

Türkiye ve Çevresi Toz Taşınımı
Aerosol Analizleri 2003-2023
Araştırma Raporu



ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



T.C.
ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



Araştırma Raporu

Türkiye ve Çevresi Toz Taşınımı Aerosol Analizleri 2003-2023

Ankara, 2024

YÖNETİCİ ÖZETİ

Dünya ekosistemi için büyük önem taşıyan ve atmosferdeki en baskın aerosol çeşitlerinden biri olan mineral toz partikülleri (çöl tozları), atmosferin üst tabakalarına yükselerek uzun mesafeler kat etmektedir. Görece büyük olan toz parçacıkları kaynak alanlarının yakınlarına çökelerken küçük olanlar binlerce kilometre yol alabilmektedir.

Dünyadaki başlıca toz kaynakları; Afrika (Sahra Çölü), Arabistan Yarımadası, Asya (Gobi ve Taklamakan Çölleri), Güney Amerika ile Avustralya'da bulunan çöllerdir. Sahra bölgesinden atmosfere salınan yıllık toz miktarı, tüm kaynaklardan salınan miktarın yaklaşık yarısını oluşturur. Sahra'dan sonra Orta Doğu ile Orta ve Güney Asya, en önemli diğer toz kaynak alanlarıdır. Afrika ve Orta Doğu kaynaklı tozlar, dünya yıllık toz salımlarının yaklaşık % 70'ini oluşturmaktadır.

Türkiye ise coğrafi konumu itibarı ile dünyadaki en önemli iki toz kaynağı olan Afrika ve Orta Doğu kaynaklı çöl tozlarının etkisi altındadır. Toz taşınımından en fazla etkilenen bölgelerimiz, Suriye ve Irak sınırına yakın yerleşimlerimiz başta olmak üzere, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Konya - Karaman havzasıdır.

Sahra başta olmak üzere çöllerden atmosfere karışan tozların uzun mesafeler kat ederek okyanus ve amazonlara değerli mineralleri taşıdığı ve gübreleme etkisi yaptığı bilinmekle birlikte, kum ve toz fırtınalarının; insan sağlığı, ulaştırma sektörü (hava, kara ve deniz ulaşımı) ve sosyo-ekonomik hayat üzerinde birtakım olumsuz etkilerinin bulunduğu da bir gerçektir. Özellikle kronik sağlık sorunları yaşayan kişiler ile hamileler, yaşlılar ve çocuklar için risk oluşturmaktadır. Toz taşınımının hava kirliliğini artırması nedeniyle; solunum yolu hastalıkları, enfeksiyonlar ve alerjilerde artış gözlenmektedir. Afrika'da yapılan çalışmalarda, özellikle çocuklarda görülen menenjit hastalığını ve çocuk ölümlerini artırdığı tespit edilmiştir (Foreman, 2018).

Dünya Sağlık Örgütü'nün 2022 tarihli raporuna göre, dünya çapında her yıl yaklaşık 7 milyon insan hava kirliliği nedeniyle hayatını kaybetmektedir. Bu kayıpların yaklaşık 4 milyonu dış ortam, 3 milyonu iç ortam hava kirliliğinden kaynaklanmaktadır (WHO, 2022). İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı, Türkiye'de hava kirliliğine bağlı ölümlerin sayısının yıllık yaklaşık 30 bin kişi olduğunu tahmin etmektedir (OECD, 2019). Temiz Hava Hakkı Platformu raporuna göre, 2021 yılında Türkiye'de hava kirliliği nedeniyle en az 42 bin kişi hayatını kaybetmiştir (THHP, 2023).

Kum ve toz fırtınalarının tahmininin ve erken uyarılarının yapılması ve yetkililerin bu doğrultuda önlem almaları, halk sağlığının korunması ve olumsuz etkileriyle mücadele edilebilmesi açısından çok önemlidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) web sayfasında, Türkiye ile Orta Doğu, Kuzey

Afrika ve Batı Asya ülkeleri için 3'er saatlik periyotlarla 3 günlük olarak üretilen toz taşınımı tahminleri ve saatlik uydu toz ürünleri, düzenli olarak yayınlanmaktadır.

Atmosferdeki en yaygın aerosollerden biri olan tozlar, büyük partikül çaplarına bağlı olarak, yüksek Aerosol Optik Derinlik (AOD) ve düşük Angstrom Exponent (AE) - Angstrom Üssü - değerine sahiptir. AOD; atmosferin dikey kolonundaki toplam aerosol miktarının ölçümüdür. Aerosol miktarı ile doğru orantılı olarak artan ve genellikle 0-1 değerleri arasında değişim gösteren, birimsiz bir parametredir. Tozun kolondaki dağılımı ve yoğunluğu hakkında bilgi verir. AE ise, bir aerosolün optik kalınlığının tipik olarak ışığın dalga boyuna nasıl bağlı olduğunu açıklayan bir parametredir. Bu parametre, partikül büyüklüklerinin tespitinde ve değerlendirilmesinde kullanılır. AE, AOD'nin aksine, parçacık boyutu ile ters orantılı değişim gösterir.

2003 – 2023 periyodunda uzun yıllar Aerosol Optik Derinlik (AOD) alansal ortalamaları incelendiğinde; toz kaynak alanlarının yer aldığı Orta Doğu, Afrika ve Batı Asya bölgelerinde, Avrupa ve Türkiye ortalamalarına kıyasla, daha yüksek değerler bulunmuştur. AOD'nin yüksek olduğu bu bölgelerde AE değerleri ise daha düşüktür. Düşük AE ortalamaları; bu bölgelerin atmosferinde, çöl tozları gibi, çapları büyük olan doğal aerosollerin baskın olduğu anlamına gelir.

Türkiye'de aynı periyot için uzun yıllar AOD alansal ortalamaları incelendiğinde ise en yüksek AOD değerlerinin, yani atmosferdeki aerosolün (toz taşınımının) en yoğun Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunduğu; İç Anadolu Bölgesi'nin güneydoğusu ile Akdeniz Bölgesi'nin doğusunun da diğer yoğun aerosol içeren alanlar olduğu görülmektedir. Bu bölgelerin dışında; Iğdır, Ağrı, İzmir ve Ankara ili sınırlarında yine yıllık AOD ortalamaları yüksektir.

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.

Sonuç olarak, çöl tozlarının; başta halk sağlığı olmak üzere olumsuz etkileriyle mücadele edilmesinde erken uyarıların yapılabilmesi en önemli adımlardan biridir. Bu nedenle toz taşınımının izlenmesi, tahmin edilmesi ve detaylı analizleri sonucunda uyarıların yayınlanması, önlem alınmasının sağlanması açısından çok önemlidir. Bu çalışmanın, tozların karakteristik özelliklerinin anlaşılmasında ve toz taşınımının mevcut ve gelecekteki olumsuz etkilerinin azaltılmasında yardımcı olması hedeflenmiştir.

İÇİNDEKİLER

YÖNETİCİ ÖZETİ	1
İÇİNDEKİLER	3
ŞEKİLLER VE TABLOLAR	4
1. TÜRKİYE VE ÇEVRESİ 2003-2023 DÖNEMİ TOZ TAŞINIMI AEROSOL ANALİZLERİ.....	5
1.1. Atmosferde Bulunan Aerosoller (Partikül Maddeler)	5
1.2. Kum ve Toz Fırtınaları	6
1.3. Dünyadaki Toz Kaynak Alanları.....	7
2. GÖZLEM VERİLERİ VE YÖNTEM	10
3. HESAPLAMALAR VE BULGULAR	11
3.1. Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Verilerinin Analizi	11
3.2. Türkiye Toz Taşınımı Aerosol Analiz ve Değerlendirmeleri	16
3.2.1. Aerosollerin Alansal Değişimi	16
3.2.2. Aerosollerin Zamansal Değişimi	17
4. MGM TOZ TAŞINIMI TAHMİNLERİ	22
KAYNAKLAR	23

