

Türkiye ve Çevresi Aerosol (Toz Taşınımı) Analizleri (2003-2020)



Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü

Ankara, 2021



YÖNETİCİ ÖZETİ

2003-2020 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 ulaşımını) başta olmak üzere, sosyo-ekonomik hayat üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Toz taşınımı, 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 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 Orta 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 adreslerinde yayınlanmaktadır.

Hesaplamalar ve Bulgular

Uzun yıllar (2003-2020) Aerosol Optik Derinliği (AOD) alansal ortalamaları incelendiğinde; toz kaynak alanlarının yer aldığı Afrika, Orta Doğu ve Batı Asya bölgelerinde; küresel, 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. 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 2003-2020 yılları alansal ortalama Angstrom Exponent (AE) verilerine göre; 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. Çöl tozlarının daha etkin olduğu Afrika, Ortadoğu ve Batı Asya bölgelerinde ise Angstrom Exponent (AE) ortalamaları, beklendiği şekilde daha düşük hesaplanmıştır.



Türkiye Analizleri

Türkiye atmosferindeki uzun yıllar (2003-2020) 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.

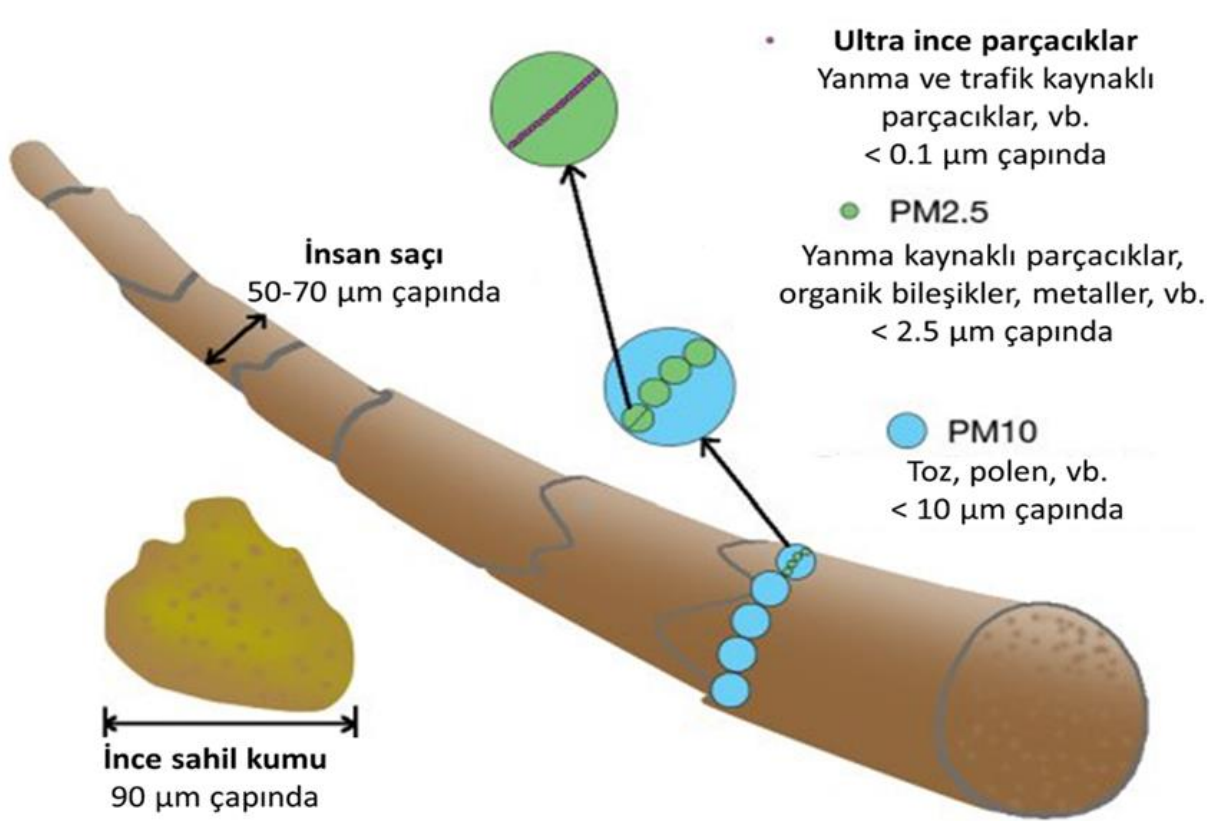
Uzun yıllar aylık alansal ortalama AOD değerleri incelendiğinde; Şubat ayından itibaren artan aerosollerin Mayıs ayında en yüksek değere ulaştığı, bu aydan itibaren düzenli olarak azalarak yılsonunda en düşük seviyelere indiği görülmektedir. Başka bir deyişle, atmosferdeki aerosoller açısından ilkbahar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

Türkiye ve Çevresi

2003-2020 Dönemi Aerosol (Toz Taşınımı) Analizleri

Atmosferde Bulunan Aerosoller (Partikül Maddeler)

Atmosferde bulunan 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 spreyleri, 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 etkilerini bulunmaktadır. İnsan kaynaklı 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, coğrafi konumu itibarıyla dünyadaki en önemli iki toz kaynağı olan Afrika ve Ortadoğu 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.

Yapılan çalışmalarda, ülkemize taşınan çöl kökenli toz 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 devam etmektedir. Bu kapsamda 24 saatlik ortalama PM₁₀ değerinin AB sınır değeri olan 50 µg/m³'e düşürülmesi ve bu değer bir yılda 35 defadan fazla aşılmaması hedeflenmiştir. 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 değeri olan 50 µg/m³'e dahil edilmemektedir.

Bu nedenle, özellikle Afrika ve Ortadoğu başta olmak üzere, Türkiye dışından ve içinden olacak toz taşınımının izlenmesi, tahmin edilmesi ve miktarlarının hesaplanması büyük önem taşımaktadır.

