaynak alanlarının yer aldığı Afrika, Orta Doğu ve Batı Asya bölgelerinde; Avrupa ve Türkiye ortalamalarına kıyasla daha yüksek değerler bulunmuştur. Aerosol Optik Derinliğinin (AOD) yüksek olduğu bu bölgelerde Angstrom Exponent (AE) değerleri de diğer bölgelere göre daha düşük hesaplanmıştır. Düşük hesaplanan AE ortalamaları, bu bölgelerin atmosferinde çapları daha büyük olan çöl tozları gibi doğal aerosollerin baskın olduğu anlamına gelmektedir.

Aerosol Optik Derinliği (AOD) alansal ortalamaları yıllar bazında incelendiğinde, 2007 yılından itibaren tüm bölgelerde başlayan AOD artışının, 2012 yılından itibaren azalma eğilimine gittiği, 2018 yılında tekrar artış yaşandıktan sonra yine azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. 2021 yılında Afrika, Orta Doğu, Batı Asya ve Türkiye AOD ortalamalarındaki artış trendi 2022 yılında da devam etmiştir. Küresel AOD ortalamalarında yıllar bazında önemli bir değişiklik yoktur.

Aylık alansal ortalama AOD değerleri analizlerinde; Ortadoğu ve Batı Asya bölgelerinde en yüksek ortalamalar Temmuz ayında hesaplanırken, Türkiye ve Afrika için ilkbahar aylarında daha yüksek ortalamalar bulunmuştur. Küresel ölçekte aylık ortalamalarda önemli bir değişiklik görülmezken, Avrupa'da kış döneminde ortalamaların azaldığı tespit edilmiştir.

MODIS - Aqua uydusundan elde edilen 2003-2022 yılları alansal ortalama Angstrom Exponent (AE) verilerine göre; Türkiye ve Avrupa için hesaplanan değerlerin yüksek olduğu, bu bölgelerde çöl tozları gibi büyük boyutlu doğal aerosollerden ziyade, çapları çok daha küçük olan insan kaynaklı emisyonların baskın olduğu görülmektedir. Çöl tozlarının daha etkin olduğu Afrika, Ortadoğu ve Batı Asya bölgeleri için hesaplanan Angstrom Exponent (AE) ortalamaları, beklendiği şekilde daha düşük bulunmuştur.

Türkiye Analizleri

Türkiye atmosferindeki uzun yıllar (2003-2022) Aerosol Optik Derinliği (AOD) alansal ortalamaları incelendiğinde; Türkiye'nin güney doğusunun en yoğun aerosol miktarına (toz taşınımına) maruz kaldığı görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi dışında, İç Anadolu Bölgesinin güney doğusu ve Akdeniz Bölgesinin doğusu atmosferdeki aerosollerin en yoğun olduğu alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölgelerin dışında, Iğdır, Ağrı ve İzmir ili sınırları içinde de yüksek AOD yıllık ortalamaları hesaplanmıştır.

Türkiye ortalama Angstrom Exponent (AE) dağılımı da, AOD değerlerinin yüksek olduğu bölgelere benzer şekilde, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesinin iç ve güney kesimlerinde, küçük AE ortalamalarının işaret ettiği büyük çaplı doğal aerosollerin daha baskın olduğu söylenebilir.

Atmosferde bulunan aerosollerin bölgelere göre farklılıklarının belirlenebilmesi amacıyla, Türkiye coğrafyası 4 alt bölüme (güneybatı-GB, güneydoğu-GD, kuzeybatı-KB, kuzeydoğu-KD) ayrılarak yıllık alansal ortalamalar hesaplanmış ve analiz edilmiştir.

En yüksek uzun yıllar AOD ortalamaları Türkiye'nin güneydoğu bölümünde hesaplanırken, bu bölümü sırasıyla güneybatı, kuzeydoğu ve kuzeybatı bölümleri izlemektedir. Yapılan analizlerde, güneydoğu atmosferindeki aerosoller çaplarının büyük olduğu ve doğal kaynaklı mineral tozların (çöl tozları) baskın aerosoller olduğu bulunmuştur. Yapılan detaylı incelemelerde, güneydoğu atmosferinde yüksek olarak ölçülen AOD değerlerine, özellikle Suriye ve Irak üzerinden taşınan çöl tozlarının neden olduğu anlaşılmaktadır.

Uzun yıllar aylık alansal ortalama AOD değerleri incelendiğinde; Şubat ayından itibaren artan aerosollerin Mayıs ayında en yüksek değere ulaştığı, bu aydan itibaren düzenli olarak azalarak yıl sonunda en düşük seviyelere indiği görülmektedir. Başka bir deyişle, atmosferdeki aerosoller açısından ilkbahar mevsimi (Mart, Nisan ve Mayıs) en yüksek değerlerin gözlemlendiği dönemdir.

İçindekiler

YÖNETİCİ ÖZETİ.....	1
İçindekiler	5
Şekiller ve Tablolar	6
Türkiye ve Çevresi 2003-2022 Dönemi Aerosol (Toz Taşınımı) Analizleri	7
Atmosferde Bulunan Aerosoller (Partikül Maddeler).....	7
Kum ve Toz Fırtınaları	7
Dünyadaki Toz Kaynak Alanları.....	9
Gözlem Verileri ve Yöntem	12
Hesaplamalar ve Bulgular	13
Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Verilerinin Analizi	13
Türkiye Aerosol (Toz Taşınımı) Analiz ve Değerlendirmeleri	18
Aerosollerin Alansal Değişimi	18
Aerosollerin Zamansal Değişimi	19
MGM Toz Taşınımı Tahminleri.....	24
Kaynaklar	25
EKLER	27

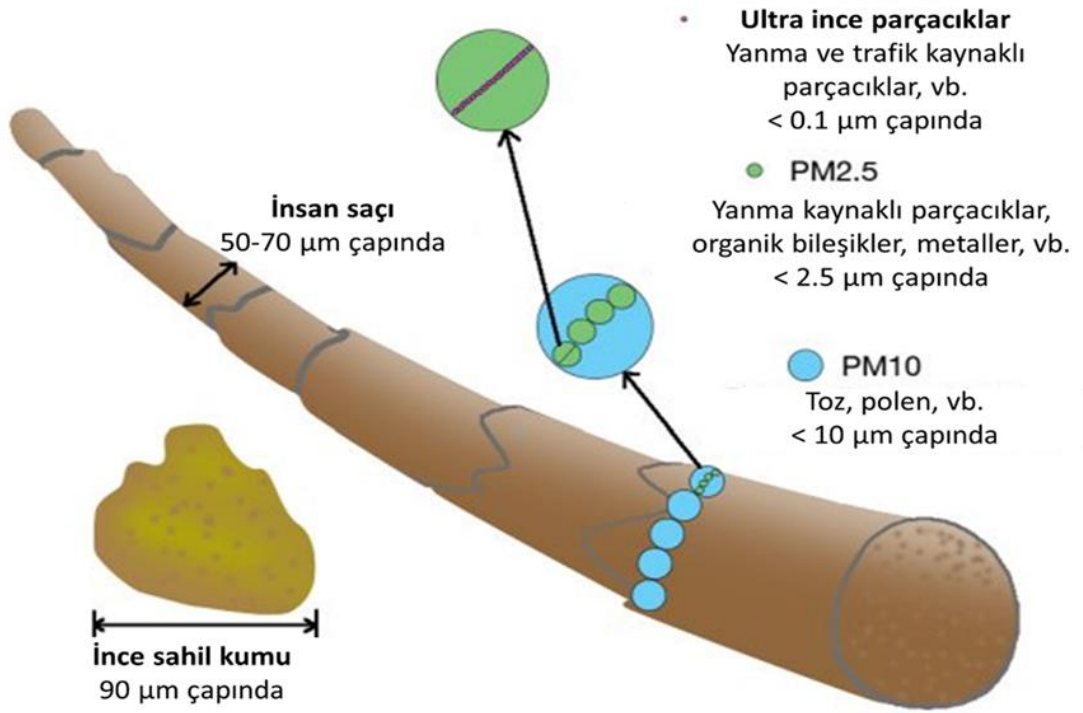
Şekiller ve Tablolar

Şekil 1. Atmosferde Bulunan Aerosollerin Büyüklükleri (vfa-solutions.com).....	7
Şekil 2. Afrika, Ortadoğu ve Asya'daki Önemli Toz Kaynak Alanları (Muhs ve diğerleri, 2014).....	10
Şekil 3. Atmosfere Atılan Toz Miktarları (De Longueville ve diğerleri, 2014).....	11
Şekil 4. Büyük Akdeniz Havzası Alanı.....	12
Şekil 5. Çalışma Bölgelerinin Yıllık Alansal Ortalama AOD Değişimleri.....	15
Şekil 6. Çalışma Bölgelerinin Yıllık Alansal Ortalama AE Değişimleri.....	15
Şekil 7. Çalışma Bölgelerinin Aylık Alansal Ortalama AOD Değişimleri.....	17
Şekil 8. Çalışma Bölgelerinin Aylık Alansal Ortalama AE Değişimleri.....	17
Şekil 9. AOD Analizi Yapılan Bölgeler.....	18
Şekil 10. Türkiye Uzun Yıllar Aerosol Optik Derinliği (AOD) Ortalamaları.....	19
Şekil 11. Türkiye Uzun Yıllar Angstrom Exponent (AE) Ortalamaları.....	19
Şekil 12. Türkiye Yıllık Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Değişimleri.....	21
Şekil 13. Türkiye Yıllık Alansal Ortalama Angstrom Exponent (AE) Değişimleri.....	21
Şekil 14. Türkiye Aylık Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Değişimleri.....	22
Şekil 15. Türkiye Aylık Alansal Ortalama Angstrom Exponent (AE) Değişimleri.....	23
Tablo 1. Çöllerden Atmosfere Atılan Toz Emisyonları (Tanaka ve diğerleri, 2014).....	10
Tablo 2. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi.....	13
Tablo 3. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Yıllık Değişimi.....	14
Tablo 4. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Aylık Değişimi.....	16
Tablo 5. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Aylık Değişimi.....	16
Tablo 6. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi.....	20
Tablo 7. Çalışma bölgeleri alansal ortalama AOD değerlerinin aylık değişimi.....	22

Türkiye ve Çevresi 2003-2022 Dönemi Aerosol (Toz Taşınımı) Analizleri

Atmosferde Bulunan Aerosoller (Partikül Maddeler)

Atmosferde katı ve sıvı halde asılı olan küçük parçacıklar Aerosoller (Partikül Maddeler) olarak tanımlanmaktadır. İnsan saçının kalınlığının yaklaşık 5'te biri ile 500'de biri arasında büyüklüğe sahip olan atmosferdeki partikül maddeler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Atmosferde Bulunan Aerosollerin Büyüklükleri (vfa-solutions.com)

Partikül maddeler kaynaklarına göre doğal veya insan kaynaklı (antropojenik) olarak adlandırılır. Deniz spreylere, çöl tozları ve volkanlar başlıca doğal kaynaklar olarak bilinirken, endüstriyel veya evsel yanma, ulaştırma, tarım, inşaat ve madencilik gibi insan faaliyetleri antropojenik kaynaklar olarak tanımlanmaktadır.