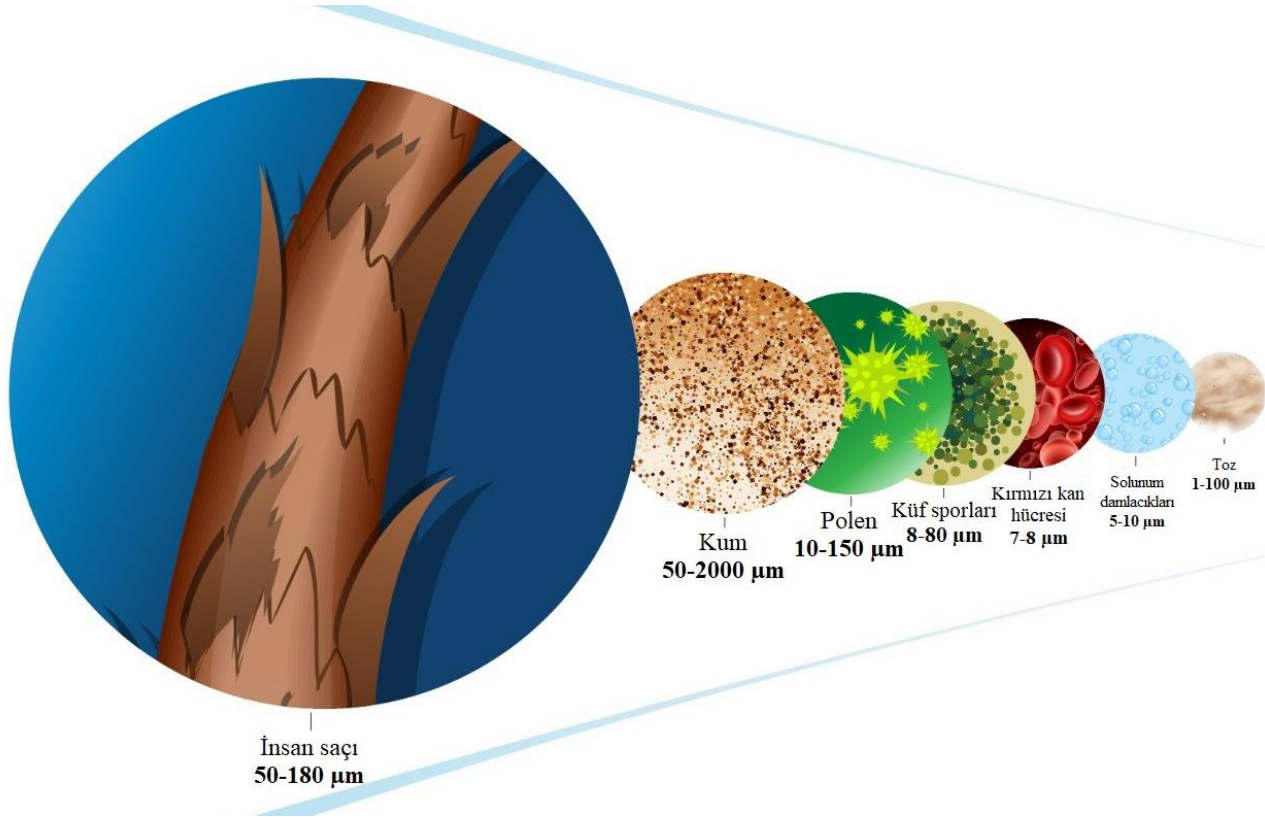
ŞEKİLLER VE TABLOLAR

Şekil 1. Atmosferde Bulunan Aerosollerin Büyüklükleri	5
Şekil 2. Afrika, Orta Doğu ve Asya'daki Önemli Toz Kaynak Alanları (Muhs ve diğerleri, 2014)...	8
Şekil 3. Atmosfere Atılan Toz Miktarları (De Longueville ve diğerleri, 2010)	9
Şekil 4. Büyük Akdeniz Havzası Alanı	10
Şekil 5. Çalışma Bölgelerinin Yıllık Alansal Ortalama AOD Değişimleri	13
Şekil 6. Çalışma Bölgelerinin Yıllık Alansal Ortalama AE Değişimleri.....	13
Şekil 7. Çalışma Bölgelerinin Aylık Alansal Ortalama AOD Değişimleri.....	15
Şekil 8. Çalışma Bölgelerinin Aylık Alansal Ortalama AE Değişimleri.....	15
Şekil 9. Türkiye Uzun Yıllar Aerosol Optik Derinliği (AOD) Ortalamaları	16
Şekil 10. Türkiye Uzun Yıllar Angstrom Exponent (AE) Ortalamaları	17
Şekil 11. AOD Analizi Yapılan Bölgeler.....	17
Şekil 12. Türkiye Yıllık Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Değişimleri.....	19
Şekil 13. Türkiye Yıllık Alansal Ortalama Angstrom Exponent (AE) Değişimleri	19
Şekil 14. Türkiye Aylık Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Değişimleri	20
Şekil 15. Türkiye Aylık Alansal Ortalama Angstrom Exponent (AE) Değişimleri	21
Tablo 1. Çöllerden Atmosfere Atılan Toz Emisyonları (Tanaka ve Chiba, 2006)	9
Tablo 2. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi	11
Tablo 3. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Yıllık Değişimi.....	12
Tablo 4. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Aylık Değişimi.....	14
Tablo 5. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Aylık Değişimi.....	14
Tablo 6. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi	18
Tablo 7. Çalışma bölgeleri alansal ortalama AOD değerlerinin aylık değişimi	20

1. TÜRKİYE VE ÇEVRESİ 2003-2023 DÖNEMİ TOZ TAŞINIMI AEROSOL ANALİZLERİ

1.1 Atmosferde Bulunan Aerosoller (Partikül Maddeler)

Aerosoller (partikül maddeler), atmosferde katı ve sıvı halde asılı olan küçük parçacıklar olarak tanımlanmaktadır. Atmosferdeki partikül maddeler ile insan saçı, kum, polen, küf sporları, kırmızı kan hücresi, solunum damlacıklarının boyutları Şekil 1’de kıyaslanmıştır.



Şekil 1. Atmosferde Bulunan Aerosollerin Büyüklükleri (World Air Quality Report, 2022)

Atmosferde bulunan aerosollerin, yoğuşma çekirdeği olarak su buharının üzerinde yoğuşması ile bulutların oluşumuna katkısı olduğu bilinmektedir. Bu küçük parçacıklar, yağmur ve kar yağışı şeklinde yeryüzüne ulaşırlar.

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 tanımlanır.

Atmosferdeki partikül maddeler; kaynakları, büyüklükleri, çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleriyle, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Antropojenik aerosoller, genellikle, doğal kaynaklardan bırakılanlara göre çok daha küçüktür ve insan sağlığı açısından daha zararlıdır.

1.2. Kum ve Toz Fırtınaları

Atmosferdeki en baskın aerosol çeşitlerinden biri olan mineral toz partikülleri (çöl tozları), dünya ekosistemi için büyük önem taşır. Toz taşınımının temel nedeni, kuraklık ve çölleşme olarak bilinmektedir. Çöllerden kalkan tozlar, atmosferin üst tabakalarına yükselerek uzun mesafeler kat eder. Görece daha büyük toz parçacıkları kaynak alanlarının yakınlarında çökelirken, 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 ile birlikte nadiren de olsa Orta Asya’dan taşınan çöl tozlarına maruz kalınmasına 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, 2019).

Yapılan çalışmalarda, ülkemize taşınan çöl kökenli tozların miktarı 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 (Şengün ve Kiranşan, 2012).

Avrupa Birliği (AB) tam üyelik sürecinde, kentsel hava kalitesinin iyileştirilmesi ve mevzuatın AB normlarına getirilmesi çalışmaları kapsamında, Türkiye’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 gerekir. Sahra ve Orta Doğu coğrafyasından taşınan tozlar, Akdeniz ülkelerinde PM10 standartlarının sağlanmasını zorlaştırmaktadır.

AB normlarına göre; eğer sınır ötesi toz taşınımı gibi yerleşim birimi dışından kaynaklanan doğal bir PM10 kaynağının 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 Orta Doğu başta olmak üzere, Türkiye dışından ve içinden gerçekleşecek toz taşınımının izlenmesi, tahmin edilmesi ve miktarlarının hesaplanması büyük önem taşımaktadır (Dündar, 2019).

Kuraklık ve olağanüstü kuraklık gibi gelecekte yaşanacak ani iklim olaylarında tozun etkisi belirsizdir. Bunun nedeni ise kısmen atmosferdeki toz emisyonlarının ve toz yükleme miktarlarının iklim değişikliğine olan tepkisinin oldukça belirsiz olmasıdır (Tegen ve Schepanski, 2018; Webb ve Pierre, 2018). Gelecekte çöl tozlarının iklim değişikliğine etkisinin tahmin edilmesinde yaşanan zorluğun altında ise bu tozların; emisyonların, arazi kullanımı/arazi örtüsü, kuraklaşma, iklim

değişikliğine ekolojik tepkiler vb. arazi özelliklerinin 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).

Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), başlıca iklim değişkenlerinden biri olan atmosferik aerosollerin önemli bir bileşeni olarak tozu kabul etmektedir. Boyutlarına, türlerine ve konumlarına bağlı olarak doğal ve antropojenik aerosoller, güneş radyasyonunu soğurarak ve yansıtarak dünyanın radyasyon bütçesini etkilemektedir (NEO, 2024). IPCC'nin güncel iklim öngörülerine göre, kuraklık hadisesinin sıklığının ve şiddetinin artmasıyla birlikte, kum ve toz fırtınalarının daha yoğun yaşanması beklenmektedir.

IPCC (2021)'ye göre küresel ortalama sıcaklıklar 1°C'ı aşarken Türkiye'de bu artış 1.5°C'ı geçmiştir. Rapor; ülkemizin tümü için sanayi öncesi döneme göre 5°C'a varan sıcaklık artışı ve yine ülkenin güney ve batı kesimleri için %30'lara varan yağış azalması öngörmektedir.

Literatürde, özellikle demir içeriği açısından zengin olan çöl tozlarının okyanus ve deniz yaşamı ile karasal yaşam üzerinde olumlu etkileri olduğu belirtilmektedir (Rodríguez ve diğerleri, 2023). Kum ve toz fırtınalarına maruz kalan insanların günlük yaşamı ise olumsuz yönde etkilenmektedir. Solunum yolu ve kalp rahatsızlığı bulunan kişiler ile yaşlılar ve çocukların, bu olaylardan en fazla etkilenen kesim olduğu bilinmektedir. Afrika'da yapılan çalışmalar, çocuklarda görülen menenjit vakaları ile toz fırtınaları arasında önemli bir bağ olduğunu ortaya koymuştur (Perez, 2010).

Toz fırtınaları, görüş mesafesini düşürerek hava ve deniz ulaşımını da olumsuz yönde etkiler. Toz kaynaklarına yakın bölgelerde, fırtınaların yaşandığı dönemlerde havaalanları kapatılmakta, karayolu ulaşımında ise büyük sorunlar yaşanmaktadır.