Diğer taraftan, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), başlıca iklim değişkenlerinden biri olan atmosferik aerosollerin çok önemli bir bileşeni olarak tozu kabul etmektedir. Doğal ve antropojenik aerosoller aynı zamanda güneş radyasyonunu soğurarak ve yansıtarak radyasyon bütçesini etkilemektedir (Ramanathan et al., 2007). IPCC'nin güncel iklim öngörülerine göre, kuraklık



hadisesinin sıklığı ve şiddetinin artmasıyla birlikte, kum ve toz fırtınalarının daha yoğun yaşanması beklenmektedir.

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

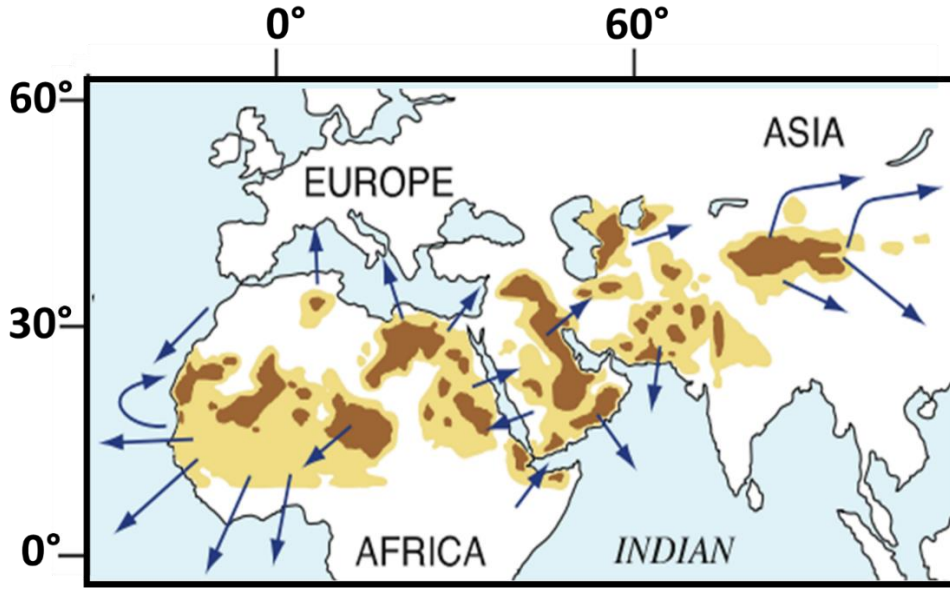
Literatürde, özellikle demir içeriği açısından zengin olan çöl tozlarının okyanus ve deniz yaşamı ile karalar üzerinde etkileri olduğu belirtilmektedir (Jickells et al., 2005). Ayrıca kum ve toz fırtınaları, maruz kalan insanların günlük yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Solunum yolu ve kalp rahatsızlığı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

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 et al., 2002). Dünyadan atmosfere salınan toz miktarı yaklaşık olarak 2 milyar ton civarındadır (De Longueville, et al., 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 et al., 2005).

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



Şekil-2. Afrika, Ortadoğu ev Asya'daki Önemli Toz Kaynak Alanları (Muhs et al., 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).

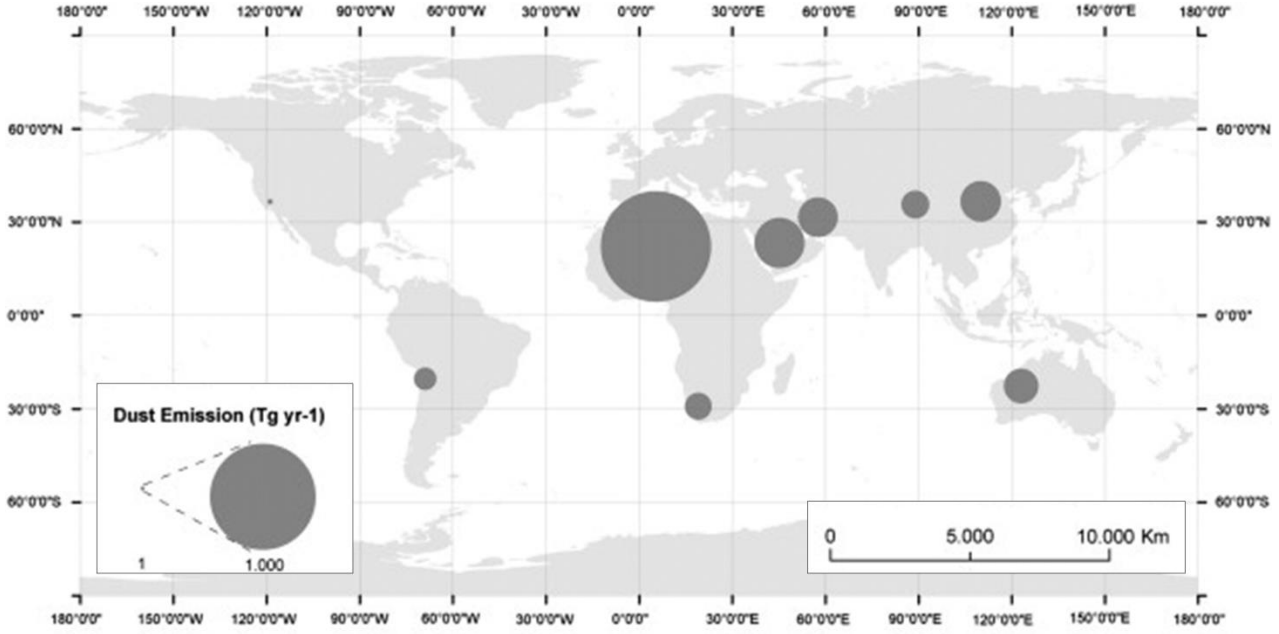
Bu çalışmada yapılan hesaplamalara göre; yılda toplam 1877 Tg (≈ 1.9 milyar ton) toz çöllerden atmosfere karışmaktadır (Tablo-1).

Tablo-1. Çöllerden atmosfere atılan toz emisyonları (Tanaka et al., 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.

Tüm bu sonuçlar dikkate alınarak, Türkiye'nin çevresinde bulunan toz kaynak alanlarından atmosfere atılan toplam toz emisyonlarının, tüm emisyonların % 70'ini oluşturduğu görülmektedir.