Atmosferdeki partikül maddelerin, kaynakları, büyüklükleri, çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleriyle insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Antropojenik aerosoller genellikle, doğal kaynaklardan bırakılanlara göre çok daha küçüktür ve insan sağlığı açısından daha zararlıdır.

Ayrıca atmosferde bulunan aerosollerin, yoğunlaşma çekirdeği olarak su buharının üzerinde yoğunlaşması ile bulutların oluşumuna katkısı olduğu bilinmektedir. Bu küçük parçacıklar yağmur ve kar yağışı şeklinde yeryüzüne ulaşabilirler.

Kum ve Toz Fırtınaları

Atmosferdeki en baskın aerosol çeşitlerinden bir tanesi olan Mineral Toz Partikülleri (Çöl Tozları), Dünya ekosistemi için büyük önem taşımaktadır. Toz taşınımının temel nedeni, kuraklık ve çölleşme olarak belirtilmektedir. Çöllerden kalkan tozlar, atmosferin üst tabakalarına yükselerek uzun

mesafeler kat etmektedir. Göreceli olarak daha büyük olan toz parçacıkları, kaynak alanlarının yakınlarında çökerken, küçük olanlar ise binlerce kilometre yol kat edebilmektedir.

Türkiye, “Tozlu Kuşak” olarak ifade edilen Afrika, Orta Doğu ve Asya Çöllerinin neredeyse tam ortasında yer almaktadır. Bu durum, Orta Doğu ve Afrika’dan, ayrıca nadiren de olsa Orta Asya’dan taşınan çöl tozlarına maruz kalmasına sebep olmaktadır. Çöl tozları hava kalitesini olumsuz yönde etkilemekte, önemli sağlık sorunlarına yol açmakta, ekonomik kayıplara ve uluslararası siyasi sorunlara yol açmaktadır. Suriye ve Irak sınırına yakın yerleşimlerimiz başta olmak üzere, Güneydoğu Anadolu bölgesi ve Konya-Karaman havzası toz taşınımından en fazla etkilenen yörelerimizdir (Dündar C., 2019).

Yapılan çalışmalarda, ülkemize taşınan çöl kökenli tozların miktarları milyonlarca tonla ifade edilmektedir. Uzun dönemli çalışmalar ortalama toz yükünün yıllık 20 milyon ton seviyesine ulaştığını göstermektedir. Anadolu’ya taşınan tozların % 80’e varan kısmı Mart-Nisan ayları içerisinde ve her taşınım olayı birkaç günlük periyotlar halinde gerçekleşmektedir (Kubilay ve Saydam, 1995).

Avrupa Birliği (AB) tam üyelik sürecinde kentsel hava kalitesinin iyileştirilmesi ve mevzuatın AB normlarına getirilmesi çalışmaları kapsamında, Türkiye’de de 24 saatlik ortalama PM10 değeri 2019 yılında AB sınır değeri olan 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e düşürülmüştür. Bu sınır değer bir yılda 35 defadan fazla aşılmaması gerekmektedir. Sahra ve Orta Doğu coğrafyasında yer alan çöl bölgelerinden taşınan tozlar, Akdeniz ülkelerinde PM10 standartlarının sağlanmasını da zorlaştırmaktadır.

AB normlarına göre, eğer yerleşim birimi dışından kaynaklanan doğal bir PM10 kaynağının (sınır ötesi toz taşınımı gibi) olduğu ispatlanır ve bu kaynağın kentsel hava kalitesine olan katkısı belirlenirse, bu miktar sınır değer olan 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e dahil edilmemektedir. Bu nedenle, özellikle Afrika ve Ortadoğu başta olmak üzere, Türkiye dışından ve içinden olacak toz taşınımlarının izlenmesi, tahmin edilmesi ve miktarlarının hesaplanması büyük önem taşımaktadır (Dündar C., 2019).

Kuraklık ve olağanüstü kuraklık gibi gelecekte yaşanacak ani iklim olaylarında tozun etkisi belirsizdir. Bunun nedeni ise kısmen, atmosferdeki toz emisyonlarının ve toz yüklem miktarlarının iklim değişikliğine olan tepkisinin oldukça belirsiz olmasıdır (Tegen ve Schepanski, 2018; Webb ve Pierre, 2018). Gelecekte çöl tozlarının iklim değişikliğine etkisini tahmin etmede yaşanan bu zorluk; emisyonların, arazi özelliklerinin (örneğin, arazi kullanımı/arazi örtüsü değişikliği, kuraklaşma, iklim değişikliğine ekolojik tepkiler) ve atmosferin durumundaki değişikliklere bağlı olduğu gerçeği yatmaktadır (Tegen ve Schepanski, 2018). Küresel olarak toz konsantrasyonunun gelecekte artan bir eğilim izleyeceğine dair kanıtlar olsa da (Allen ve diğerleri, 2016; Tegen ve Schepanski, 2018), toz konsantrasyonundaki değişim büyük ölçüde yağış düzenlerindeki ve atmosferik dolaşımdaki değişikliklere bağlıdır (Allen ve diğerleri, 2016; Kok ve diğerleri, 2018).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), başlıca iklim değişkenlerinden biri olan atmosferik aerosollerin önemli bir bileşeni olarak tozu kabul etmektedir. Doğal ve antropojenik aerosoller aynı zamanda güneş radyasyonunu soğurarak ve yansıtarak radyasyon bütçesini etkilemektedir (Ramanathan ve diğerleri, 2007). IPCC’nin güncel iklim öngörülerine göre, kuraklık hadisesinin sıklığı ve şiddetinin artmasıyla birlikte, kum ve toz fırtınalarının daha yoğun yaşanması beklenmektedir.

IPCC (2013)'ye göre küresel ortalama sıcaklıklar 1.0°C arttığında Akdeniz havzasındaki artış 1.5°C olacak ve yağışlar ise %12 azalacaktır. İklim değişikliğinden en fazla etkilenecek (hassas) alanların Akdeniz, Avustralya, Orta Amerika, Güney Afrika ve Güney Amerika olduğu belirtilmektedir.

Literatürde, özellikle demir içeriği açısından zengin olan çöl tozlarının okyanus ve deniz yaşamı ile karalar üzerinde etkileri olduğu belirtilmektedir (Jickells ve diğerleri, 2005). Ayrıca kum ve toz fırtınaları, maruz kalan insanların günlük yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Solunum yolu ve kalp rahatsızlığı bulunanlar ile yaşlı ve çocukların bu olaylardan en fazla etkilendiği bilinmektedir. Afrika'da yapılan çalışmalar, çocuklarda görülen menenjit vakaları ile toz fırtınaları arasında önemli bir bağ olduğunu göstermiştir (Perez, 2010).

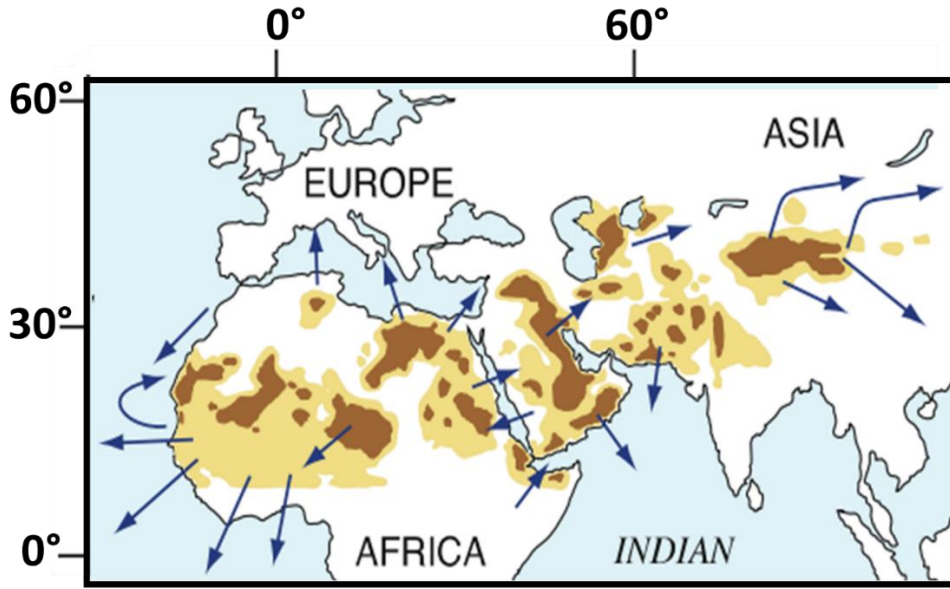
Toz fırtınaları, hava ve deniz ulaşımını da olumsuz yönde etkilemektedir. Toz kaynak alanlarına yakın bölgelerde, fırtınaların yaşandığı dönemlerde havaalanları kapatılmakta, karayolu ulaşımında ise büyük sorunlar yaşanmaktadır.

Dünyadaki Toz Kaynak Alanları

Atmosfere karışan toz emisyonlarının büyük bölümü doğal toz kaynak alanlarından atılmaktadır (Ginoux ve diğerleri, 2012). Yapılan farklı modelleme çalışmalarına göre, atmosfere atılan toz yükünün %10-%60 kadarı antropojenik emisyonlardan kaynaklanmaktadır (Webb ve Pierre, 2018). Paleo-toz kayıtları, insan faktörlerinin (arazi kullanımındaki değişiklikler ve arazi bozulumu) 1750 ile 20. yüzyılın son çeyreği arasında küresel toz emisyonlarını ikiye katlamış olabileceğini göstermektedir (Hooper ve Marx, 2018).

Dünyadaki başlıca toz kaynak alanları Afrika (Sahra çölü), Arabistan Yarımadası, Asya (Gobi ve Taklamakan), Güney Amerika ile Avustralya'da bulunan çöllerdir. Kuzey Afrika (Sahra) bölgesi dünyanın ve özellikle kuzey yarıkürenin en önemli ve temel toz kaynağıdır (Prospero ve diğerleri, 2002). Dünyadan atmosfere salınan toz miktarı yaklaşık olarak 2 milyar ton civarındadır (De Longueville ve diğerleri, 2010). Sahra bölgesinden atmosfere salınan yıllık toz miktarı, Dünya üzerindeki tüm kaynaklardan salınan toz miktarının yaklaşık yarısı kadardır. Sahra'dan sonra gelen önemli toz kaynak alanları sırasıyla Ortadoğu ile Orta ve Güney Asya'dır. Afrika ve Ortadoğu Bölgelerinden kaynaklanan tozlar birlikte değerlendirildiğinde, Dünya yıllık toz salımlarının yaklaşık olarak % 70'ini oluşturmaktadır (Jickells ve diğerleri, 2005). Toz emisyonları, rüzgar hızı, yağış ve bitki örtüsündeki değişimler tarafından kontrol edilmektedir (Ridley ve diğerleri, 2014, Wang ve diğerleri, 2015, Pu ve Ginoux, 2018).