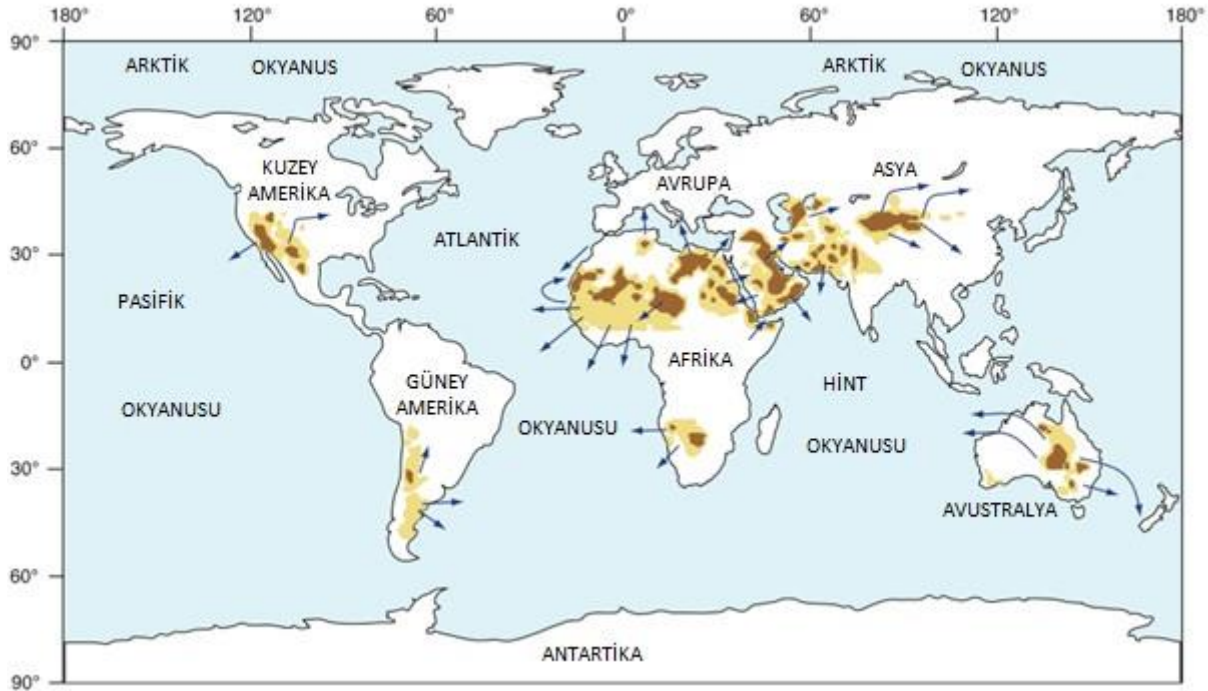
1.3. Dünyadaki Toz Kaynak Alanları

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

Dünya'daki başlıca toz kaynak alanları; Afrika (Sahra Çölü), Arabistan Yarımadası, Asya (Gobi - Taklamakan Çölleri) ile Güney Amerika ve Avustralya'da bulunan çöllerdir. Kuzey Afrika (Sahra) bölgesi, dünyanın ve özellikle kuzey yarım kürenin temel ve en önemli toz kaynağıdır (Awadh, 2023).

Dünya'dan 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 Orta Doğu ile Orta ve Güney Asya'dır. Afrika ve Orta Doğu bölgelerinden kaynaklanan tozlar birlikte değerlendirildiğinde, Dünyadaki 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'nın en önemli birincil toz kaynakları arasında Arabistan Yarımadası ile Suriye, Irak ve İran'ın yer aldığı alan (Şekil 2) kabul edilmektedir (Prospero ve diğerleri 2002; De Longueville ve diğerleri, 2010; Bolorani ve diğerleri, 2013; Muhs ve diğerleri, 2014; WMO and UNEP, 2013).



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

Tanaka ve Chiba (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).

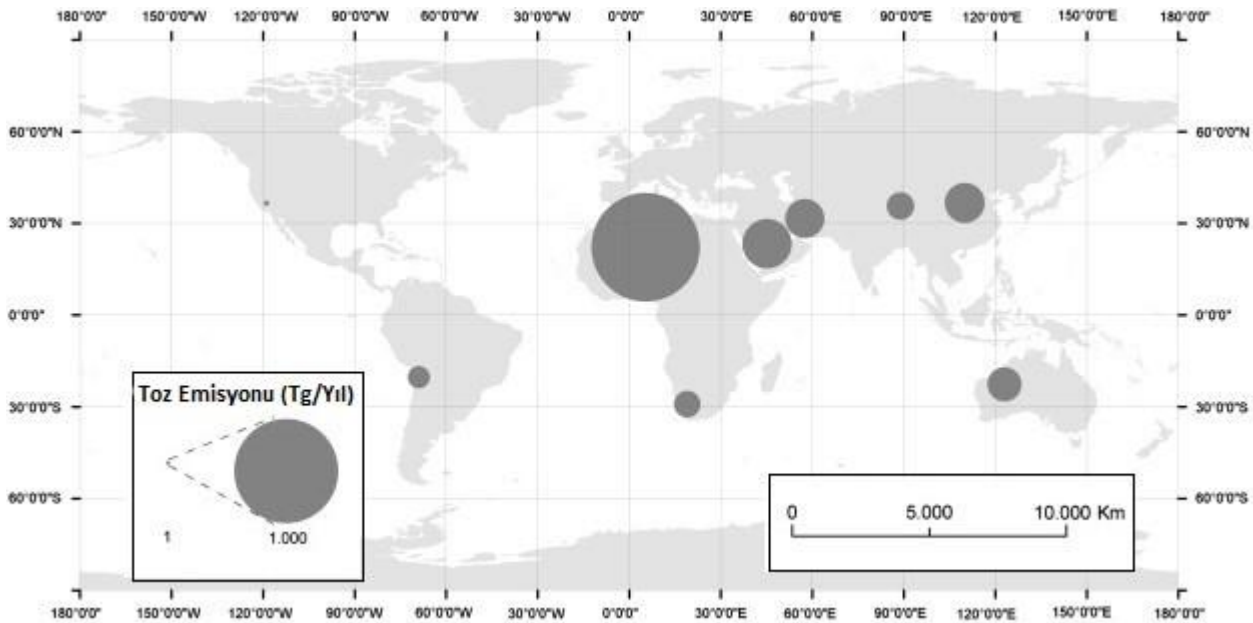
Bu çalışmada yapılan hesaplamalara göre; yılda toplam 1877 Tg (\approx 1.9 milyar ton) toz, çöllerden atmosfere karışmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Çöllerden Atmosfere Atılan Toz Emisyonları (Tanaka ve Chiba, 2006)

	Emisyon (Tg/yıl)	Kuru Çökme (Tg/yıl)	Islak Çökme (Tg/yıl)	Yük (Tg)	Kuru Yaşam Süresi (Gün)	Islak Yaşam Süresi (Gün)	Toplam Yaşam Süresi (Gün)
Kuzey Afrika	1087	723 (67%)	363 (33%)	9.09	4.6	9.1	3.1
Arap Yarımadası	221	129 (58%)	92 (42%)	1.65	4.7	6.6	2.7
Merkez Asya	140	94 (67%)	46 (33%)	1.05	4.1	8.3	2.7
Batı Çin	68	39 (57%)	29 (43%)	0.42	3.9	5.2	2.2
Doğu Çin	146	90 (62%)	56 (38%)	0.67	2.7	4.3	1.7
Kuzey Amerika	2	1 (59%)	1 (41%)	0.01	3.9	5.5	2.3
Güney Amerika	44	20 (45%)	24 (55%)	0.30	5.5	4.6	2.5
Güney Afrika	63	41 (64%)	23 (36%)	0.47	4.2	7.6	2.7
Avustralya	106	65 (61%)	41 (39%)	0.92	5.2	8.2	3.2
Toplam	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 ila 2.000 Tg arasında (1-2 milyar ton) değişmektedir. Yapılan çalışmalarda; atmosfere salınan tozların % 51 ila % 69 oranında Kuzey Afrika'dan kaynaklandığı belirtilmektedir. Arabistan Yarımadası'ndan (Orta Doğu 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.



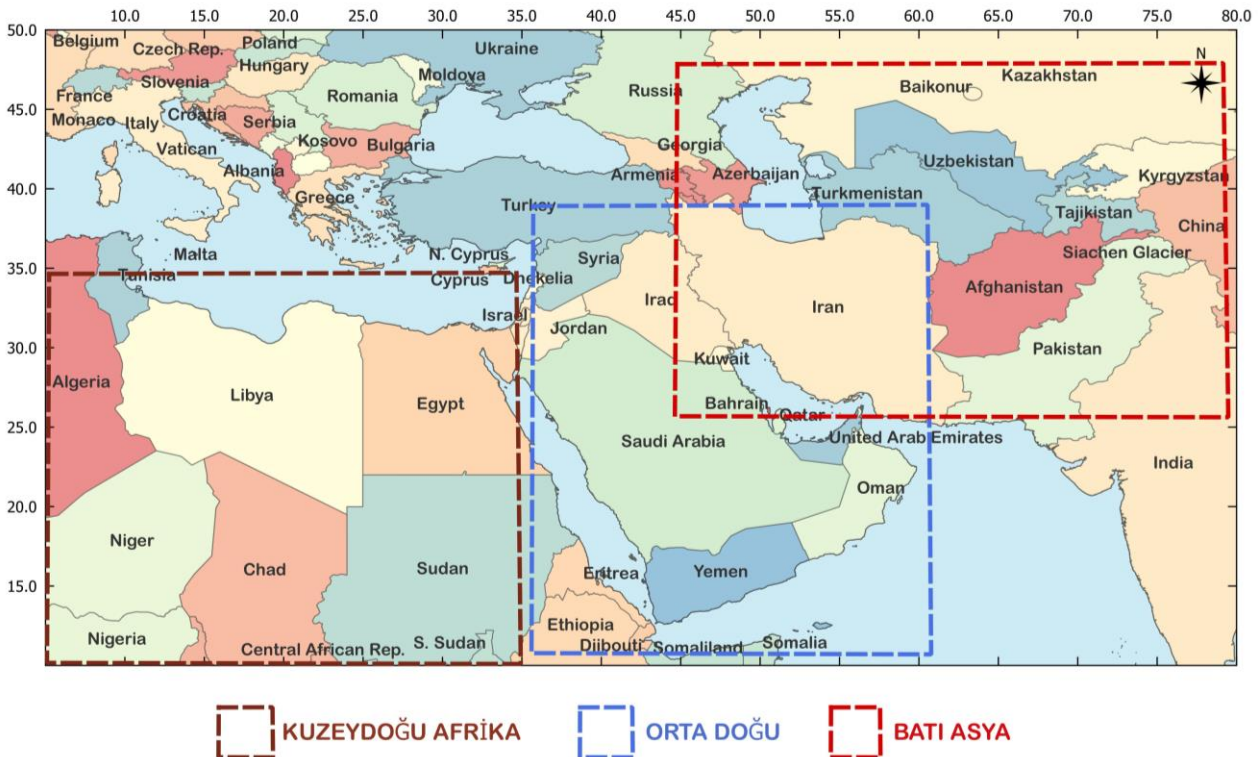
Şekil 3. Atmosfere Atılan Toz Miktarları (De Longueville ve diğerleri, 2010)