Şekil-3. Atmosfere atılan Toz Miktarları (De Longueville et al., 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 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 olması, aerosol çaplarının büyük olduğunu, yani toz gibi büyük çaplı parçacıkların ortamda daha baskın olduğunu göstermektedir. AE'nin yüksek değerleri ise antropojenik emisyonlar gibi küçük çaplı aerosollerin ortamda çok daha fazla ve baskın olduğunu ifade etmektedir.



Hesaplamalar ve Bulgular

Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Verilerinin Analizi

MODIS - Aqua uydusundan elde edilen 2003-2020 yılları alansal ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) verilerine göre (Tablo-2.a ve Şekil-4.a); küresel ölçekte önemli bir değişiklik görülmemesine rağmen, bölgesel ölçekte artış ve azalma eğilimlerinin olduğu görülmektedir.

Alansal AOD ortalamalarının bölgelerde yüksekten düşüğe doğru sıralanışı; Orta Doğu, Afrika, Batı Asya, Türkiye, Küresel ve Avrupa olarak tespit edilmiştir. Orta Doğu, Afrika ve Batı Asya atmosferi için hesaplanan AOD ortalamaları Türkiye, Avrupa ve Küresel (dünya) atmosferi 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 (Şekil-4.a).

Tablo-2.a. Çalışma bölgeleri alansal ortalama AOD değerlerinin yıllık değişimi

YIL	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
2003	0,1622	0,1857	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	0,1852	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	0,2090	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	0,1913	0,1461	0,3301	0,4007	0,3425
2013	0,1595	0,1787	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	0,1765	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	0,1896	0,1468	0,2869	0,3491	0,2991
2020	0,1705	0,1807	0,1382	0,3034	0,3228	0,2818
Ortalama	0,1653	0,1880	0,1523	0,3215	0,3550	0,3122



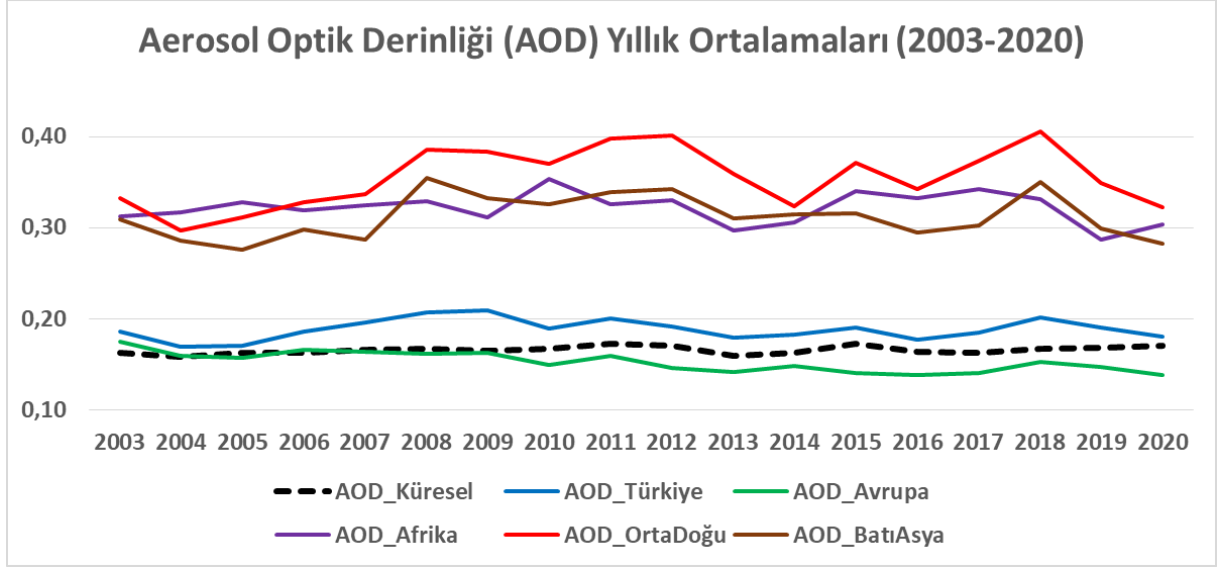
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI



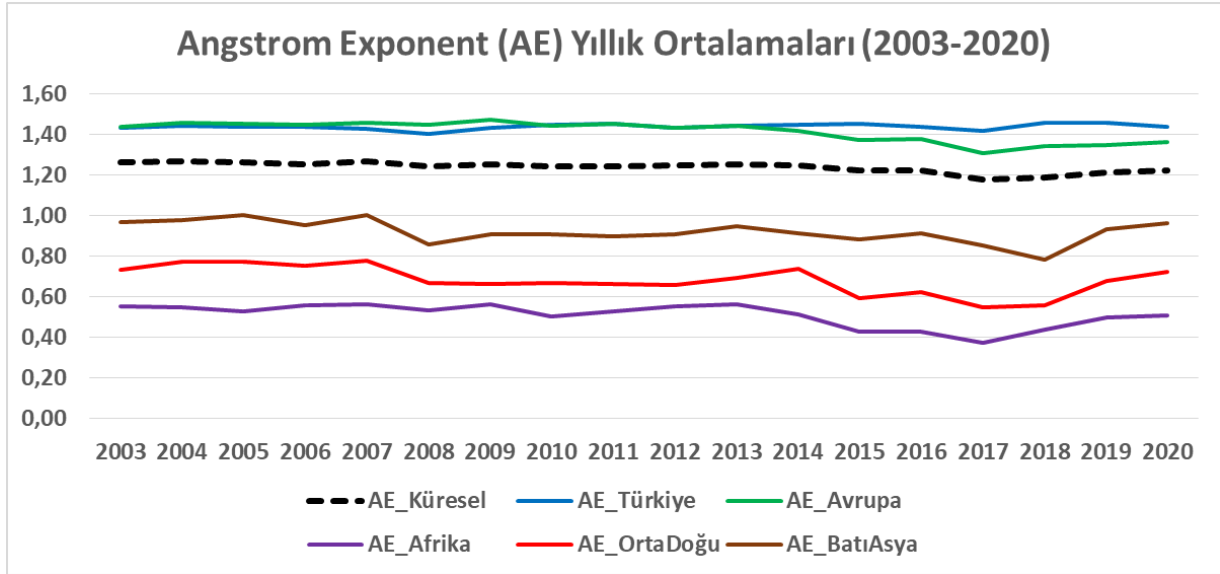
MODIS - Aqua uydusundan elde edilen 2003-2020 yılları alansal ortalama Angstrom Exponent (AE) verilerine göre (Tablo-2.b ve Şekil-4.b); Türkiye, Avrupa ve Küresel (dünya) ölçekte hesaplanan değerlerin yüksek olduğu, bu bölgelerde çöl tozları gibi büyük boyutlu doğal aerosollerden ziyade, çapları çok daha düşük olan insan kaynaklı emisyonların baskın olduğu bulunmuştur.