Genel olarak Batı Asya bölgesinin en önemli birincil toz kaynakları arasında, Arabistan Yarımadası ile Suriye, Irak ve İran'ın (Şekil 2) yer aldığı kabul edilmektedir (Prospero ve diğerleri 2002; De Longueville ve diğerleri, 2010; Bloorani ve diğerleri, 2013; Muhs ve diğerleri, 2014; WMO and UNEP, 2013).



Şekil 2. Afrika, Ortadoğu ve Asya'daki Önemli Toz Kaynak Alanları (Muhs ve diğerleri, 2014)

Tanaka ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan çalışmada; Dünya üzerindeki tüm toz kaynak alanları ve bu alanlardan atmosfere atılan toz miktarları hesaplanmıştır. Hesaplanan toz emisyonları De Longueville ve arkadaşları (2010) tarafından haritalandırılmıştır (Şekil 3).

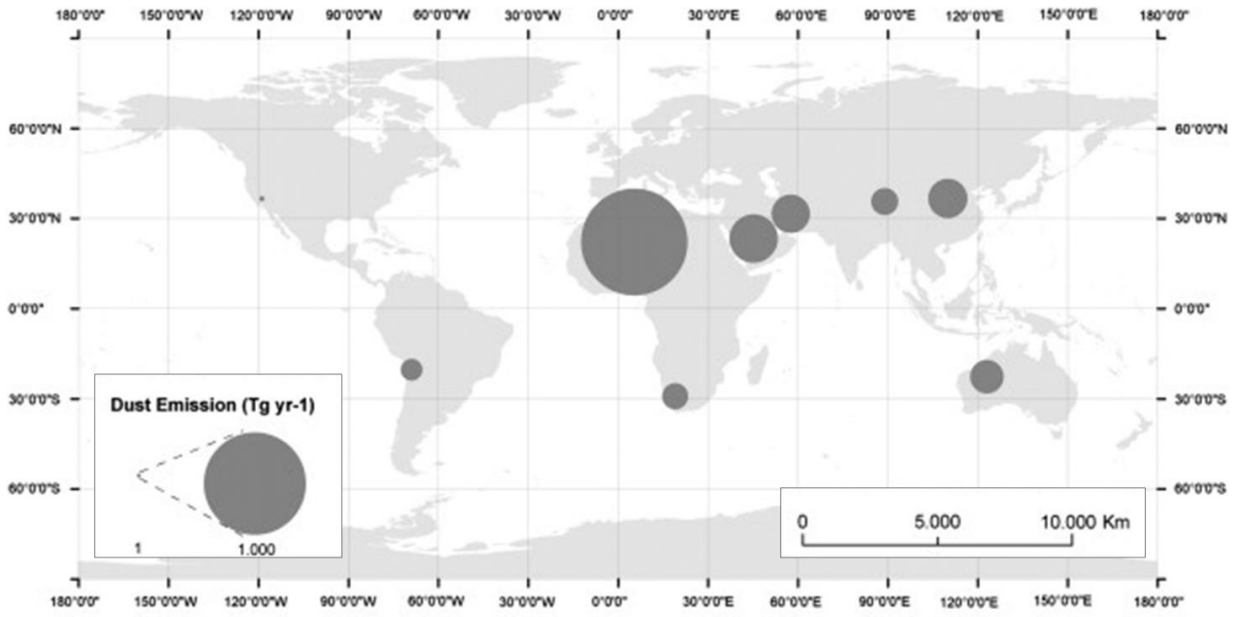
Bu çalışmada yapılan hesaplamalara göre; yılda toplam 1877 Tg (≈ 1.9 milyar ton) toz çöllerden atmosfere karışmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Çöllerden Atmosfere Atılan Toz Emisyonları (Tanaka ve diğerleri, 2014)

	Emission (Tg yr ⁻¹)	Dry deposition (Tg yr ⁻¹)	Wet deposition (Tg yr ⁻¹)	Burden (Tg)	Dry lifetime (days)	Wet lifetime (days)	Total lifetime (days)
North Africa	1087	723 (67%)	363 (33%)	9.09	4.6	9.1	3.1
Arabian Peninsula	221	129 (58%)	92 (42%)	1.65	4.7	6.6	2.7
Central Asia	140	94 (67%)	46 (33%)	1.05	4.1	8.3	2.7
Western China	68	39 (57%)	29 (43%)	0.42	3.9	5.2	2.2
Eastern China	146	90 (62%)	56 (38%)	0.67	2.7	4.3	1.7
North America	2	1 (59%)	1 (41%)	0.01	3.9	5.5	2.3
South America	44	20 (45%)	24 (55%)	0.30	5.5	4.6	2.5
South Africa	63	41 (64%)	23 (36%)	0.47	4.2	7.6	2.7
Australia	106	65 (61%)	41 (39%)	0.92	5.2	8.2	3.2
Total	1877	1202 (64%)	675 (36%)	14.6	4.4	7.9	2.8

Her yıl çöllerden atmosfere karışan tozların miktarı, yapılan çalışmalarla değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık olarak 1.000 Tg ile 2.000 Tg arasında (1-2 milyar ton) değişmektedir. Yapılan çalışmalarda, atmosfere salınan tozların % 51 ile % 69 oranında Kuzey Afrika'dan kaynaklandığı belirtilmektedir. Arabistan Yarımadasından (Ortadoğu veya Batı Asya) kaynaklanan toz emisyonları ise, toplam dünya emisyonlarının yaklaşık % 7'si ile % 28'i aralığında verilmektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin çevresinde bulunan toz kaynak alanlarından atmosfere atılan mineral toz emisyonlarının, toplam emisyonların % 70'ini oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 3. Atmosfere Atılan Toz Miktarları (De Longueville ve diğerleri, 2014)

Gözlem Verileri ve Yöntem

Yapılan çalışmada, NASA Aqua uydusu üzerinde bulunan MODIS cihazına ait Aerosol Optik Derinliği (AOD) ve Angstrom Exponent (AE) verileri (ver 6.1) kullanılmıştır. Yapılan analizlerde belirlenen bölgeler için ortalama AOD ve AE değerlerinin alansal ve zamansal değişimleri incelenmiştir.

Atmosferdeki en yaygın aerosollerden birisi olan tozlar, büyük partikül çaplarına bağlı olarak yüksek optik derinliği (AOD) ve düşük Angstrom Exponent (AE) değerine sahiptirler. MODIS aerosol ürünleri, küresel olarak okyanuslar ve kıtaların üzerindeki aerosollerin optik derinliğini görüntülemektedir. Aerosol Optik Derinliği, genellikle 0-1 değerleri arasında değişim gösteren birimsiz bir parametredir. Atmosferdeki aerosollerin miktarı arttıkça, AOD değeri de artmaktadır. Bir alanda kuvvetli veya çok kuvvetli kum ve toz fırtınaları yaşandığında, AOD değerleri 1'in üzerinde de görülebilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan Aqua-MODIS (550 nm) AOD ve AE verileri, NASA'nın internet sitesinden (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) temin edilerek analizleri yapılmıştır. Parçacık büyüklüklerinin tespiti ve değerlendirilmesi için Angstrom Exponent (AE) parametresi kullanılmaktadır. Angstrom Exponent, MODIS, MISR ve SeaWiFS gibi uydu gözlemlerinin farklı kanallarında yapılan ölçümler kullanılarak hesaplanmaktadır. AE'nin küçük değerlerde olması, aerosol çaplarının büyük olduğunu, yani toz gibi büyük çaplı parçacıkların ortamda daha baskın olduğunu göstermektedir. AE'nin yüksek değerlerde olması ise antropojenik emisyonlar gibi küçük çaplı aerosollerin ortamda çok daha fazla ve baskın olduğunu ifade etmektedir.

Büyük Akdeniz Havzası



Şekil 4. Büyük Akdeniz Havzası Alanı

Hesaplamalar ve Bulgular

Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Verilerinin Analizi

MODIS - Aqua uydusundan elde edilen 2003-2022 yılları alansal ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) verilerine göre (Tablo 2 ve Şekil 5); küresel ölçekte önemli bir değişiklik görülmemesine rağmen, bölgesel ölçekte artış ve azalma eğilimlerinin olduğu görülmektedir.

Alansal AOD ortalamalarının bölgelerde yüksekte düşüğe doğru sıralanışı; Orta Doğu, Afrika, Batı Asya, Türkiye, Küresel (Dünya) ve Avrupa olarak tespit edilmiştir. Orta Doğu, Afrika ve Batı Asya atmosferi için hesaplanan AOD ortalamaları Türkiye, Avrupa ve Küresel için hesaplanan değerlere göre çok daha yüksek bulunmuştur. Toz kaynak alanları olan çöllerin yer aldığı bu bölgelerde hesaplanan yüksek AOD ortalamalarının temel nedeni çöllerden atmosfere atılan tozlardır.

2007 yılından itibaren tüm bölgelerde başlayan AOD artışının, 2012 yılından itibaren azalma eğilimine gittiği, 2018 yılında tekrar artış yaşandıktan sonra azaldığı görülmektedir. 2021 yılı ile birlikte Afrika, Orta Doğu, Batı Asya ve Türkiye AOD ortalamalarında yeniden bir artış yaşanmış ve bu artış eğilimi 2022 yılı boyunca devam etmiştir (Şekil 5).