2. GÖZLEM VERİLERİ VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada, NASA Aqua uydusu üzerinde bulunan MODIS cihazına ait Aerosol Optik Derinliği (AOD) ve Angstrom Exponent (AE) verileri (ver 6.1) kullanılmış olup 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 Aerosol Optik Derinlik (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, NASA'nın internet sitesinden (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) temin edilen AOD ve AE verilerinin analizi 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.



Şekil 4. Büyük Akdeniz Havzası Alanı

3. HESAPLAMALAR VE BULGULAR

3.1. Alansal Ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) Verilerinin Analizi

MODIS - Aqua uydusundan 2003-2023 yılları için elde edilen 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 ortalama değerlerinin bölgelerde yüksekten 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 ise çöllerden atmosfere yayılan tozlardır.

2007 yılından itibaren tüm bölgelerde başlayan AOD artışının, 2012 yılından itibaren azalma eğiliminde olduğu, 2018 yılında tekrar artış yaşandıktan sonra yine 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. 2023 yılında ise, tüm bölgelerde AOD ortalamalarında bir azalma eğilimi görülmüştür (Şekil 5).

Tablo 2. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi

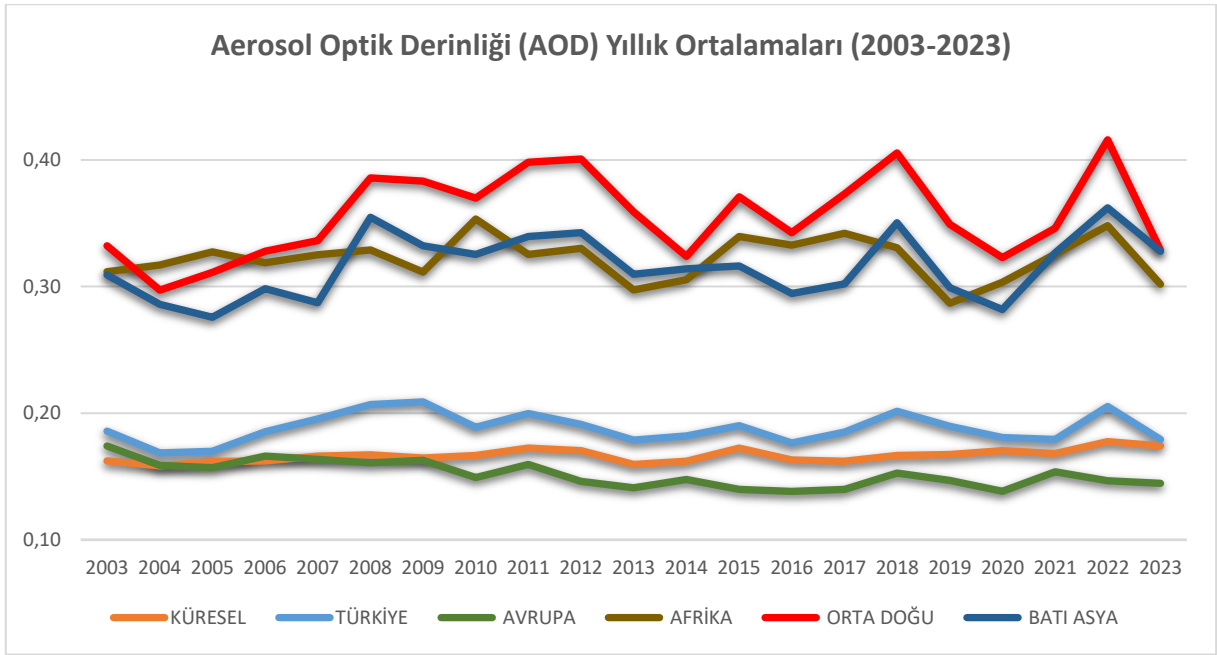
YIL	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
2003	0,1622	0,1858	0,1741	0,3119	0,3323	0,3093
2004	0,1583	0,1686	0,1589	0,3170	0,2972	0,2859
2005	0,1619	0,1698	0,1571	0,3274	0,3112	0,2758
2006	0,1622	0,1853	0,1660	0,3187	0,3279	0,2984
2007	0,1660	0,1954	0,1636	0,3251	0,3362	0,2872
2008	0,1670	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
2023	0,1741	0,1793	0,1445	0,3020	0,3286	0,3278
Ortalama	0,1664	0,1880	0,1518	0,3220	0,3562	0,3160

MODIS - Aqua uydusundan 2003-2023 yılları için elde edilen alansal ortalama Angstrom Exponent (AE) verilerine göre (Tablo 3 ve Şekil 6); Türkiye, Avrupa ve Küresel 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.

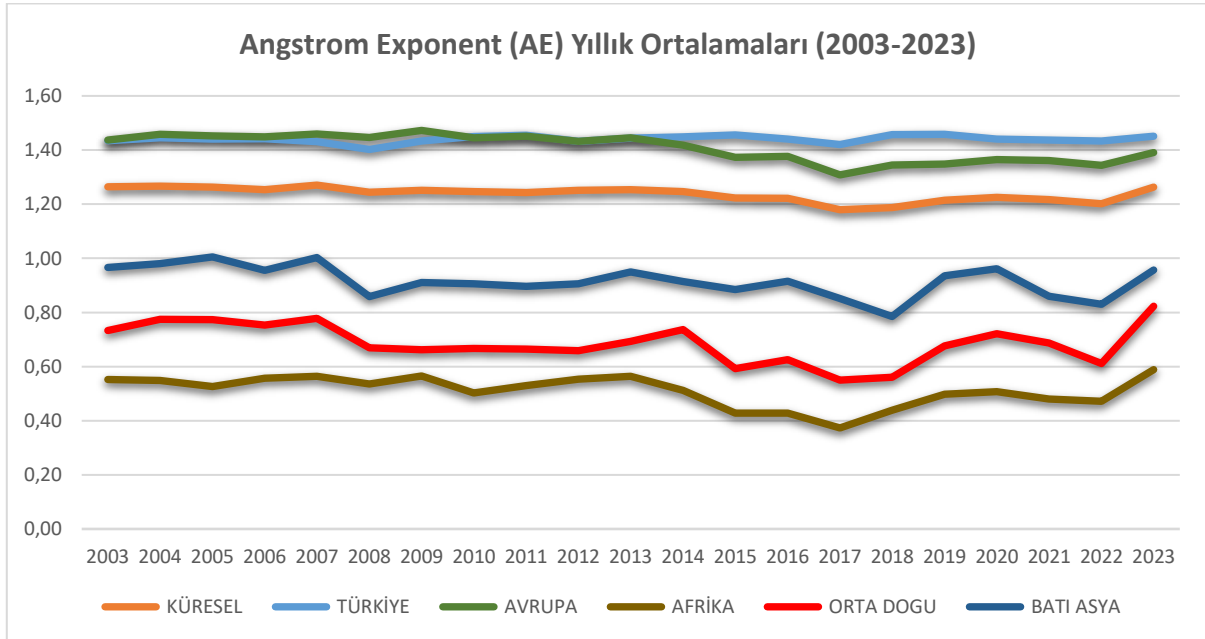
Tablo 3. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Yıllık Değişimi

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
2023	1,2631	1,4507	1,3910	0,5887	0,8230	0,9567
Ortalama	1,2375	1,4406	1,4084	0,5106	0,6862	0,9158



Şekil 5. Çalışma Bölgelerinin Yıllık Alansal Ortalama AOD Değişimleri

Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle Afrika ve özellikle Orta Doğu kaynaklı çöl tozlarının etkisi altında kaldığından yıllara göre bu bölgelerde AOD değerlerinde yaşanan artış ve azalışlardan doğrudan etkilenmektedir. Şekil 5'te de görüldüğü üzere Afrika ve Orta Doğu'da 2023 yılında AOD miktarında yaşanan keskin düşüş Küresel ölçekte ortalamaları çok değiştirmese dahi Türkiye'de de gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Çalışma Bölgelerinin Yıllık Alansal Ortalama AE Değişimleri

Aylık alansal ortalama AOD değerleri (Tablo 4 ve Şekil 7) incelendiğinde; Orta Doğu 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 kiŐ döneminde ortalamaların azaldığı tespit edilmiştir.