Tablo-2.b. Çalışma bölgeleri alansal ortalama AE değerlerinin yıllık değişimi

YIL	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
2003	1,2646	1,4346	1,4373	0,5523	0,7338	0,9666
2004	1,2665	1,4455	1,4583	0,5489	0,7750	0,9807
2005	1,2636	1,4397	1,4519	0,5263	0,7730	1,0051
2006	1,2539	1,4411	1,4483	0,5573	0,7530	0,9556
2007	1,2704	1,4305	1,4589	0,5637	0,7783	1,0025
2008	1,2445	1,4014	1,4467	0,5356	0,6690	0,8584
2009	1,2514	1,4333	1,4725	0,5653	0,6617	0,9109
2010	1,2460	1,4492	1,4458	0,5020	0,6669	0,9061
2011	1,2429	1,4543	1,4513	0,5303	0,6649	0,8961
2012	1,2510	1,4320	1,4320	0,5531	0,6585	0,9063
2013	1,2537	1,4442	1,4455	0,5640	0,6926	0,9502
2014	1,2463	1,4484	1,4184	0,5116	0,7366	0,9146
2015	1,2223	1,4556	1,3735	0,4275	0,5930	0,8843
2016	1,2218	1,4399	1,3764	0,4275	0,6251	0,9153
2017	1,1795	1,4198	1,3082	0,3733	0,5500	0,8513
2018	1,1870	1,4571	1,3446	0,4383	0,5604	0,7851
2019	1,2141	1,4580	1,3483	0,4972	0,6759	0,9348
2020	1,2251	1,4397	1,3647	0,5072	0,7212	0,9614
Ortalama	1,2391	1,4402	1,4157	0,5101	0,6827	0,9214



Şekil-4.a. Çalışma bölgelerinin yıllık alansal ortalama AOD değişimleri



Şekil-4.b. Çalışma bölgelerinin yıllık alansal ortalama AE değişimleri

Aylık alansal ortalama AOD değerleri (Tablo-3.a, Şekil-5.a) 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.



METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI



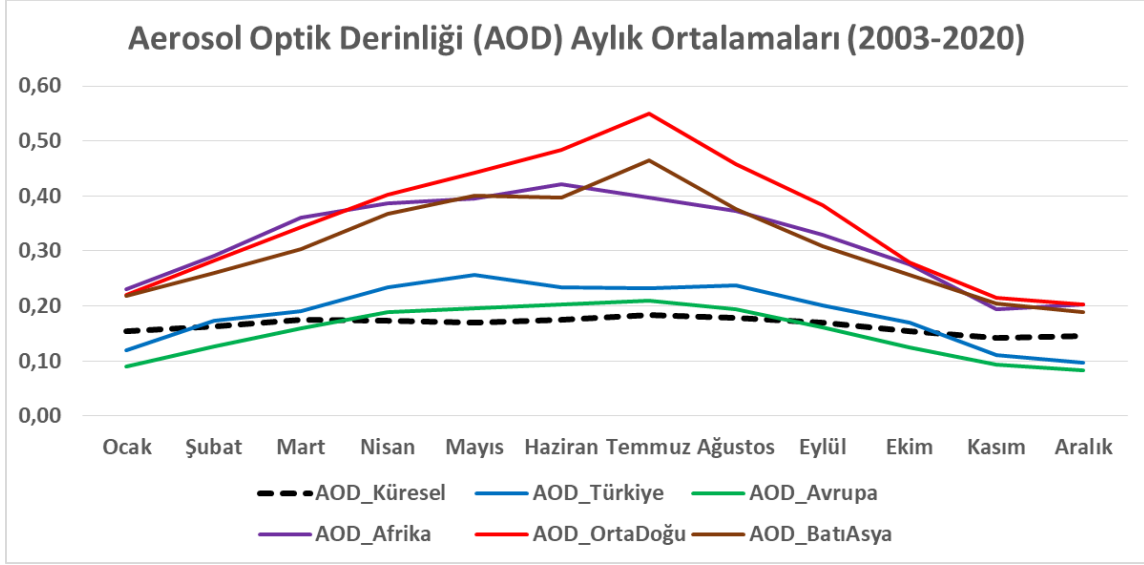
Aylık alansal Angstrom Exponent (AE) ortalamaları (Tablo-3.b, Şekil-5.b) analiz edildiğinde Avrupa ve Türkiye için hesaplanan aylık ortalamaların en yüksek olduğu, başka bir deyişle bu bölgelerde daha küçük çaplı olan insan kaynaklı emisyonların baskın olduğu söylenebilir. Çöl tozlarının daha etkin olduğu Afrika, Ortadoğu ve Batı Asya bölgelerinde ise Angstrom Exponent (AE) ortalamaları, beklendiği şekilde daha düşük hesaplanmıştır.