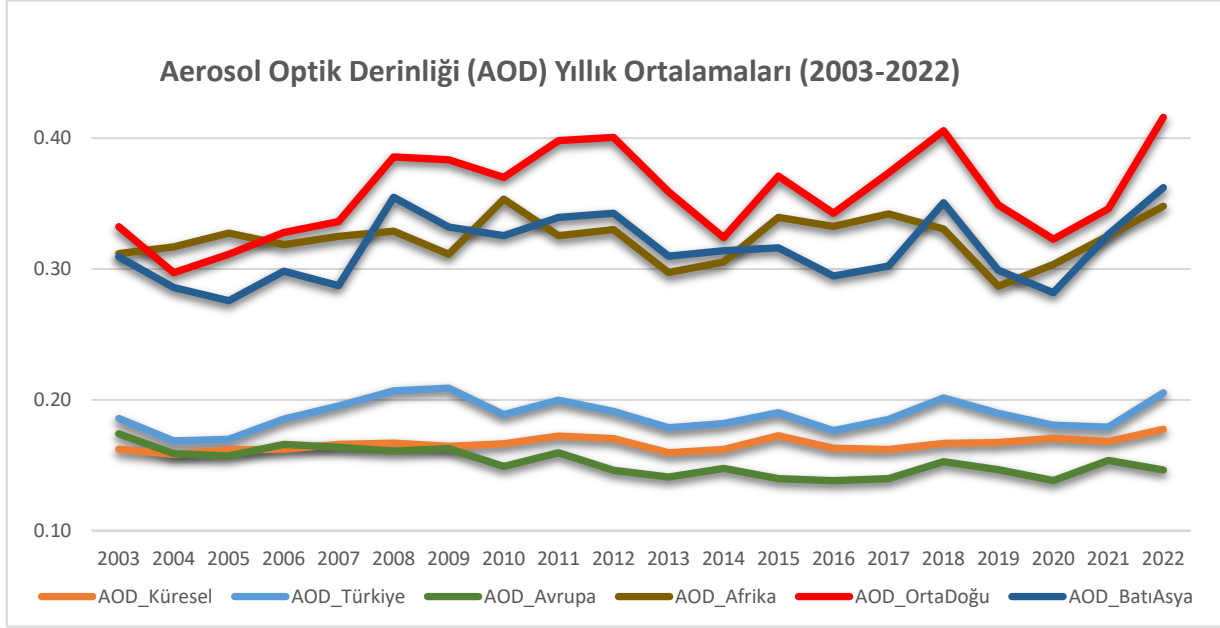
Tablo 2. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi

YIL	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
2003	0,1622	0,1858	0,1741	0,3119	0,3323	0,3093
2004	0,1583	0,1686	0,1589	0,3170	0,2972	0,2859
2005	0,1619	0,1698	0,1571	0,3274	0,3112	0,2758
2006	0,1622	0,1853	0,1660	0,3187	0,3279	0,2984
2007	0,1660	0,1954	0,1636	0,3251	0,3362	0,2872
2008	0,1670	0,2068	0,1608	0,3288	0,3857	0,3547
2009	0,1645	0,2089	0,1627	0,3114	0,3834	0,3321
2010	0,1665	0,1888	0,1491	0,3534	0,3700	0,3254
2011	0,1724	0,1997	0,1596	0,3255	0,3982	0,3395
2012	0,1704	0,1912	0,1461	0,3301	0,4007	0,3425
2013	0,1595	0,1788	0,1410	0,2973	0,3590	0,3098
2014	0,1621	0,1819	0,1477	0,3055	0,3240	0,3140
2015	0,1725	0,1901	0,1397	0,3395	0,3709	0,3162
2016	0,1630	0,1764	0,1382	0,3326	0,3426	0,2946
2017	0,1620	0,1850	0,1398	0,3422	0,3733	0,3022
2018	0,1666	0,2014	0,1527	0,3307	0,4057	0,3505
2019	0,1674	0,1897	0,1468	0,2869	0,3491	0,2991
2020	0,1705	0,1807	0,1382	0,3034	0,3228	0,2818
2021	0,1681	0,1792	0,1537	0,3255	0,3461	0,3265
2022	0,1775	0,2053	0,1465	0,3480	0,4159	0,3622
Ortalama	0,1660	0,1884	0,1521	0,3230	0,3576	0,3154

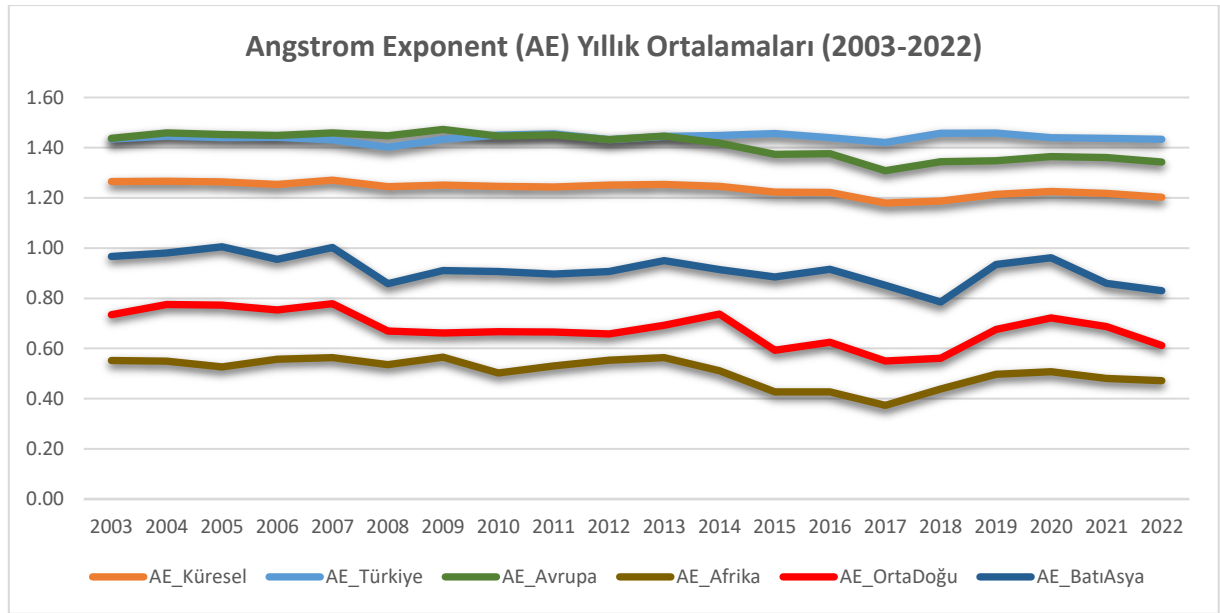
MODIS - Aqua uydusundan elde edilen 2003-2022 yılları alansal ortalama Angstrom Exponent (AE) verilerine göre (Tablo 3 ve Şekil 6); Türkiye, Avrupa ve Küresel (dünya) ölçekte hesaplanan değerlerin yüksek olduğu, bu bölgelerde çöl tozları gibi büyük boyutlu doğal aerosollerden ziyade, çapları çok daha düşük olan insan kaynaklı emisyonların baskın olduğu bulunmuştur.

Tablo 3. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Yıllık Değişimi

YIL	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
2003	1,2646	1,4350	1,4373	0,5523	0,7338	0,9666
2004	1,2665	1,4457	1,4583	0,5489	0,7750	0,9807
2005	1,2636	1,4400	1,4519	0,5263	0,7730	1,0051
2006	1,2539	1,4414	1,4483	0,5573	0,7530	0,9556
2007	1,2704	1,4309	1,4589	0,5637	0,7783	1,0025
2008	1,2445	1,4021	1,4467	0,5356	0,6690	0,8584
2009	1,2514	1,4338	1,4725	0,5653	0,6617	0,9109
2010	1,2460	1,4497	1,4458	0,5020	0,6669	0,9061
2011	1,2429	1,4548	1,4513	0,5303	0,6649	0,8961
2012	1,2510	1,4324	1,4320	0,5531	0,6585	0,9063
2013	1,2537	1,4445	1,4455	0,5640	0,6926	0,9502
2014	1,2463	1,4486	1,4184	0,5116	0,7366	0,9146
2015	1,2223	1,4560	1,3735	0,4275	0,5930	0,8843
2016	1,2218	1,4403	1,3764	0,4275	0,6251	0,9153
2017	1,1795	1,4201	1,3082	0,3733	0,5500	0,8513
2018	1,1870	1,4574	1,3446	0,4383	0,5604	0,7851
2019	1,2141	1,4581	1,3483	0,4972	0,6759	0,9348
2020	1,2251	1,4399	1,3647	0,5072	0,7212	0,9614
2021	1,2175	1,4371	1,3608	0,4803	0,6875	0,8593
2022	1,2020	1,4333	1,3430	0,4721	0,6117	0,8296
Ortalama	1,2362	1,4401	1,4093	0,5067	0,6794	0,9137



Şekil 5. Çalışma Bölgelerinin Yıllık Alansal Ortalama AOD Değişimleri



Şekil 6. Çalışma Bölgelerinin Yıllık Alansal Ortalama AE Değişimleri

Aylık alansal ortalama AOD değerleri (Tablo 4, Şekil 7) incelendiğinde Ortadoğu ve Batı Asya bölgelerinde en yüksek ortalamalar Temmuz ayında hesaplanırken, Türkiye ve Afrika için ilkbahar aylarında daha yüksek ortalamalar bulunmuştur. Küresel ölçekte aylar bazında önemli bir değişiklik görülmezken, Avrupa'da kış döneminde ortalamaların azaldığı tespit edilmiştir.

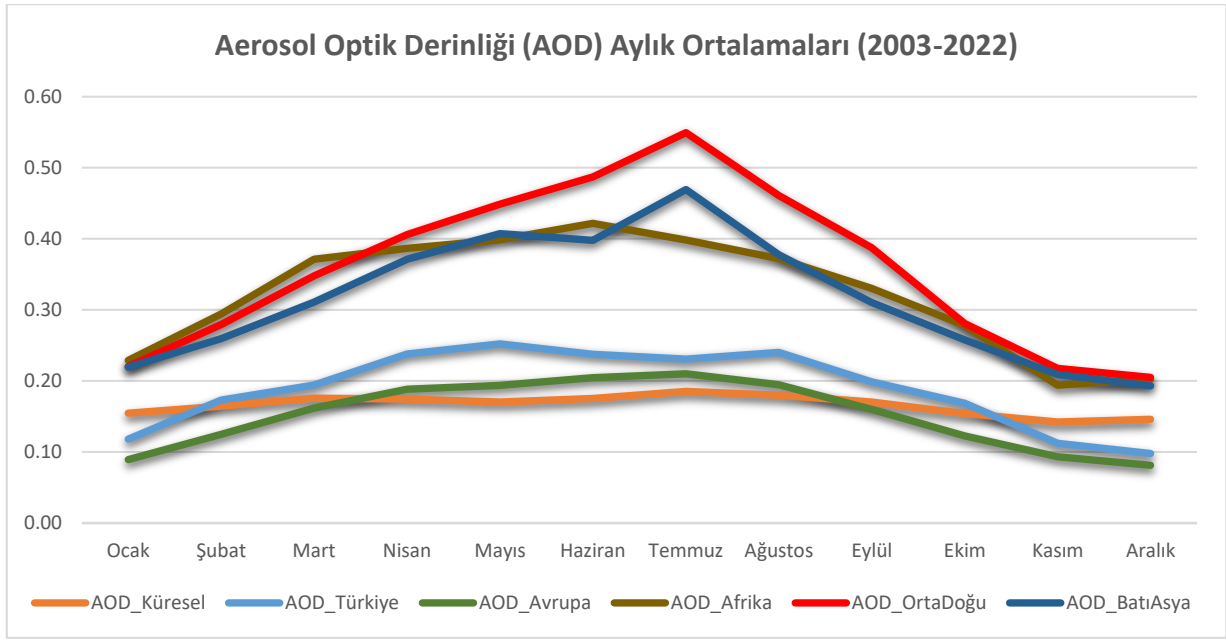
Aylık alansal Angstrom Exponent (AE) ortalamaları (Tablo 5, Şekil 8) analiz edildiğinde Avrupa ve Türkiye için hesaplanan aylık ortalamaların en yüksek olduğu, başka bir deyişle bu bölgelerde daha küçük çaplı olan insan kaynaklı emisyonların baskın olduğu söylenebilir. Çöl tozlarının daha etkin olduğu Afrika, Ortadoğu ve Batı Asya bölgelerinde ise Angstrom Exponent (AE) ortalamaları, beklendiği şekilde daha düşük hesaplanmıştır.