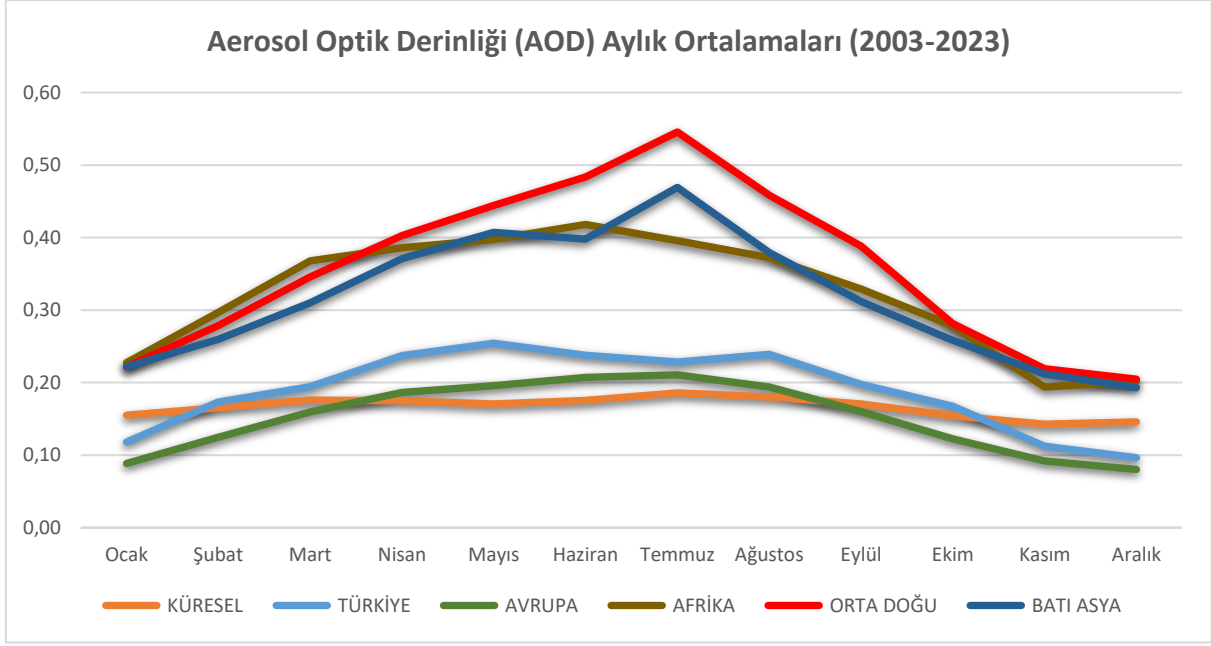
Tablo 4. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Aylık Değişimi

AY	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
Ocak	0,1550	0,1179	0,0886	0,2274	0,2217	0,2217
Şubat	0,1654	0,1733	0,1248	0,2968	0,2789	0,2599
Mart	0,1759	0,1943	0,1596	0,3680	0,3458	0,3103
Nisan	0,1748	0,2373	0,1863	0,3860	0,4029	0,3711
Mayıs	0,1707	0,2543	0,1955	0,3975	0,4444	0,4074
Haziran	0,1755	0,2378	0,2070	0,4181	0,4834	0,3977
Temmuz	0,1858	0,2285	0,2107	0,3956	0,5456	0,4692
Ağustos	0,1804	0,2391	0,1938	0,3722	0,4583	0,3793
Eylül	0,1706	0,1975	0,1601	0,3291	0,3883	0,3117
Ekim	0,1544	0,1675	0,1225	0,2785	0,2813	0,2585
Kasım	0,1427	0,1121	0,0919	0,1939	0,2192	0,2120
Aralık	0,1459	0,0964	0,0802	0,2014	0,2048	0,1931
Ortalama	0,1664	0,1880	0,1518	0,3220	0,3562	0,3160

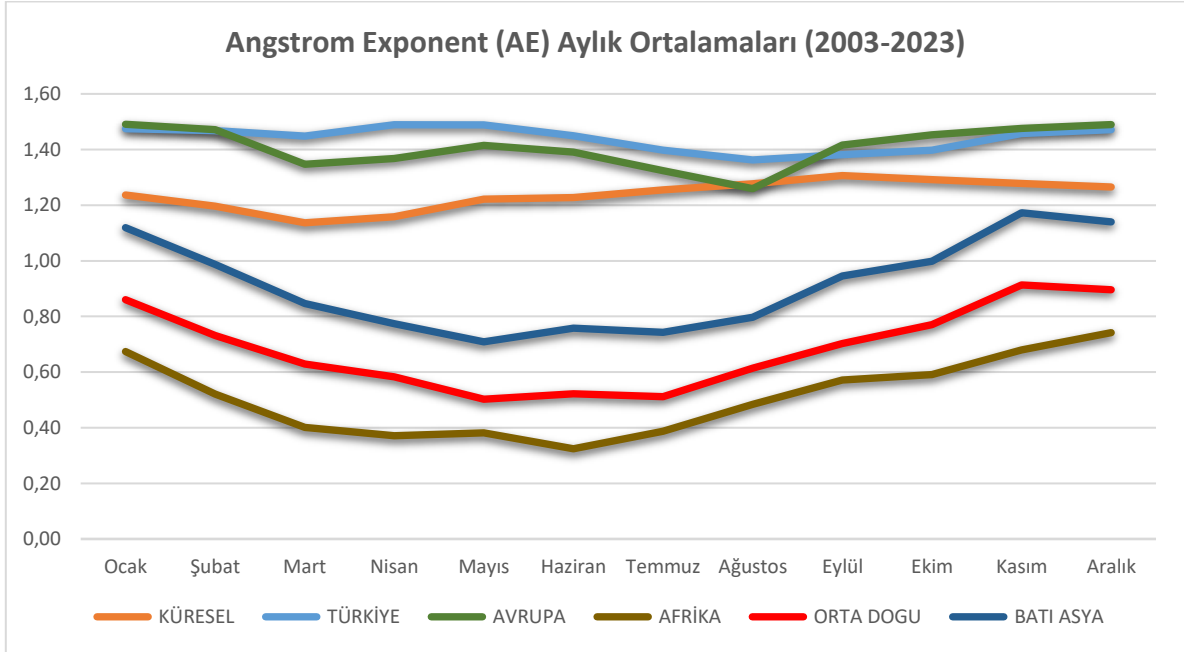
Aylık alansal Angstrom Exponent (AE) ortalamaları (Tablo 5 ve Şekil 8) analiz edildiğinde; Avrupa ve Türkiye için hesaplanan aylık ortalamaların yüksek olduğu grlmŐtur. Çöl tozlarının daha etkin olduğu Afrika, Orta Doğu ve Batı Asya bölgelerinde ise Angstrom Exponent (AE) ortalamaları, beklendiği Şekilde daha düşük hesaplanmıştır.

Tablo 5. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Aylık Değişimi

AY	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
Ocak	1,2370	1,4750	1,4908	0,6743	0,8598	1,1195
Şubat	1,1960	1,4677	1,4717	0,5212	0,7312	0,9864
Mart	1,1366	1,4488	1,3466	0,4008	0,6294	0,8459
Nisan	1,1587	1,4891	1,3675	0,3712	0,5832	0,7745
Mayıs	1,2210	1,4890	1,4151	0,3818	0,5024	0,7087
Haziran	1,2271	1,4494	1,3912	0,3242	0,5218	0,7579
Temmuz	1,2545	1,3979	1,3241	0,3869	0,5114	0,7427
Ağustos	1,2765	1,3625	1,2594	0,4837	0,6139	0,7967
Eylül	1,3064	1,3810	1,4159	0,5709	0,7022	0,9459
Ekim	1,2923	1,3979	1,4530	0,5905	0,7703	0,9979
Kasım	1,2777	1,4572	1,4764	0,6799	0,9132	1,1727
Aralık	1,2658	1,4712	1,4896	0,7417	0,8961	1,1404
Ortalama	1,2375	1,4406	1,4084	0,5106	0,6862	0,9158