Tablo-3.a. Çalışma bölgeleri alansal ortalama AOD değerlerinin aylık değişimi

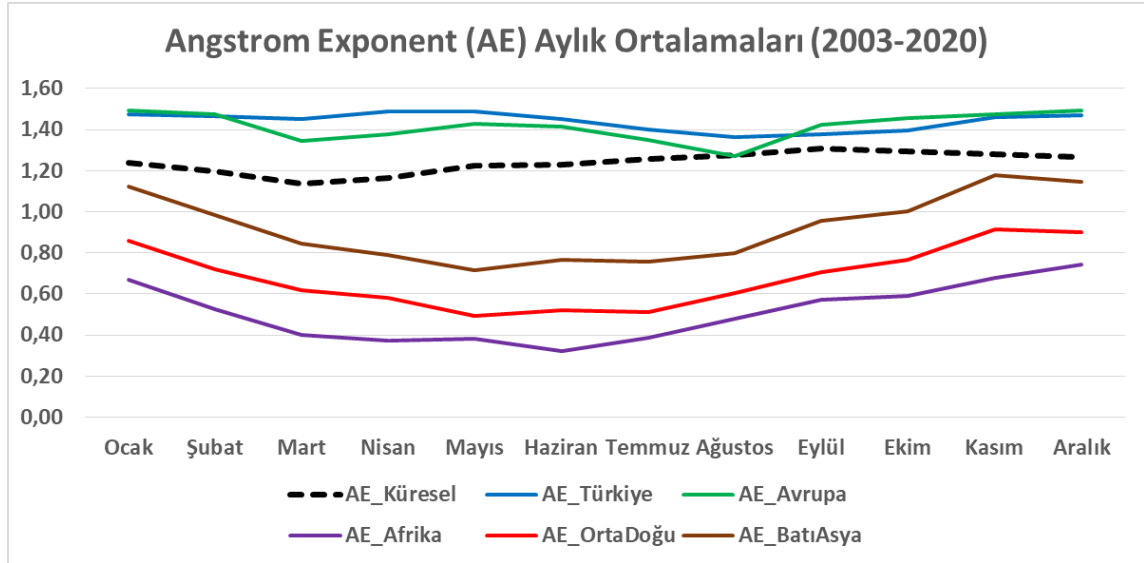
AY	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
Ocak	0,1545	0,1193	0,0905	0,2310	0,2204	0,2191
Şubat	0,1632	0,1740	0,1254	0,2906	0,2818	0,2600
Mart	0,1742	0,1901	0,1595	0,3609	0,3430	0,3040
Nisan	0,1734	0,2332	0,1886	0,3869	0,4018	0,3670
Mayıs	0,1697	0,2561	0,1963	0,3957	0,4418	0,4000
Haziran	0,1753	0,2348	0,2034	0,4210	0,4840	0,3963
Temmuz	0,1842	0,2316	0,2090	0,3969	0,5498	0,4656
Ağustos	0,1784	0,2377	0,1937	0,3720	0,4580	0,3764
Eylül	0,1699	0,2009	0,1615	0,3302	0,3839	0,3080
Ekim	0,1534	0,1705	0,1239	0,2758	0,2788	0,2562
Kasım	0,1420	0,1112	0,0941	0,1947	0,2147	0,2051
Aralık	0,1452	0,0968	0,0821	0,2026	0,2021	0,1883
Ortalama	0,1653	0,1880	0,1523	0,3215	0,3550	0,3122

Tablo-3.b. Çalışma bölgeleri alansal ortalama AE değerlerinin aylık değişimi

AY	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
Ocak	1,2365	1,4753	1,4920	0,6676	0,8565	1,1203
Şubat	1,1954	1,4667	1,4762	0,5238	0,7201	0,9852
Mart	1,1358	1,4501	1,3426	0,3993	0,6183	0,8450
Nisan	1,1659	1,4870	1,3752	0,3732	0,5815	0,7873
Mayıs	1,2241	1,4878	1,4262	0,3825	0,4940	0,7156
Haziran	1,2297	1,4512	1,4131	0,3205	0,5196	0,7673
Temmuz	1,2575	1,3983	1,3475	0,3878	0,5111	0,7570
Ağustos	1,2766	1,3613	1,2711	0,4802	0,6052	0,7971
Eylül	1,3091	1,3789	1,4231	0,5738	0,7051	0,9538
Ekim	1,2926	1,3963	1,4546	0,5884	0,7682	1,0019
Kasım	1,2788	1,4591	1,4756	0,6802	0,9134	1,1789
Aralık	1,2675	1,4708	1,4910	0,7437	0,8996	1,1475
Ortalama	1,2391	1,4402	1,4157	0,5101	0,6827	0,9214