Tablo 4. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Aylık Değişimi

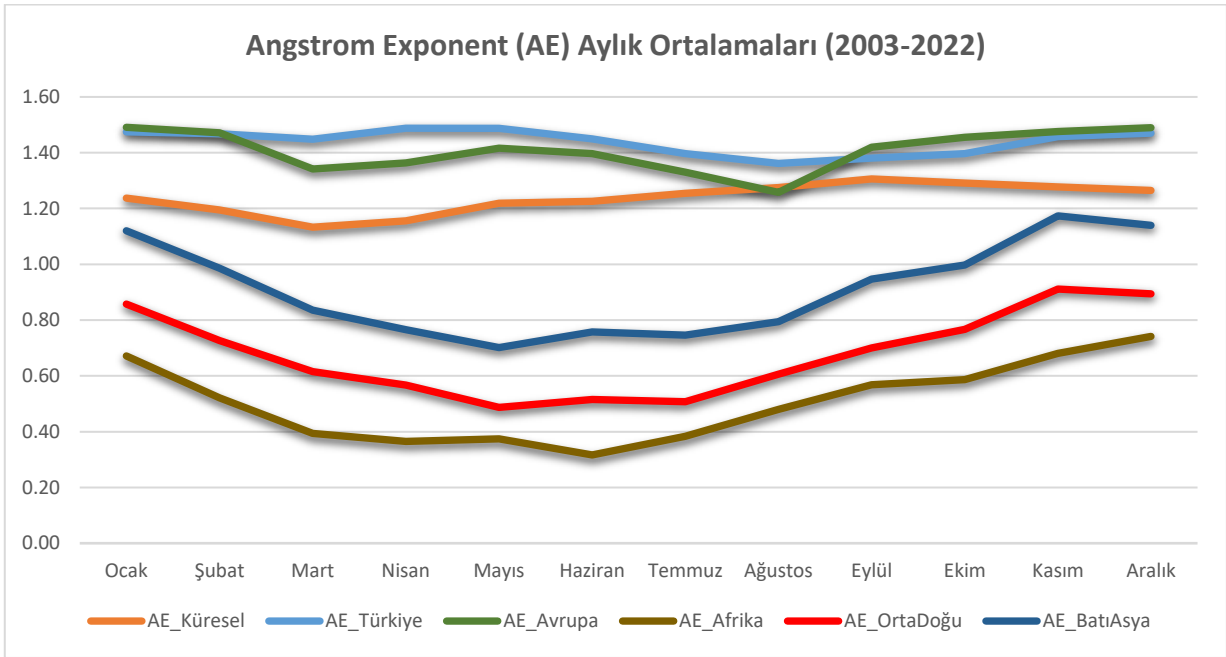
AY	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
Ocak	0,1545	0,1182	0,0891	0,2288	0,2206	0,2195
Şubat	0,1644	0,1732	0,1250	0,2944	0,2792	0,2595
Mart	0,1759	0,1942	0,1618	0,3711	0,3479	0,3109
Nisan	0,1743	0,2381	0,1886	0,3865	0,4059	0,3714
Mayıs	0,1702	0,2521	0,1939	0,3987	0,4488	0,4074
Haziran	0,1752	0,2374	0,2047	0,4218	0,4869	0,3980
Temmuz	0,1854	0,2306	0,2101	0,3984	0,5494	0,4693
Ağustos	0,1800	0,2403	0,1947	0,3724	0,4611	0,3778
Eylül	0,1702	0,1986	0,1601	0,3301	0,3877	0,3106
Ekim	0,1541	0,1685	0,1227	0,2778	0,2809	0,2579
Kasım	0,1423	0,1123	0,0933	0,1941	0,2178	0,2092
Aralık	0,1460	0,0979	0,0814	0,2023	0,2050	0,1931
Ortalama	0,1660	0,1884	0,1521	0,3230	0,3576	0,3154

Tablo 5. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Aylık Değişimi

AY	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
Ocak	1,2368	1,4749	1,4911	0,6713	0,8575	1,1198
Şubat	1,1951	1,4685	1,4717	0,5207	0,7267	0,9864
Mart	1,1330	1,4484	1,3414	0,3932	0,6148	0,8361
Nisan	1,1556	1,4878	1,3638	0,3645	0,5671	0,7657
Mayıs	1,2186	1,4873	1,4169	0,3741	0,4870	0,7013
Haziran	1,2258	1,4494	1,3974	0,3165	0,5150	0,7573
Temmuz	1,2545	1,3966	1,3304	0,3832	0,5076	0,7458
Ağustos	1,2750	1,3616	1,2580	0,4794	0,6060	0,7940
Eylül	1,3060	1,3804	1,4195	0,5687	0,6998	0,9471
Ekim	1,2910	1,3974	1,4551	0,5863	0,7663	0,9972
Kasım	1,2777	1,4581	1,4762	0,6808	0,9112	1,1735
Aralık	1,2654	1,4703	1,4902	0,7415	0,8939	1,1403
Ort.	1,2362	1,4401	1,4093	0,5067	0,6794	0,9137