Şekil 7. Çalışma Bölgelerinin Aylık Alansal Ortalama AOD Değişimleri



Şekil 8. Çalışma Bölgelerinin Aylık Alansal Ortalama AE Değişimleri

3.2. Türkiye Toz Taşınımı Aerosol Analizi ve Değerlendirmeleri

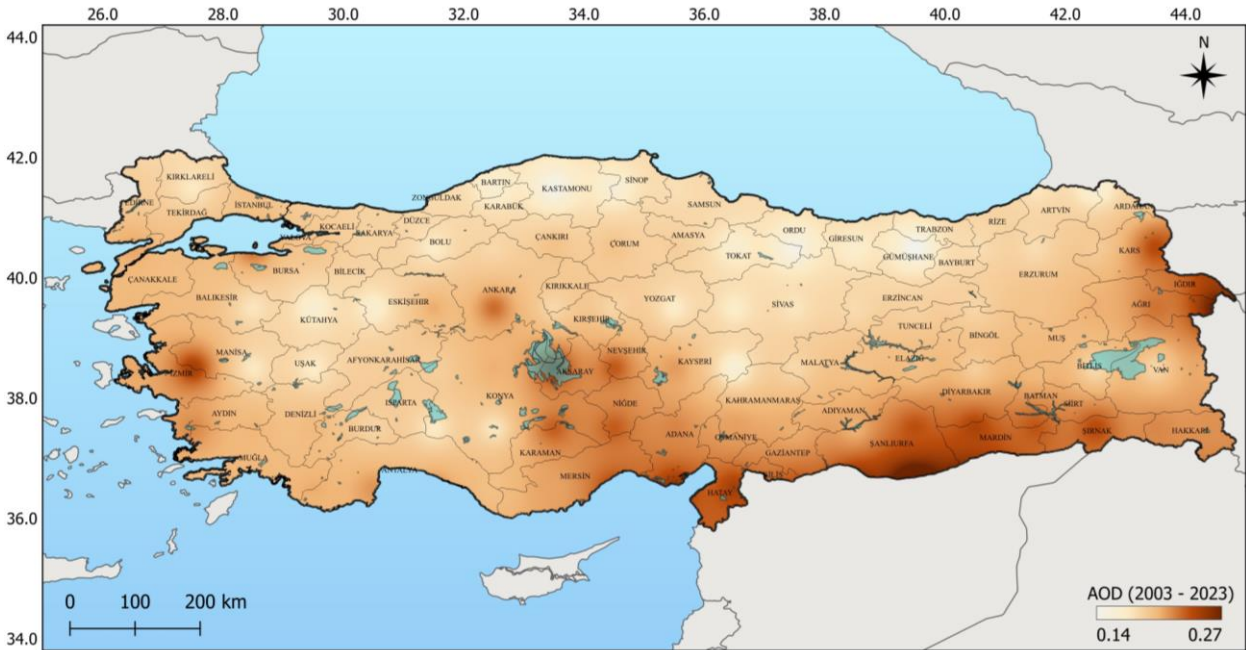
3.2.1. Aerosollerin Alansal Değişimi

Türkiye atmosferindeki 2003-2023 periyodu için uzun yıllar alansal ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) değerleri incelendiğinde; Türkiye'nin güney doğusunun yoğun aerosol miktarına (toz taşınımına) maruz kaldığı görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi dışında, İç Anadolu Bölgesi'nin güney doğusu ve Akdeniz Bölgesi'nin doğusu, atmosferdeki aerosollerin en yoğun olduğu alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölgelerin dışında; uzun yıllar AOD ortalamalarının Iğdır, Kars, Ağrı, İzmir ve Ankara il sınırları içinde de yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir (Şekil 9).

Angstrom Exponent (AE), atmosferdeki partikül maddelerin büyüklükleri ile ters orantılı bir parametredir. Şekil 10'de verilen Türkiye alansal ortalama AE haritasında, AOD değerlerinin yüksek olduğu bölgelere benzer şekilde, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi'nin iç ve güney kesimlerinde büyük çaplı aerosollerin (çöl tozları) daha baskın olduğu söylenebilir.

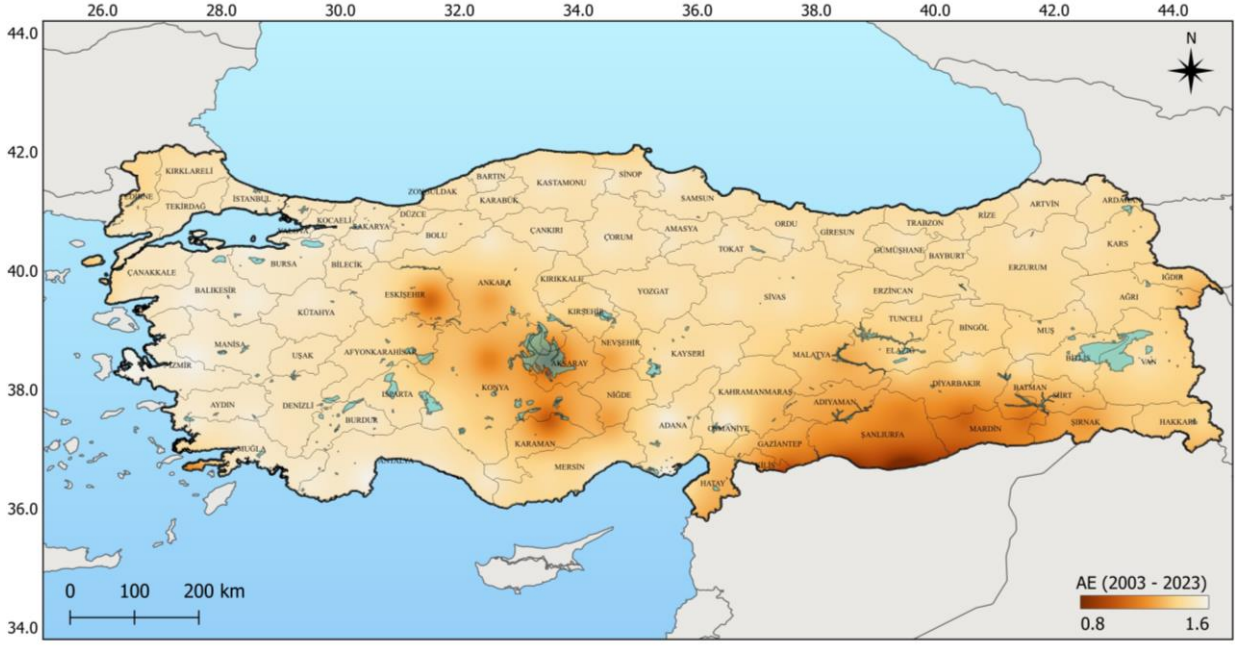
Diğer taraftan, AOD ortalamalarının yüksek olduğu Iğdır ve İzmir civarında AE ortalamaları da yüksek olduğu için; bu bölgelerde, büyük çaplı toz parçacıklarından ziyade daha küçük çaplara sahip insan kaynaklı endüstriyel (antropojenik) emisyonların baskın olduğu şeklinde bir çıkarım yapmak mümkündür.

Türkiye Uzun Yıllar Aerosol Optik Derinliği (AOD) Ortalamaları



Şekil 9. Türkiye Uzun Yıllar Aerosol Optik Derinliği (AOD) Ortalamaları

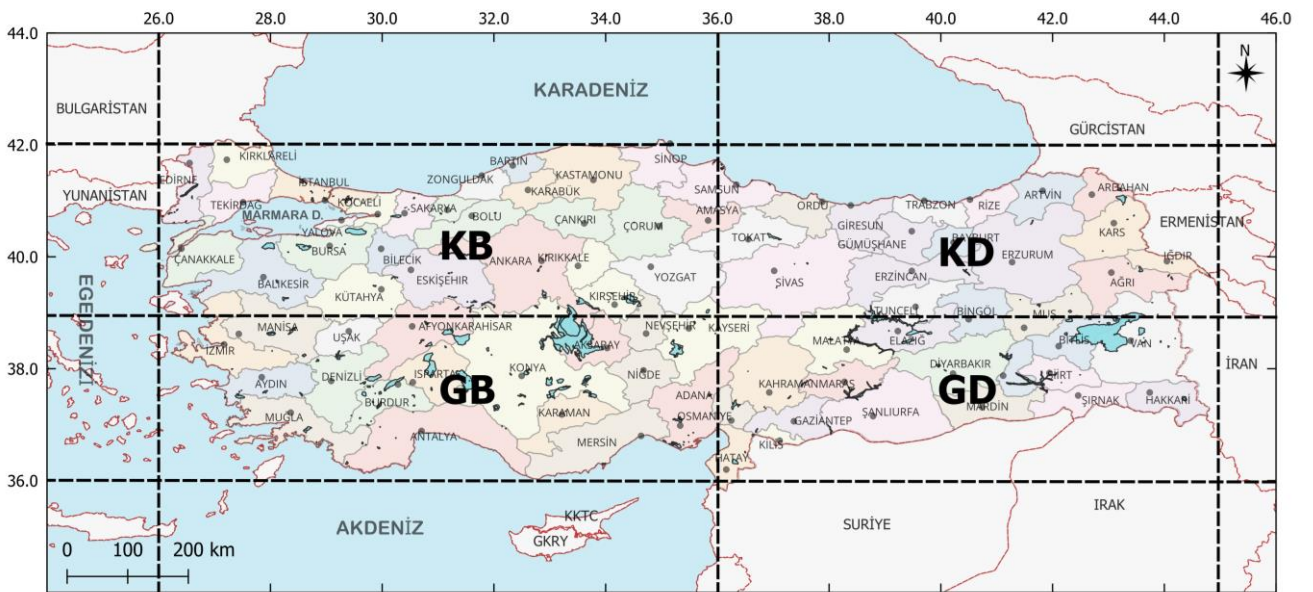
Türkiye Uzun Yıllar Angstrom Exponent (AE) Ortalamaları



Şekil 10. Türkiye Uzun Yıllar Angstrom Exponent (AE) Ortalamaları

3.2.2. 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 alansal Aerosol Optik Derinliği (AOD) ve Angstrom Exponent (AE) ortalama değerleri analiz edilmiştir. Bölgelere göre yıllık alansal AOD ve AE 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 takip etmektedir.