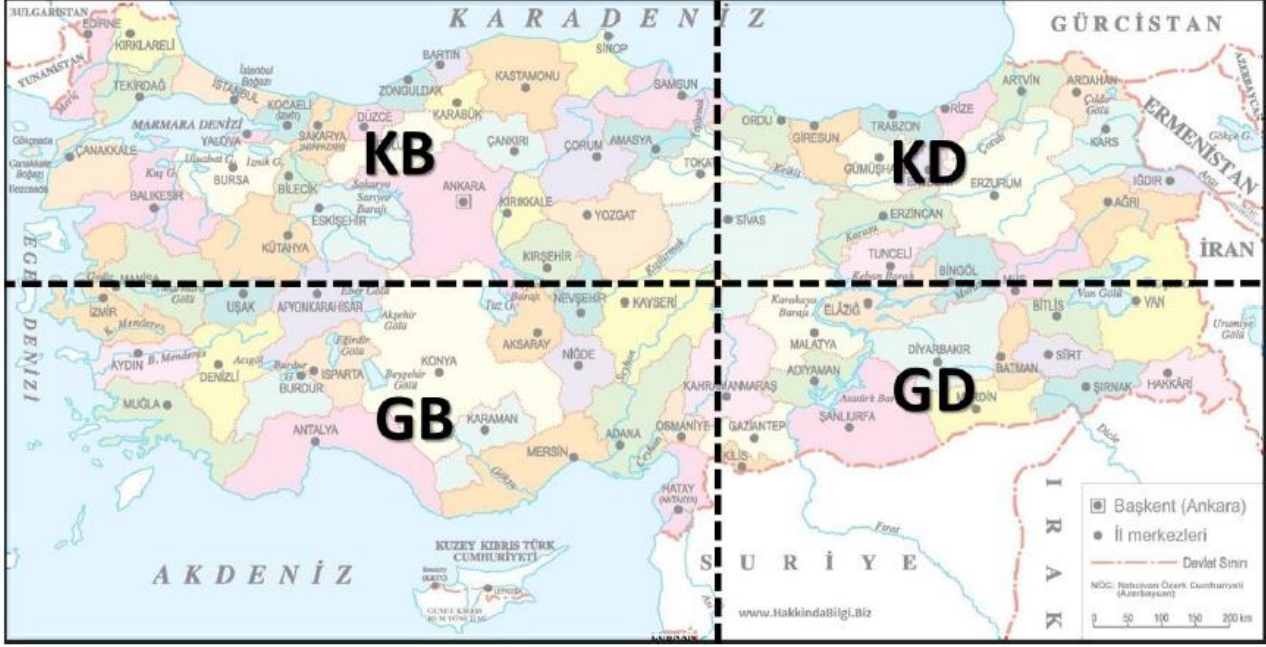


Şekil-5.a. Çalışma bölgelerinin aylık alansal ortalama AOD değişimleri



Şekil-5.b. Çalışma bölgelerinin aylık alansal ortalama AE değişimleri

Türkiye Aerosol (Toz Taşınımı) Analiz ve Değerlendirmeleri



Aerosollerin Alansal Değişimi

Türkiye atmosferindeki uzun yıllar (2003-2019) 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, Ağrı ve İzmir ili sınırları içinde de yüksek AOD yıllık ortalamaları hesaplanmıştır (Şekil-6.a).

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 6.b'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 de (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 (antropojenik) endüstriyel emisyonların baskın olduğu şeklinde değerlendirilebilir.



Şekil-6.a. Türkiye uzun yıllar Aerosol Optik Derinliği (AOD) ortalamaları



Şekil-6.b. 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-4'te verilmiştir. Uzun yıllar ortalamalarına göre, en yüksek AOD ortalamaları Türkiye'nin güneydoğu bölümünde hesaplanırken, bu bölümü sırasıyla güneybatı, kuzeydoğu ve kuzeybatı bölümleri gelmektedir.



METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI

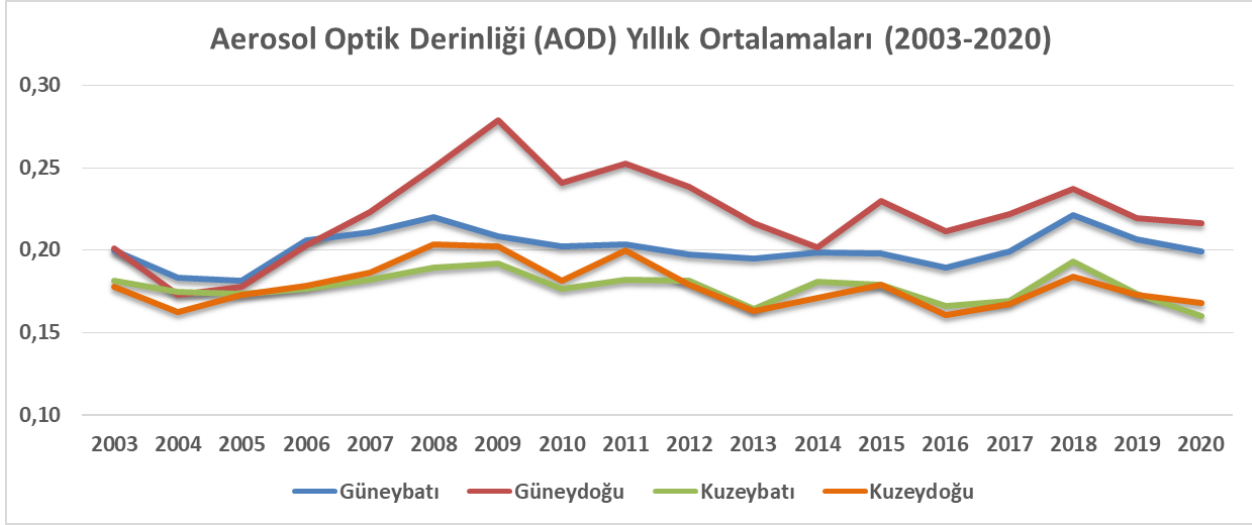


Angstrom Exponent (AE), atmosferdeki partikül maddelerin büyüklükleri ile ters orantılı bir parametredir. Küçük AE değerleri, çöl tozları gibi büyük çaplı parçacıkların ortamda daha baskın olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda; Türkiye'nin güneydoğu bölümü en düşük AE değerleri ile çöl tozu gibi büyük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

Türkiye atmosferinde bulunan aerosoller, 2003-2020 yılları arasında inişli çıkışlı bir trend göstermekte olup, 2010 yılından sonra azalma eğilimindedir. Türkiye'nin güneydoğu bölümü diğer bölümlere göre aerosol yoğunluğu açısından çok daha yüksek bulunmuştur (Şekil-7.a).