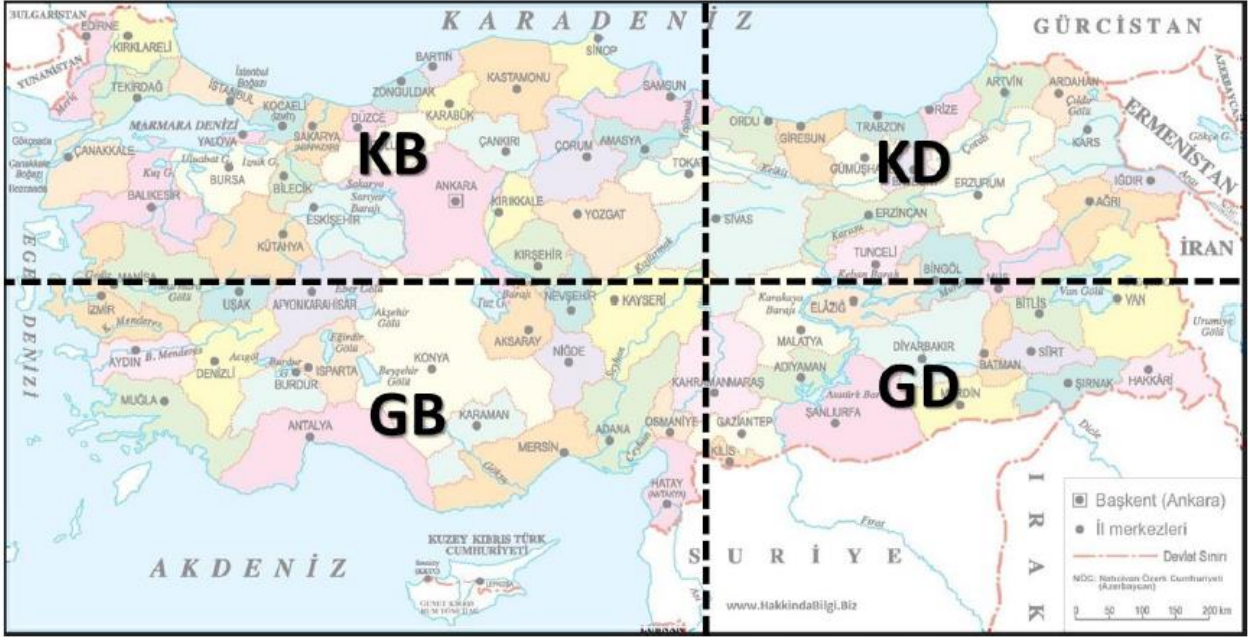


Şekil 7. Çalışma Bölgelerinin Aylık Alansal Ortalama AOD Değişimleri



Şekil 8. Çalışma Bölgelerinin Aylık Alansal Ortalama AE Değişimleri

Türkiye Aerosol (Toz Taşınımı) Analiz ve Değerlendirmeleri



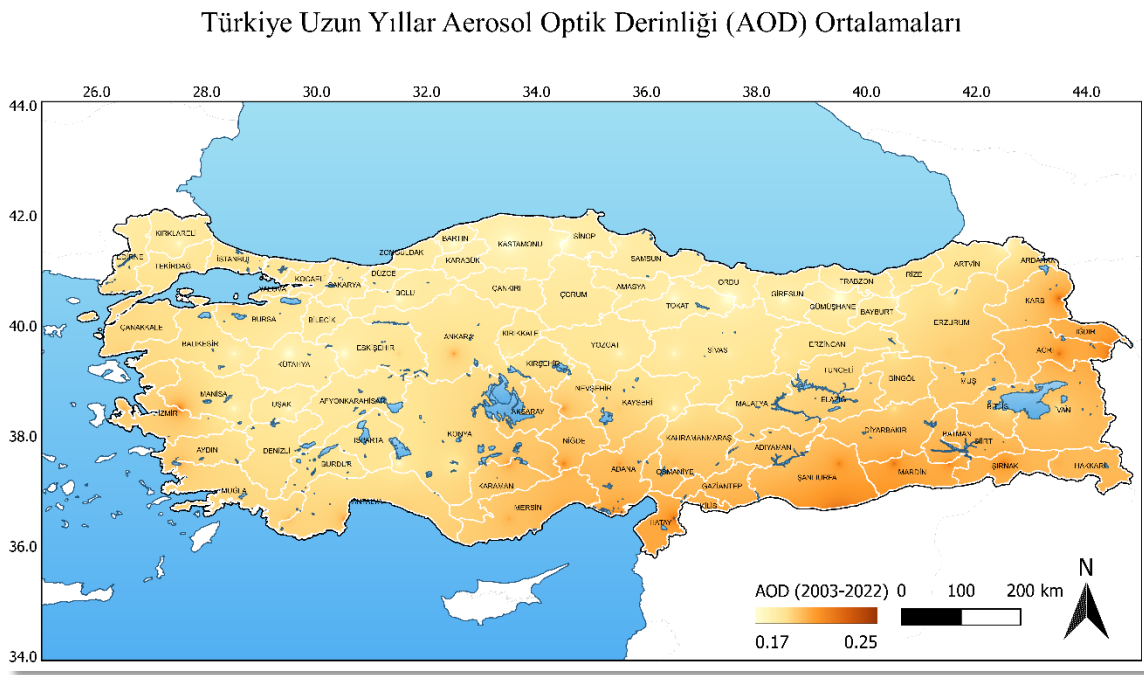
Şekil 9. AOD Analizi Yapılan Bölgeler

Aerosollerin Alansal Değişimi

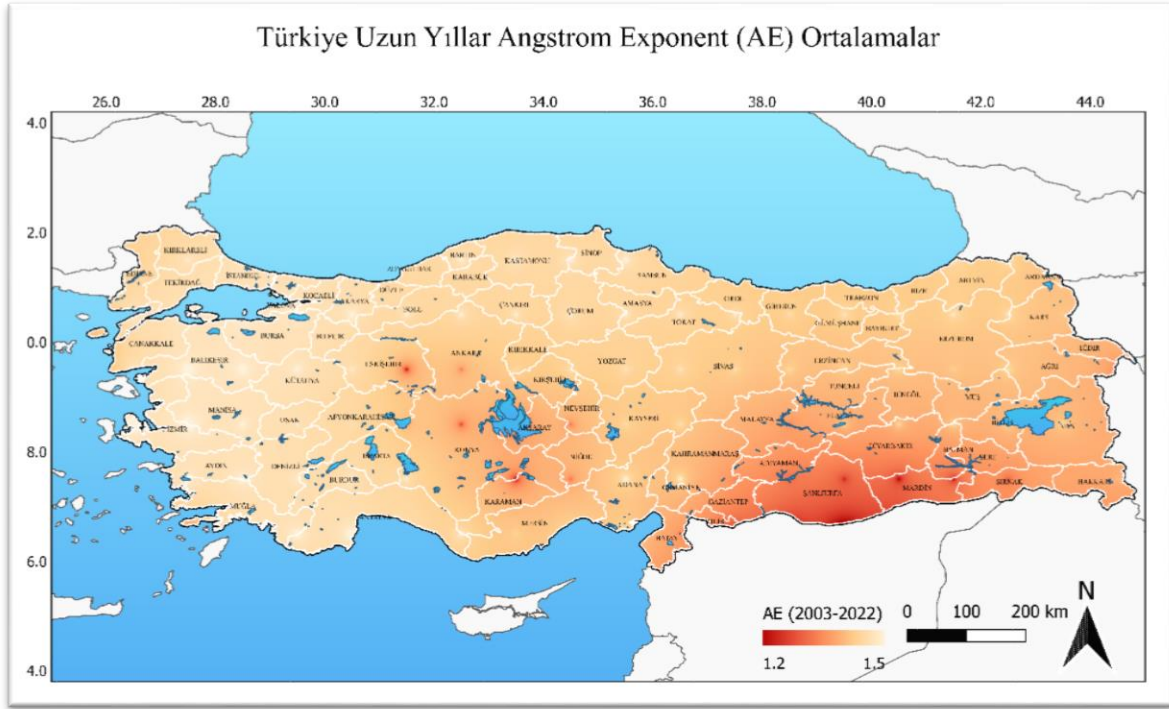
Türkiye atmosferindeki uzun yıllar (2003-2022) alansal ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) değerleri incelendiğinde; Türkiye'nin güney doğusunun en yoğun aerosol miktarına (toz taşınımına) maruz kaldığı görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi dışında, İç Anadolu Bölgesinin güney doğusu ve Akdeniz Bölgesinin doğusu atmosferdeki aerosollerin en yoğun olduğu alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölgelerin dışında, Iğdır, Kars, Ağrı ve İzmir ili sınırları içinde de yüksek AOD yıllık ortalamaları hesaplanmıştır (Şekil 10).

Angstrom Exponent (AE), atmosferdeki partikül maddelerin büyüklükleri ile ters orantılı bir parametredir. Küçük AE değerleri, çöl tozları gibi büyük çaplı parçacıkların ortamda daha baskın olduğunu göstermektedir. Yüksek AOD ve küçük AE ortalamalarının bulunduğu alanlarda, büyük çaplı aerosollerin (çöl tozları) atmosferde baskın olduğu görülmektedir. Şekil 11'de verilen Türkiye alansal ortalama AE haritasında, AOD değerlerinin yüksek olduğu bölgelere benzer şekilde, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesinin iç ve güney kesimlerinde büyük çaplı aerosollerin (çöl tozları) daha baskın olduğu söylenebilir.

Diğer taraftan, AOD ortalamalarının yüksek hesaplandığı Iğdır ve İzmir civarında AE ortalamaları da büyük hesaplandığı için bu bölgelerde büyük çaplı toz parçacıklarından ziyade, daha küçük çaplara sahip olan insan kaynaklı endüstriyel (antropojenik) emisyonların baskın olduğu şeklinde değerlendirilebilir.



Şekil 10. Türkiye Uzun Yıllar Aerosol Optik Derinliği (AOD) Ortalamaları



Şekil 11. Türkiye Uzun Yıllar Angstrom Exponent (AE) Ortalamaları

Aerosollerin Zamansal Değişimi

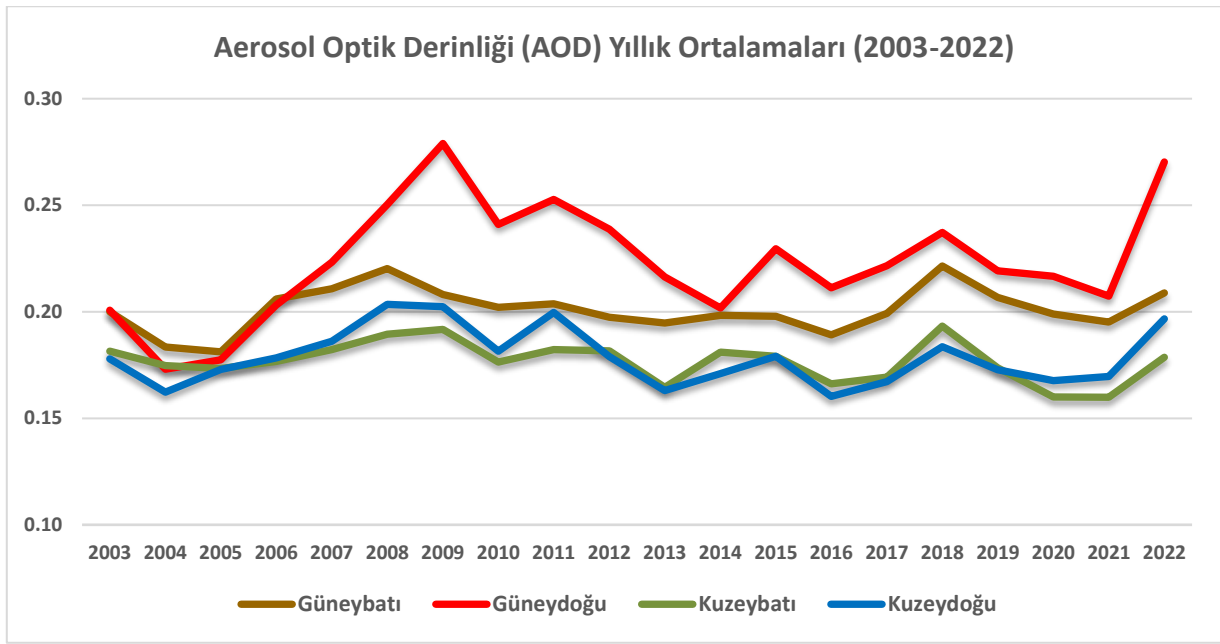
Atmosferde bulunan aerosollerin bölgelere göre farklılıklarının belirlenebilmesi amacıyla, Türkiye coğrafyası 4 alt bölgeye (güneybatı-GB, güneydoğu-GD, kuzeybatı-KB, kuzeydoğu-KD) ayrılarak Aerosol Optik Derinliği (AOD) ve Angstrom Exponent (AE) alansal ortalama değerleri analiz edilmiştir. Bölgelere göre AOD ve AE yıllık alansal ortalamaları Tablo 6'da verilmiştir. Uzun yıllar ortalamalarına göre, en yüksek AOD ortalamaları Türkiye'nin güneydoğu bölümünde hesaplanırken, bu bölümü sırasıyla güneybatı, kuzeydoğu ve kuzeybatı bölümleri gelmektedir.

Angstrom Exponent (AE), atmosferdeki partikül maddelerin büyüklükleri ile ters orantılı bir parametredir. Küçük AE değerleri, çöl tozları gibi büyük çaplı parçacıkların ortamda daha baskın olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda; Türkiye'nin güneydoğu bölümü en düşük AE değerleri ile çöl tozu gibi büyük aerosollerin atmosferde daha baskın bulunduğu bölge olarak görülmüştür. Diğer bölümlerde ise AE ortalamaları birbirine çok yakın bulunmuştur.

Türkiye atmosferinde bulunan aerosoller, 2003-2022 yılları arasında inişli çıkışlı bir trend göstermekte olup, 2010 yılından sonra azalma eğilimindedir. 2022 yılında ise tekrar artış eğilimine geçtiği görülmektedir. Türkiye'nin güneydoğu bölümü diğer bölümlere göre aerosol yoğunluğu açısından çok daha yüksek bulunmuştur (Şekil 12).