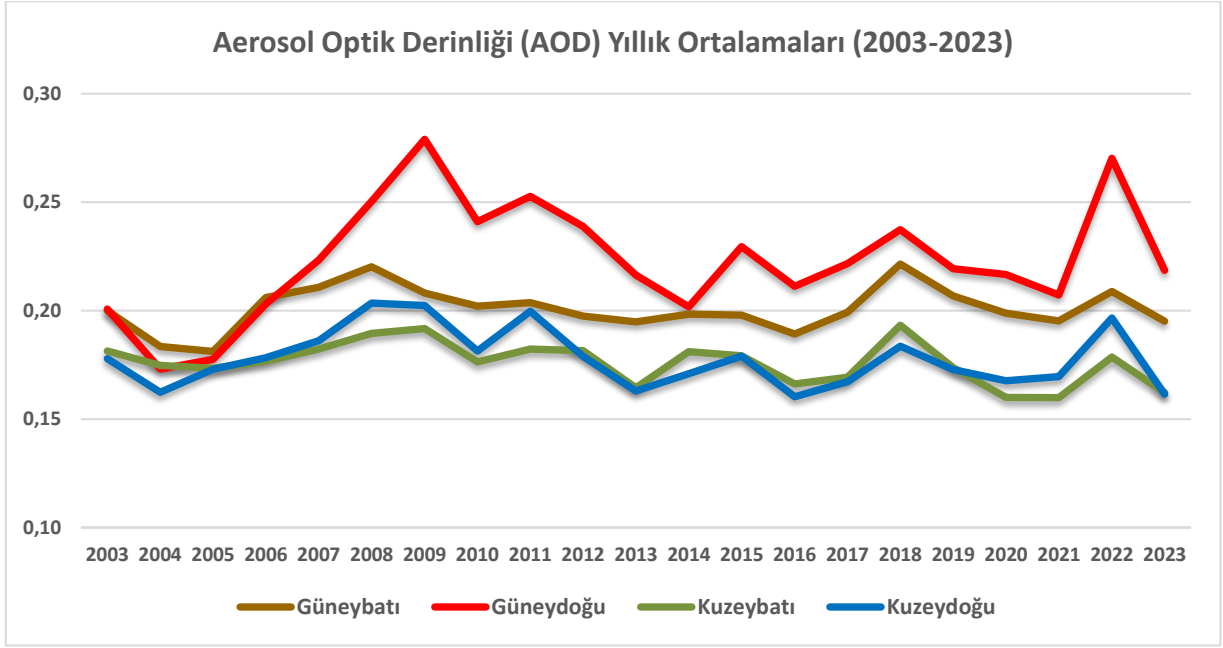
Şekil 11. AOD ve AE Analizi Yapılan Bölgeler

Türkiye'nin güneydoğu bölümünün, en düşük AE değerleri ile çöl tozu gibi büyük aerosollerin atmosferde daha baskın bulunduğu bölge olduğu tespit edilmiştir. Güneydoğu bölümü dışında analizi yapılan diğer bölümlerin yıllık alansal AE ortalamaları ise birbirine yakın değerlerde bulunmuştur.

Türkiye atmosferinde bulunan aerosoller, 2003-2023 yılları arasında inişli çıkışlı bir eğilim gösterir; 2010 yılından sonra azalma eğiliminde iken 2022 yılında tekrar artma eğilimine geçmiştir; 2023 yılı itibariyle aerosol optik derinliği değerleri yine azalma göstermiştir. (Şekil 12).

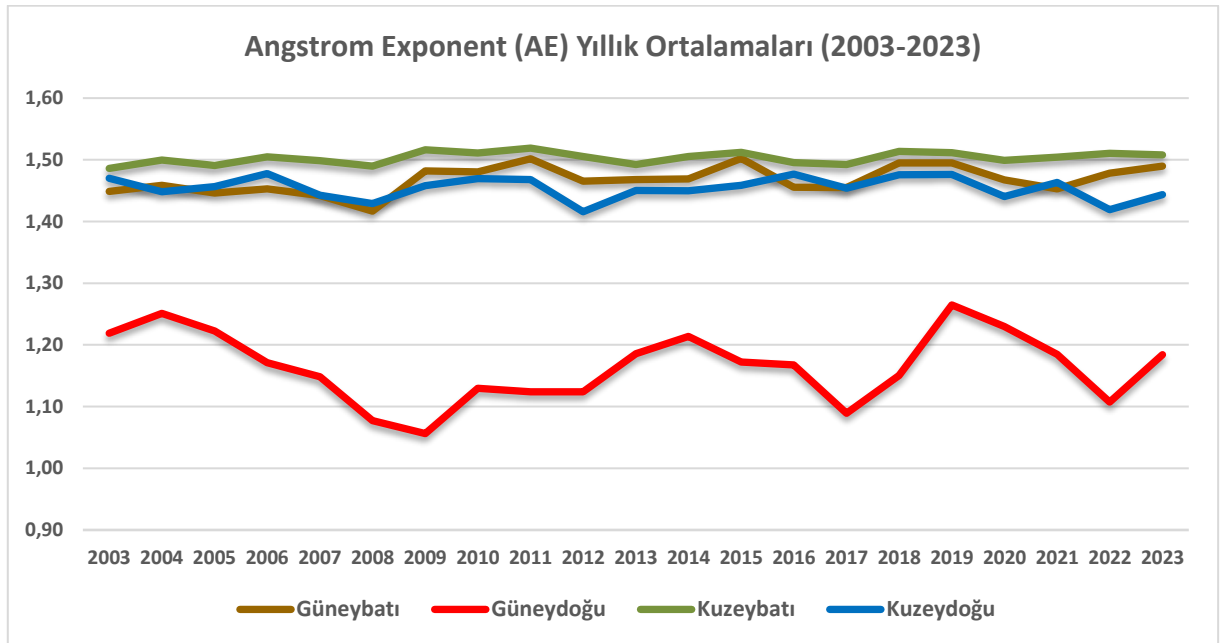
Tablo 6. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi

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
2023	0,1951	0,2186	0,1622	0,1615	1,4897	1,1842	1,5080	1,4438
Ortalama	0,2009	0,2233	0,1761	0,1779	1,4678	1,1654	1,5032	1,4525



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

Bölgelere göre yıllık Angstrom Exponent (AE) ortalamaları analiz edildiğinde; güneydoğu bölümündeki AE ortalamalarının diğer bölgelere göre çok düşük ve dolayısıyla çöl tozları gibi büyük çaplı parçacıkların da atmosferde daha baskın olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin diğer bölümlerinde ise yıllık AE ortalama değerleri birbirine yakındır (Şekil 13).



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

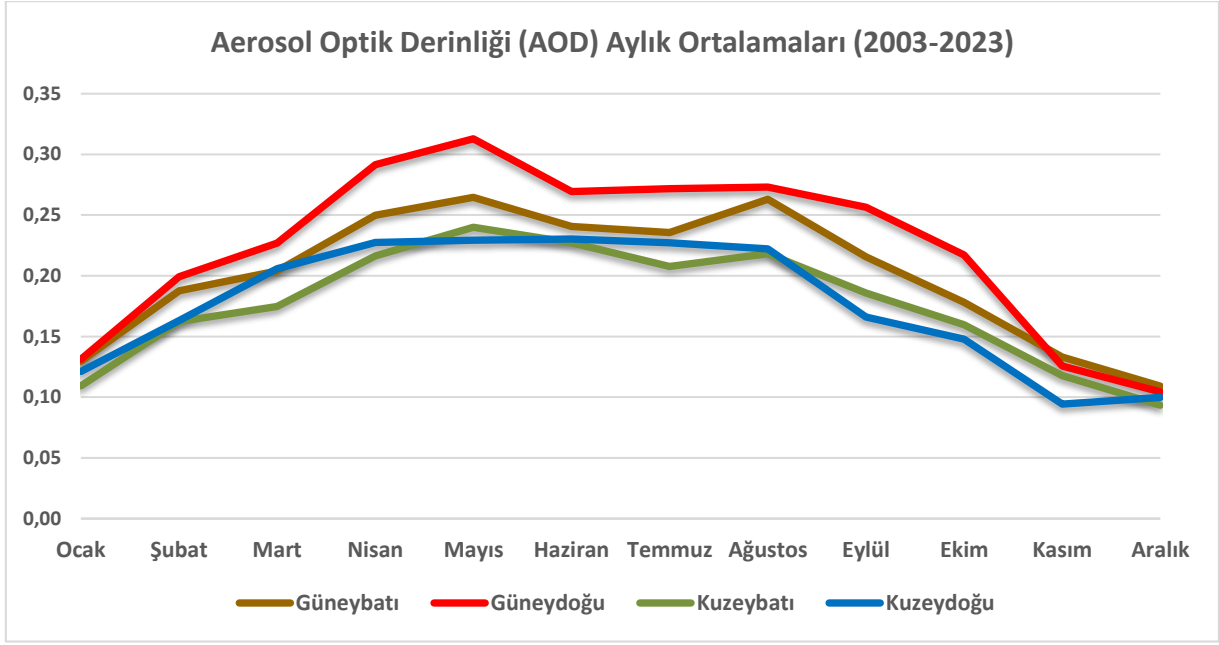
Tablo 7 ve Şekil 14’de verilen aylık alansal AOD ortalama değerleri incelendiğinde; Şubat ayından itibaren düzenli olarak artan aerosollerin genel olarak Mayıs ayında en yüksek değere ulaştığı, bu aydan itibaren düzenli şekilde azalarak yılsonunda en düşük seviyelere indiği görülmektedir. Başka bir deyişle, atmosferdeki aerosol miktarının en yüksek olduğu dönem ilkbahar mevsimidir (Mart, Nisan ve Mayıs). Türkiye’nin güneydoğu bölümündeki aylık AOD ortalamaları, yılın tamamında diğer bölgelerden daha yüksek hesaplanmıştır.

Bölgelere göre yıllık Angstrom Exponent (AE) ortalamaları incelendiğinde; diğer bölgelere kıyasla güneydoğu bölümünde yılın tamamında, AE ortalamalarının daha düşük ve büyük çaplı aerosollerin atmosferde daha baskın oldukları tespit edilmiştir (Şekil 15).