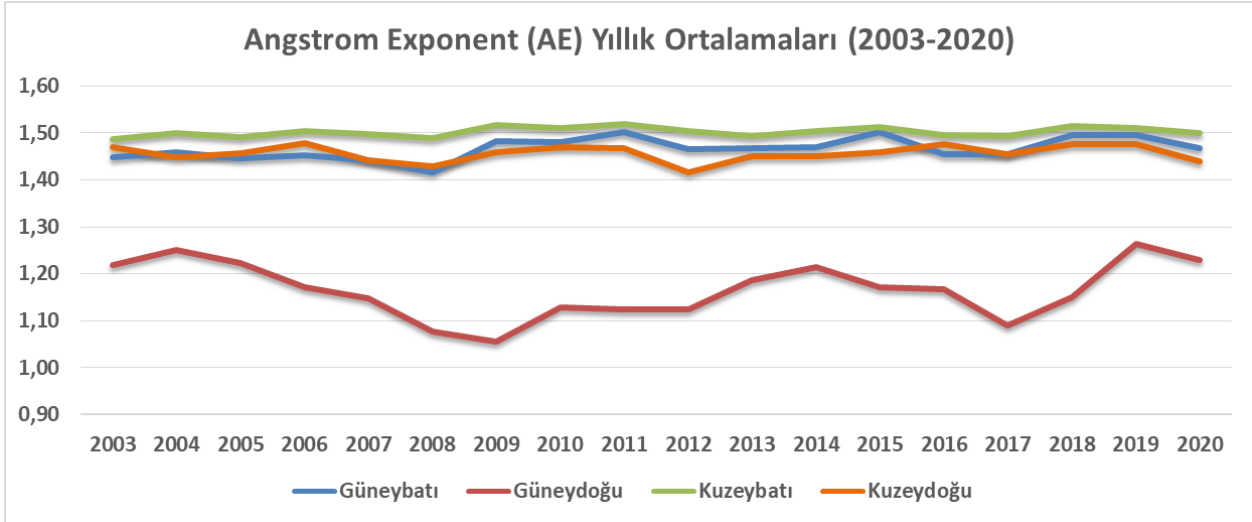
Tablo-4. Çalışma bölgeleri alansal ortalama AOD değerlerinin yıllık değişimi

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
Ortalama	0,2011	0,2218	0,1776	0,1782	1,4668	1,1665	1,5024	1,4566



Şekil-7.a. 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-7.b). 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-7.b. Türkiye yıllık alansal ortalama Angstrom Exponent (AE) değişimleri

Tablo-5 ve Şekil-8.a'da 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.



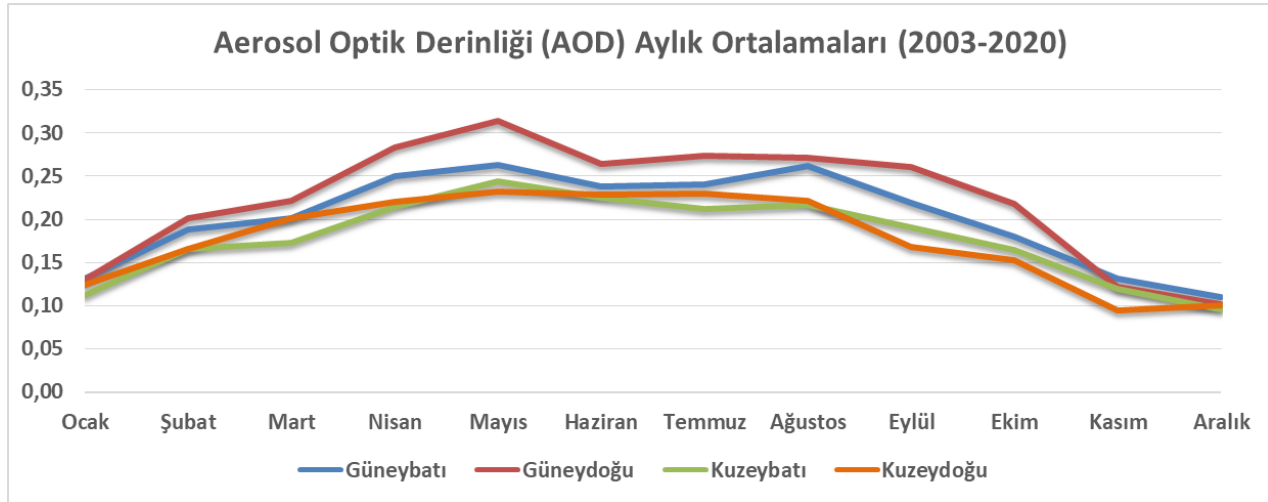
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI



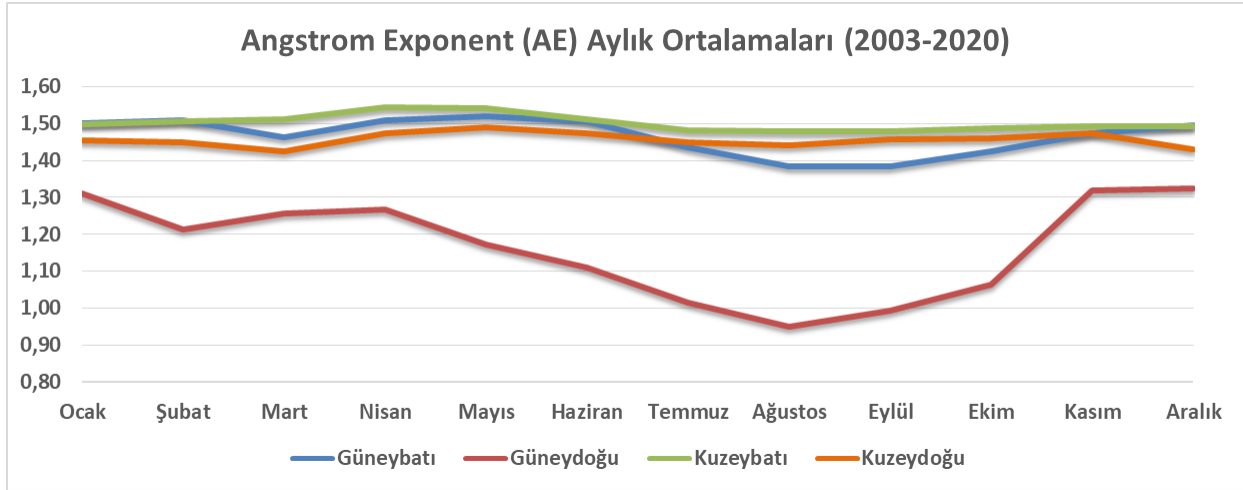
Tablo-5. Çalışma bölgeleri alansal ortalama AOD değerlerinin aylık değişimi