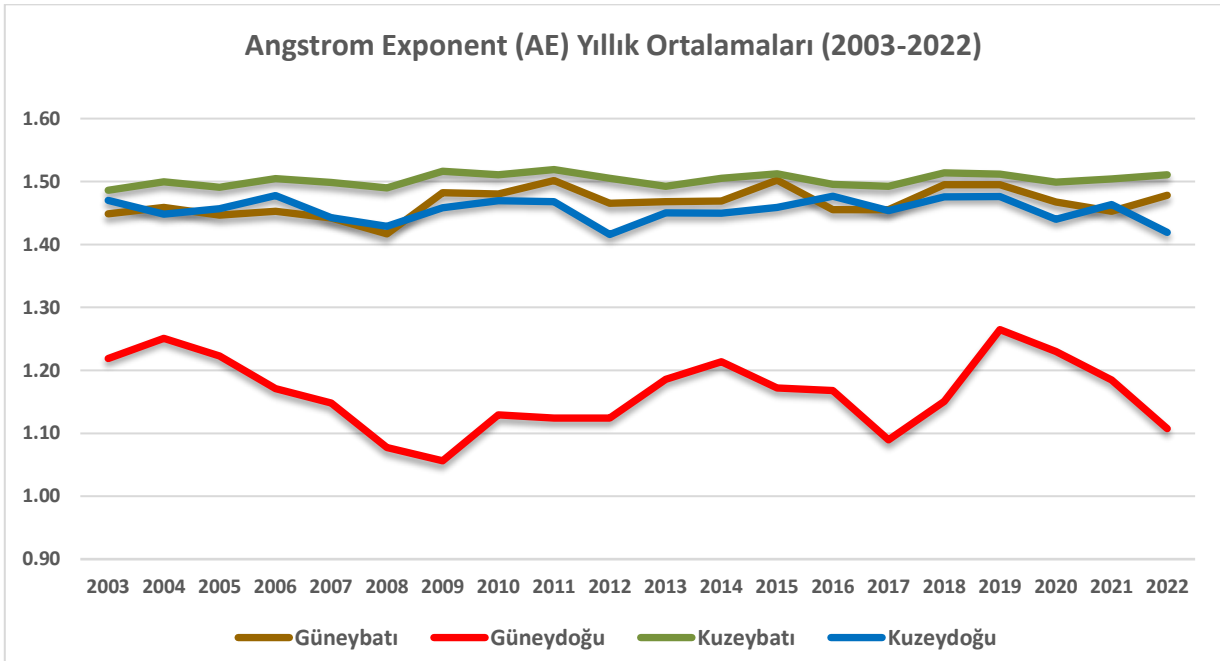
Tablo 6. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi

YIL	Aerosol Optik Derinliği (AOD)				Angstrom Exponent (AE)			
	GB	GD	KB	KD	GB	GD	KB	KD
2003	0,2000	0,2007	0,1814	0,1779	1,4488	1,2187	1,4861	1,4701
2004	0,1835	0,1730	0,1747	0,1623	1,4589	1,2510	1,4995	1,4481
2005	0,1812	0,1775	0,1734	0,1729	1,4464	1,2227	1,4908	1,4567
2006	0,2060	0,2031	0,1766	0,1783	1,4528	1,1712	1,5048	1,4777
2007	0,2108	0,2232	0,1823	0,1861	1,4419	1,1482	1,4985	1,4427
2008	0,2202	0,2503	0,1895	0,2035	1,4168	1,0775	1,4898	1,4291
2009	0,2081	0,2790	0,1917	0,2023	1,4822	1,0563	1,5163	1,4581
2010	0,2020	0,2410	0,1764	0,1815	1,4802	1,1294	1,5109	1,4697
2011	0,2037	0,2527	0,1822	0,1997	1,5017	1,1241	1,5190	1,4682
2012	0,1975	0,2387	0,1816	0,1790	1,4656	1,1241	1,5052	1,4159
2013	0,1948	0,2164	0,1645	0,1629	1,4682	1,1856	1,4926	1,4504
2014	0,1984	0,2018	0,1811	0,1710	1,4690	1,2139	1,5052	1,4497
2015	0,1979	0,2296	0,1791	0,1790	1,5023	1,1721	1,5123	1,4587
2016	0,1892	0,2112	0,1662	0,1603	1,4554	1,1678	1,4956	1,4768
2017	0,1993	0,2216	0,1693	0,1672	1,4551	1,0894	1,4926	1,4540
2018	0,2215	0,2373	0,1933	0,1836	1,4951	1,1506	1,5138	1,4756
2019	0,2067	0,2193	0,1736	0,1728	1,4952	1,2647	1,5115	1,4761
2020	0,1989	0,2166	0,1600	0,1677	1,4672	1,2298	1,4993	1,4403
2021	0,1952	0,2073	0,1599	0,1696	1,4529	1,1845	1,5042	1,4632
2022	0,2088	0,2702	0,1786	0,1966	1,4784	1,1076	1,5107	1,4192
Ortalama	0,2012	0,2235	0,1768	0,1787	1,4667	1,1645	1,5029	1,4550



Şekil 12. Türkiye Yıllık Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Değişimleri

Bölgelere göre Angstrom Exponent (AE) yıllık ortalamaları analiz edildiğinde, güneydoğu bölümünün diğer bölümlerden oldukça farklı olduğu ve AE ortalamalarının çok düşük olduğu bulunmuştur (Şekil 13). Küçük AE değerleri, atmosferdeki aerosol çaplarının daha büyük olduğunu gösterdiği için, çöl tozları gibi büyük çaplı parçacıkların atmosferde daha baskın olduğu görülmektedir. Diğer bölümlerde ise AE ortalamaları birbirine çok yakın bulunmuştur.



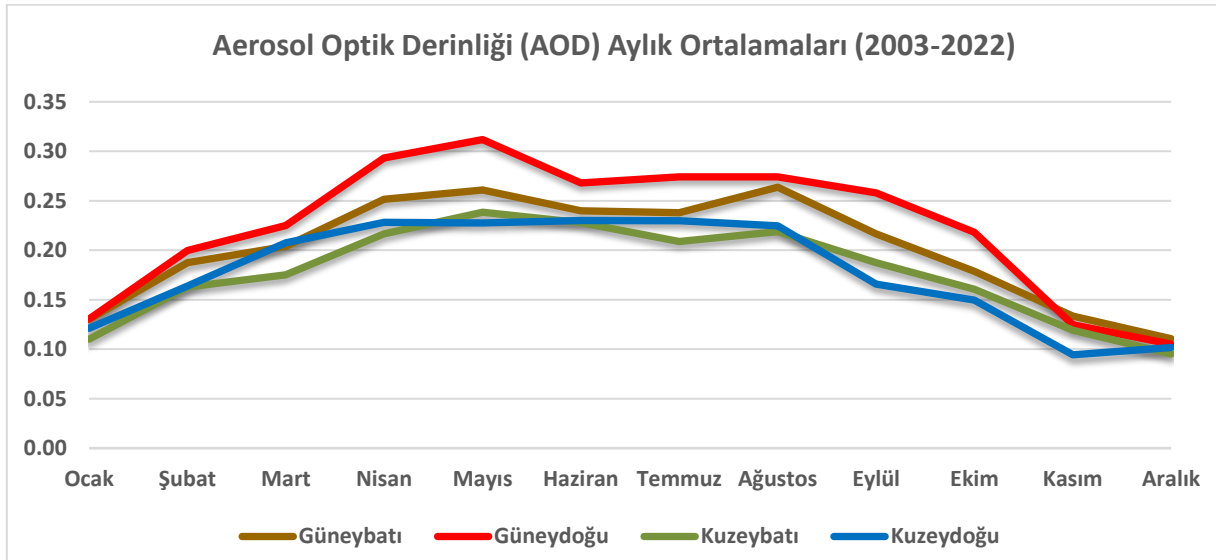
Şekil 13. Türkiye Yıllık Alansal Ortalama Angstrom Exponent (AE) Değişimleri

Tablo 7 ve Şekil 14’de verilen aylık alansal ortalama AOD değerleri incelendiğinde; Şubat ayından itibaren düzenli olarak artan aerosollerin Mayıs ayında en yüksek değere ulaştığı, bu aydan itibaren düzenli olarak azalarak yılsonunda en düşük seviyelere indiği görülmektedir. Başka bir deyişle, atmosferdeki aerosoller açısından ilkbahar mevsiminin (Mart, Nisan ve Mayıs) en yüksek dönem

olduğu söylenebilir. Türkiye'nin güneydoğu bölümünde ölçülen aylık AOD ortalamaları yılın tamamında diğer bölgelerden daha yüksek hesaplanmıştır.

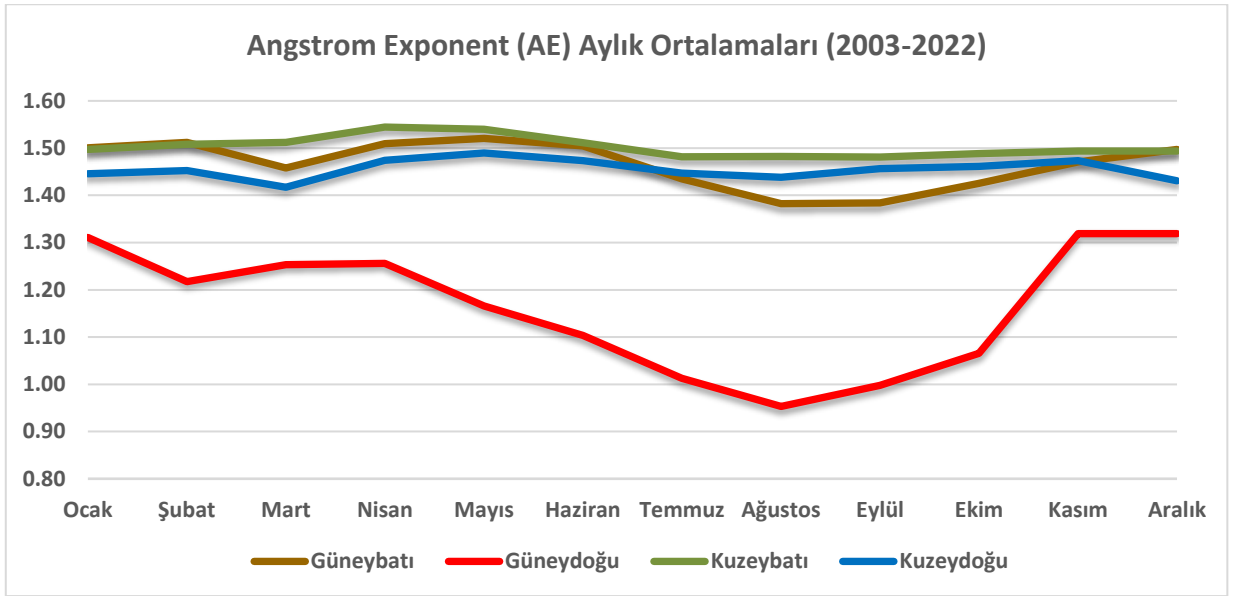
Tablo 7 Çalışma bölgeleri alansal ortalama AOD değerlerinin aylık değişimi