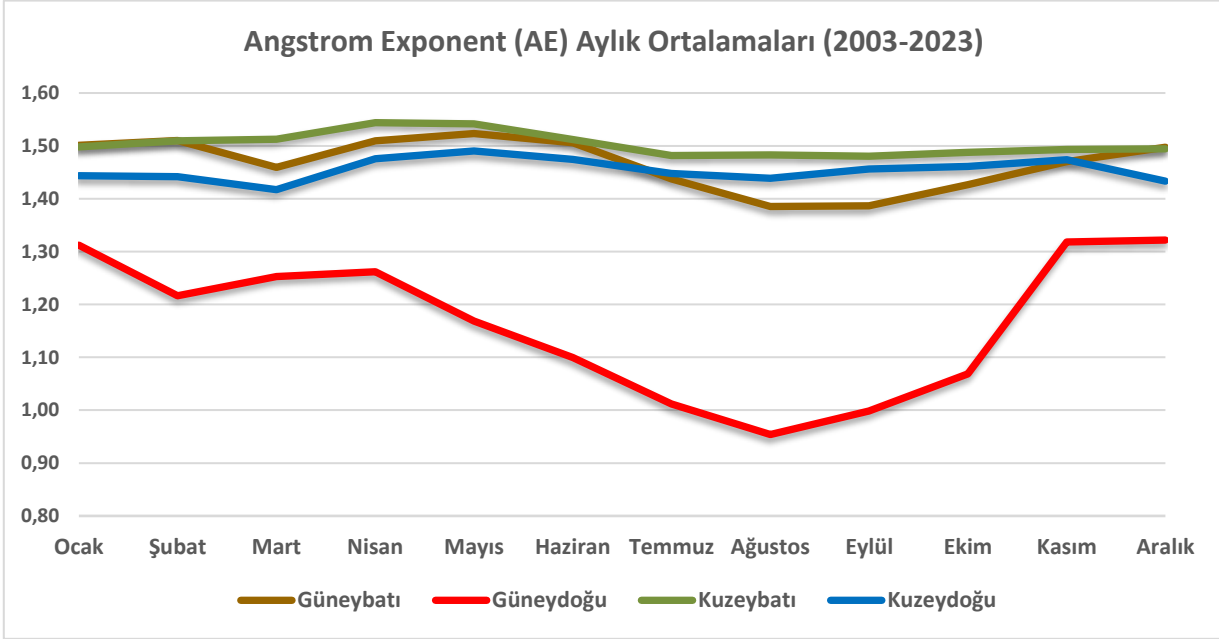
Sonuç olarak, Suriye ve Irak çöllerinden taşınan mineral tozların Türkiye’nin güneydoğusunu etkilediği ve en yoğun toz taşınımı olaylarının ilkbaharda yaşandığı görülmektedir.

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	0,1296	0,1311	0,1094	0,1213	1,5012	1,3121	1,4979	1,4438
Şubat	0,1875	0,1992	0,1624	0,1630	1,5103	1,2165	1,5095	1,4417
Mart	0,2039	0,2269	0,1747	0,2059	1,4590	1,2530	1,5125	1,4172
Nisan	0,2499	0,2916	0,2164	0,2275	1,5097	1,2620	1,5439	1,4756
Mayıs	0,2646	0,3128	0,2400	0,2293	1,5233	1,1684	1,5415	1,4904
Haziran	0,2407	0,2692	0,2273	0,2303	1,5060	1,0994	1,5121	1,4744
Temmuz	0,2357	0,2717	0,2078	0,2273	1,4378	1,0120	1,4819	1,4477
Ağustos	0,2630	0,2731	0,2181	0,2223	1,3853	0,9540	1,4830	1,4385
Eylül	0,2155	0,2565	0,1859	0,1659	1,3864	0,9987	1,4804	1,4563
Ekim	0,1781	0,2172	0,1598	0,1478	1,4266	1,0689	1,4880	1,4613
Kasım	0,1331	0,1258	0,1178	0,0943	1,4705	1,3179	1,4931	1,4736
Aralık	0,1091	0,1044	0,0934	0,0998	1,4973	1,3219	1,4942	1,4334
Ortalama	0,2009	0,2233	0,1761	0,1779	1,4678	1,1654	1,5032	1,4545



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



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

4. MGM TOZ TAŞINIMI TAHMİNLERİ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından; Batı Asya, Orta Doğu ve Kuzey Afrika için Toz Taşınımı tahminleri operasyonel olarak üretilmekte ve internet ortamında yayımlanmaktadır. 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 ve saatlik uydu toz ürünleri, aşağıda verilen web adreslerinde yayımlanmaktadır. Tahminlerde, hem yer seviyesi toz konsantrasyonları hem de atmosferdeki aerosollerin dikey derinlikleri (AOD) bulunmaktadır.

Toz Taşınımı Tahminleri

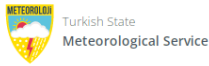
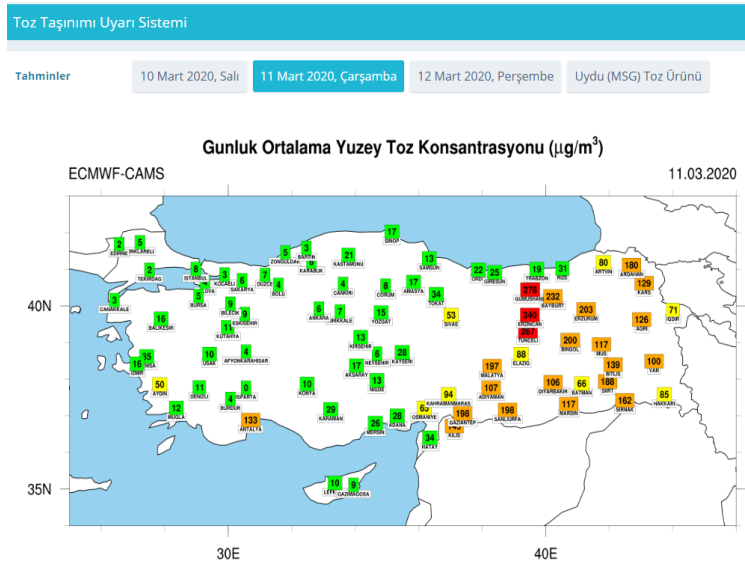
<https://www.mgm.gov.tr/tahmin/toz-tahmini.aspx>

Toz Taşınımı Uyarı Sistemi

<https://www.mgm.gov.tr/tahmin/toz-tasinimi.aspx>

Batı Asya Sanal Toz Taşınımı Tahmin Merkezi

<http://sdswa.mgm.gov.tr/>

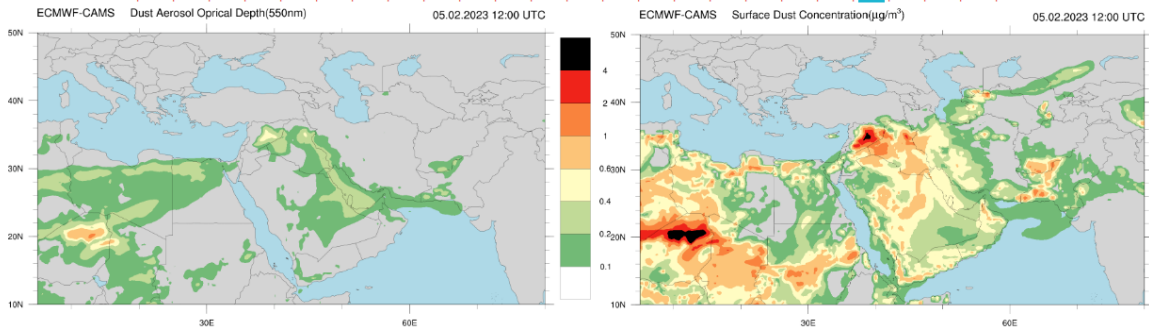


Home SDS Forecasts Dust Images Forecast Evaluation Documents Materials, Events

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

- 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.
- Awadh S.M.** (2023). Impact of North African Sand and Dust Storms on the Middle East Using Iraq as an Example: Causes, Sources, and Mitigation. *Atmosphere*. 14(1):180. <https://doi.org/10.3390/atmos14010180>
- Bolloorani, 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.
- Dünder C.,** (2019). “Büyük Akdeniz Havzasında Kum ve Toz Fırtınalarının İncelenmesi ve Türkiye’yi Etkileyen Toz Kaynak Bölgelerinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Foreman, T.** (2018). The effect of dust storms on child health in West Africa. Columbia University: CDEP-CGEG Working Paper.
- 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, 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 .
- 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.
- OECD.** (2019). OECD Çevresel Performans İncelemeleri Türkiye 2019. <https://www.oecd.org/turkey/oecd-cevresel-performans-incelemeleri-turkiye-2019-653318da-tr>
- 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 .
- 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 .

- Rodríguez, S., Riera, R., Fonteneau, A., Alonso-Pérez, S., & López-Darias, J.** (2023). African desert dust influences migrations and fisheries of the Atlantic skipjack-tuna. *Atmospheric Environment*, 312, 120022.
- Şengün, M. T. & Kiranşan, K.** (2012). Çöl Tozlarının Türkiye’de Doğal ve Beşeri Ortam Üzerine Etkisi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 22. 1-15.
- 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.
- THHP,** 2023. “Kara Rapor 2022: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri”. <https://www.temizhavahakki.org/kararapor2022/>
- 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.
- WHO.** 2022. “Fact Sheets: Household Air Pollution.” Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>.
- World Air Quality Report.** IQAir. (n.d.). <https://www.iqair.com/newsroom/world-air-quality-report-press-release-2022>
- https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MODAL2_M_AER_OD, NEO (Nasa Earth Observations) Web Sayfası, Son Kontrol: 26.03.2024.