AY	Aerosol Optik Derinliği (AOD)				Angstrom Exponent (AE)			
	GB	GD	KB	KD	GB	GD	KB	KD
Ocak	0,1308	0,1297	0,1126	0,1238	1,5006	1,3097	1,4972	1,4533
Şubat	0,1879	0,2009	0,1652	0,1656	1,5090	1,2142	1,5072	1,4494
Mart	0,2012	0,2220	0,1723	0,2016	1,4622	1,2568	1,5119	1,4251
Nisan	0,2502	0,2835	0,2140	0,2204	1,5088	1,2673	1,5431	1,4730
Mayıs	0,2631	0,3139	0,2442	0,2324	1,5192	1,1729	1,5422	1,4908
Haziran	0,2380	0,2647	0,2249	0,2284	1,5055	1,1110	1,5123	1,4740
Temmuz	0,2402	0,2737	0,2114	0,2299	1,4358	1,0164	1,4811	1,4499
Ağustos	0,2616	0,2716	0,2167	0,2220	1,3834	0,9512	1,4787	1,4404
Eylül	0,2186	0,2601	0,1912	0,1677	1,3843	0,9921	1,4800	1,4578
Ekim	0,1800	0,2185	0,1641	0,1521	1,4243	1,0629	1,4880	1,4606
Kasım	0,1318	0,1223	0,1189	0,0941	1,4724	1,3187	1,4938	1,4735
Aralık	0,1098	0,1011	0,0959	0,1006	1,4963	1,3248	1,4937	1,4308
Ortalama	0,2011	0,2218	0,1776	0,1782	1,4668	1,1665	1,5024	1,4566



Şekil-8.a. 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-8.b). Sonuç olarak, Suriye ve Irak çöllerinden taşınan mineral tozların Türkiye'nin güneydoğusunu etkilediği ve en yoğun toz taşınımı olaylarının ilkbaharda yaşandığı görülmektedir.



Şekil-8.b. 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.

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

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

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

<http://wdcc.mgm.gov.tr/> (Sanal Hava, Toz ve İklim Merkezi)



METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI



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

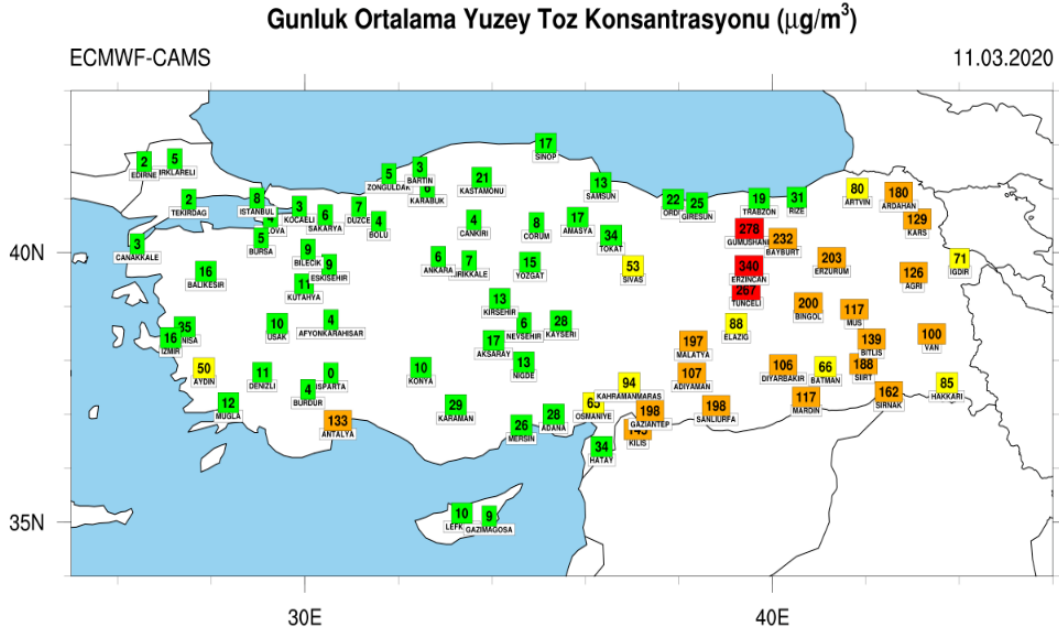
Tahminler

10 Mart 2020, Salı

11 Mart 2020, Çarşamba

12 Mart 2020, Perşembe

Uydu (MSG) Toz Ürünü



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



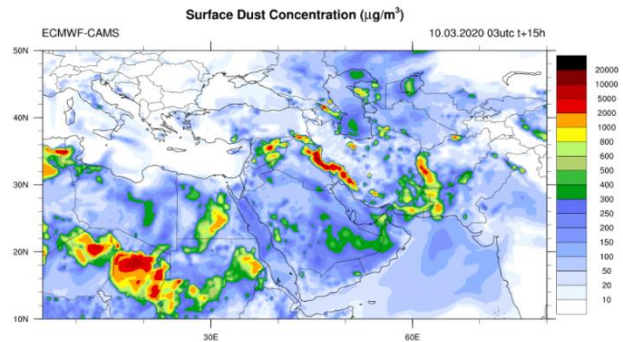
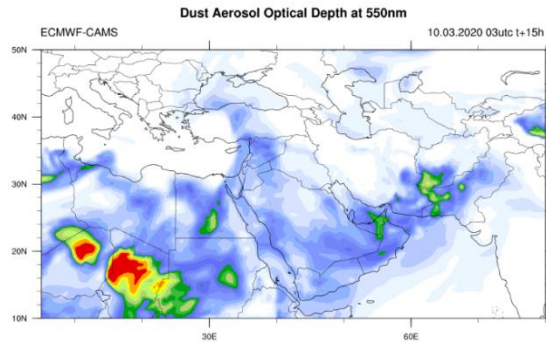
Turkish State
Meteorological Service

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





Kaynaklar

Boloorani A D, Nabavi S O, Azizi R, et al. 2013. *Characterization of Dust Storm Sources in Western Iran Using a Synthetic Approach. Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics. Berlin Heidelberg: Springer, 415–420.*

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., Oğuz K., Öz N., Güllü G., “Doğu Akdeniz Havzasında Kum ve Toz Fırtınalarının (SDS) İncelenmesi”, 10. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 12-14 Eylül 2013, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

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

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

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.*

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.: *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, 2010.*

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

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.*

WMO and UNEP, “*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, 2013.

www.vfa-solutions.com