AY	Aerosol Optik Derinliği (AOD)				Angstrom Exponent (AE)			
	GB	GD	KB	KD	GB	GD	KB	KD
Ocak	0,1301	0,1306	0,1102	0,1212	1,5005	1,3108	1,4974	1,4459
Şubat	0,1873	0,1997	0,1629	0,1638	1,5122	1,2173	1,5078	1,4524
Mart	0,2040	0,2250	0,1750	0,2076	1,4579	1,2530	1,5124	1,4171
Nisan	0,2514	0,2933	0,2166	0,2283	1,5097	1,2563	1,5445	1,4742
Mayıs	0,2608	0,3118	0,2384	0,2276	1,5206	1,1661	1,5401	1,4897
Haziran	0,2397	0,2681	0,2278	0,2300	1,5044	1,1034	1,5117	1,4737
Temmuz	0,2380	0,2740	0,2089	0,2298	1,4351	1,0125	1,4813	1,4467
Ağustos	0,2637	0,2741	0,2189	0,2246	1,3824	0,9531	1,4824	1,4384
Eylül	0,2166	0,2580	0,1874	0,1659	1,3843	0,9977	1,4810	1,4568
Ekim	0,1786	0,2180	0,1606	0,1496	1,4253	1,0656	1,4885	1,4611
Kasım	0,1334	0,1246	0,1192	0,0943	1,4708	1,3189	1,4941	1,4732
Aralık	0,1106	0,1051	0,0952	0,1018	1,4973	1,3189	1,4940	1,4308
Ortalama	0,2012	0,2235	0,1768	0,1787	1,4667	1,1645	1,5029	1,4550



Şekil 14. Türkiye Aylık Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Değişimleri

Bölgelere göre Angstrom Exponent (AE) yıllık ortalamaları incelendiğinde, güneydoğu bölümünün yılın tamamında diğer bölümlerden oldukça farklı olduğu ve AE ortalamalarının çok düşük ve büyük çaplı aerosollerin atmosferde daha baskın olduğu bulunmuştur (Şekil 15). Sonuç olarak, Suriye ve Irak çöllerinden taşınan mineral tozların Türkiye'nin güneydoğusunu etkilediği ve en yoğun toz taşınımı olaylarının ilkbaharda yaşandığı görülmektedir.



Şekil 15. Türkiye Aylık Alansal Ortalama Angstrom Exponent (AE) Değişimleri

MGM Toz Taşınımı Tahminleri

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından, Batı Asya, Orta Doğu ve Kuzey Afrika için Toz Taşınımı tahminleri operasyonel olarak üretilmekte ve internet ortamında yayınlanmaktadır. ECMWF-CAMS (European Centre for Medium Range Weather Forecasts-Copernicus Atmosphere Monitoring Service) modeli ile 3'er saatlik periyotlarla 3 günlük olarak üretilen toz taşınımı tahminleri ile saatlik uydu toz ürünleri aşağıda verilen web adreslerinde yayınlanmaktadır. Tahminlerde hem yer seviyesi toz konsantrasyonları hem de atmosferdeki aerosollerin dikey derinlikleri (AOD) bulunmaktadır.

Toz Taşınımı Tahminleri <https://www.mgm.gov.tr/tahmin/toz-tahmini.aspx>

Toz Taşınımı Uyarı Sistemi <https://www.mgm.gov.tr/tahmin/toz-tasinimi.aspx>

Batı Asya Sanal Toz Taşınımı Tahmin Merkezi <http://sdswwa.mgm.gov.tr/>

Kaynaklar

Allen, R. J., Landuyt, W., & Rumbold, S. T. (2016). An increase in aerosol burden and radiative effects in a warmer world. *Nature Climate Change*, 6(3), 269-274.

Boloorani, A. D., Nabavi, S. O., Azizi, R., & Bahrami, H. A. (2013). Characterization of dust storm sources in western Iran using a synthetic approach. In *Advances in meteorology, climatology and atmospheric physics* (pp. 415-420). Springer, Berlin, Heidelberg.

De Longueville, F., Hountondji, Y. C., Henry, S., & Ozer, P. (2010). What do we know about effects of desert dust on air quality and human health in West Africa compared to other regions?. *Science of the Total Environment*, 409(1), 1-8.

Dündar C., (2019). "Büyük Akdeniz Havzasında Kum ve Toz Fırtınalarının İncelenmesi ve Türkiye'yi Etkileyen Toz Kaynak Bölgelerinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Ginoux, P., J.M. Prospero, T.E. Gill, N.C. Hsu, and M. Zhao, (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, doi:10.1029/2012rg000388.

Hooper, J. and S. Marx, (2018). A global doubling of dust emissions during the Anthropocene? *Global and Planetary Change*, doi:10.1016/j.gloplacha.2018.07.003.

IPCC: 2014: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis; 5th Assessment Report*, Cambridge University Press, Cambridge and New York.

IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press

Jickells T. D., An Z. S., Andersen K. K., Baker A. R., Bergametti G., Brooks N., Cao J. J., Boyd P. W., Duce R. A., Hunter K. A., Kawahata H., Kubilay N., laRoche J., Liss P. S., Mahowald N., Prospero J. M., Ridgwell A. J., Tegen I., and Torres R. (2005) *Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate*. *Science* 308, 67–71.

Kok, J.F., D.S. Ward, N.M. Mahowald, and A.T. Evan, (2018). Global and regional importance of the direct dust-climate feedback. *Nature communications*, 9(1), 241, doi:10.1038/s41467-017-02620-y .

Kubilay, N., Saydam, A. C., *Trace elements in atmospheric particulates over the Eastern Mediterranean: Concentrations, sources and temporal variability*. *Atmospheric Environment* 29, (1995) 2289-300

Muhs, D. R., Prospero, J. M., Baddock, M. C., and Gill, T. E. (2014). Identifying sources of aeolian mineral dust: Present and past. In *Mineral Dust* (pp. 51-74). Springer Netherlands.

Perez, C., (2010). How does climate influence infectious diseases? Unraveling the effects of dust and climate on meningitis epidemics in the Sahel. *The Earth Institute Fellows Symposium*. Columbia University, New York, May 10th.

Prospero J.M., Ginoux P., Torres O., Nicholson S.E., Gill T.E., (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust derived from the NIMBUS7 TOMS absorbing aerosol product, *Rev; Geophysical Journal*, vol 40, p., 2002.

Pu, B. and P. Ginoux, (2018). How reliable are CMIP5 models in simulating dust optical depth? *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(16) , 12491–12510, doi:10.5194/acp-18-12491-2018 .

Ramanathan, V., Muvva, V., Ramana, G., Roberts, G., Kim, D., Corrigan, C., Chung, C., and Winker, D. (2007). Warming trends in Asia amplified by brown cloud solar absorption, *Nature*, 448. 575–578

Ridley, D.A., Heald, C.L., and Prospero, J.M., (2014). What controls the recent changes in African mineral dust aerosol across the Atlantic? *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(11), 5735–5747, doi:10.5194/acp-14-5735-2014 .

Tanaka, T. Y., & Chiba, M. (2006). A numerical study of the contributions of dust source regions to the global dust budget. *Global and Planetary Change*, 52(1), 88-104.

Tegen, I., & Schepanski, K. (2018). Climate feedback on aerosol emission and atmospheric concentrations. *Current Climate Change Reports*, 4(1), 1-10.

Wang, W., A.T. Evan, C. Flamant, and C. Lavaysse, (2015). On the decadal scale correlation between African dust and Sahel rainfall: The role of Saharan heat low–forced winds. *Science Advances*, 1(9), e1500646, doi:10.1126/sciadv.1500646 .

Webb, N.P. and C. Pierre, (2018). Quantifying anthropogenic dust emissions. *Earth’s Future*, 6(2), 286–295.

WMO and UNEP, (2013). “Establishing a WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System Regional Node for West Asia: Current Capabilities and Needs”, *Technical Report*, WMO-No. 1121, ISBN 978-92-63-11121-0, Geneva.

www.vfa-solutions.com

EKLER

Toz Taşınımı Tahminleri (<https://www.mgm.gov.tr/tahmin/toz-tahmini.aspx>)

Toz Taşınımı Uyarı Sistemi (<https://www.mgm.gov.tr/tahmin/toz-tasinimi.aspx>)

Toz Taşınımı Uyarı Sistemi

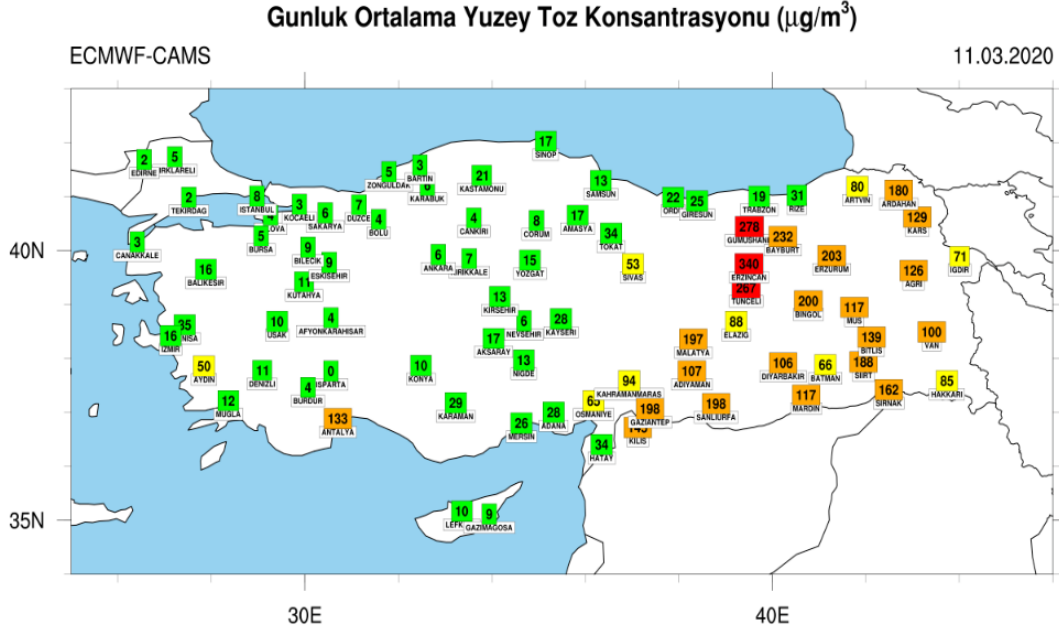
Tahminler

10 Mart 2020, Salı

11 Mart 2020, Çarşamba

12 Mart 2020, Perşembe

Uydu (MSG) Toz Ürünü



Batı Asya Sanal Toz Taşınımı Tahmin Merkezi (<http://sdswa.mgm.gov.tr/>)



Turkish State
Meteorological Service

Home SDS Forecasts Dust Images Forecast Evaluation Documents Materials, Events

Homepage > SDS Forecasts

SDS Forecasts for West Asia

GMT: Animate | 00 | 03 | 06 | 09 | 12 | 15 | 18 | 21 | 00 | 03 | 06 | 09 | 12 | 15 | 18 | 21 | 00 | 03 | 06 | 09 | 12 | 15 | 18 | 21 | 00

