



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



**TÜRKİYE VE ÇEVRESİ TOZ TAŞINIMI RAPORU
(2003-2024 DÖNEMİ)**

Ankara, 2025



T.C.

ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



Türkiye ve Çevresi Toz Taşınımı Raporu (2003-2024 Dönemi)

Araştırma Dairesi Başkanlığı
Atmosfer Modelleri Şube Müdürlüğü

Ankara, 2025

ÖZET

Dünya ekosistemi için büyük önem taşıyan ve atmosferdeki en baskın aerosol çeşitlerinden biri olan mineral toz partiküllerinin (çöl tozları) görece büyük olanları toz kaynak alanlarının yakınlarına çökelirken, küçük olanlar atmosferin üst tabakalarına yükselerek binlerce kilometre mesafeye kadar taşınabilmektedir.

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. Kuzey Afrika ve Orta Doğu kaynaklı tozlar, dünya yıllık toz salımlarının yaklaşık % 72'sini oluşturmaktadır. Ülkemiz de coğrafi konumu itibarı ile dünyadaki en önemli iki toz kaynağı olan Afrika ve Orta Doğu kaynaklı çöl tozlarının etkisi altında bulunmaktadır.

Bu kapsamda, bağlı bulunduğumuz Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, toz taşınımı konusunda Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı ile Türkiye'de hava kalitesi konusunda kamuoyunu bilgilendirerek hava kalitesini iyileştirmeye yönelik politikalar geliştirmektedir.

1937 yılında kurulan ve mevcut durumda 2058 adet meteorolojik gözlem sistemine sahip Meteoroloji Genel Müdürlüğü; meteorolojik tahmin ve erken uyarıların hazırlanması, kamuoyuyla paylaşılması ve ülkemiz ikliminin izlenmesi konularında çalışmalar yürütmektedir.

Son yıllarda, iklim değişikliğinin etkisiyle sayısı ve şiddeti artan meteorolojik karakterli afetler, meteorolojik tahmin ve erken uyarıların önemini daha da artırmıştır. Modern bilgi ve teknoloji çağında depremler, seller, kuraklık, volkanik patlamalar ve fırtınalar gibi doğa olaylarının oluşumuna engel olunamazken, bu olayların afete dönüşmesini engelleyerek can ve mal kayıplarının önüne geçmek ve toplumsal hayatın işleyişinde yol açtığı etkileri en aza indirmek, Kurumumuzca yapılan gözlem, tahmin ve erken uyarılar ile mümkün olabilmektedir.

Bununla birlikte; Ülkemiz, Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Orta Asya ülkeleri için toz taşınımı tahmin ürünleri üretilmekte ve Kurumumuzun internet sayfasında kamuoyuyla paylaşılmaktadır. Tahminler, yer seviyesi toz konsantrasyonlarını ve atmosferdeki toz aerosollerinin dikey derinliklerini (Toz Aerosol Optik Derinliği, AOD) içermektedir.

Kum ve toz fırtınaları ile atmosfere karışan çöl tozlarının uzun mesafeler kat ederek okyanus ve Amazonlar'a değerli mineralleri taşıdığı ve gübreleme etkisi yaptığı bilinmekle birlikte; insan sağlığı, ulaşım sektörü ve sosyo-ekonomik hayat üzerinde olumsuz etkilerinin bulunduğu da bir gerçektir. Özellikle kronik sağlık sorunları yaşayan kişiler ile hamile, yaşlı ve çocuklar için risk

oluşturmaktadır. Toz taşınıının hava kirliliğini artırması nedeniyle; solunum yolu hastalıkları, enfeksiyonlar ve alerjilerde artış gözlenmektedir. 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.

Sonuç olarak; bu çalışmada 2003 – 2024 dönemi uzun yıllar Aerosol Optik Derinlik (AOD) ve Angstrom Exponent (AE) alansal ortalamaları incelenmiş, tozların karakteristik özelliklerinin anlaşılması ve toz taşınıının mevcut ve gelecekteki olumsuz etkilerinin azaltılmasına yardımcı olunması hedeflenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
İÇİNDEKİLER	3
ŞEKİLLER VE TABLOLAR	4
1. TÜRKİYE VE ÇEVRESİ 2003-2024 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 Analizi ve Değerlendirmeleri	16
3.2.1. Aerosollerin Alansal Değişimi	16
3.2.2. Aerosollerin Zamansal Değişimi	17
3.2.3. Kuvvetli ve Ekstrem Tozlu Gün Sayıları	22
4. MGM TOZ TAŞINIMI TAHMİNLERİ	24
KAYNAKLAR	25

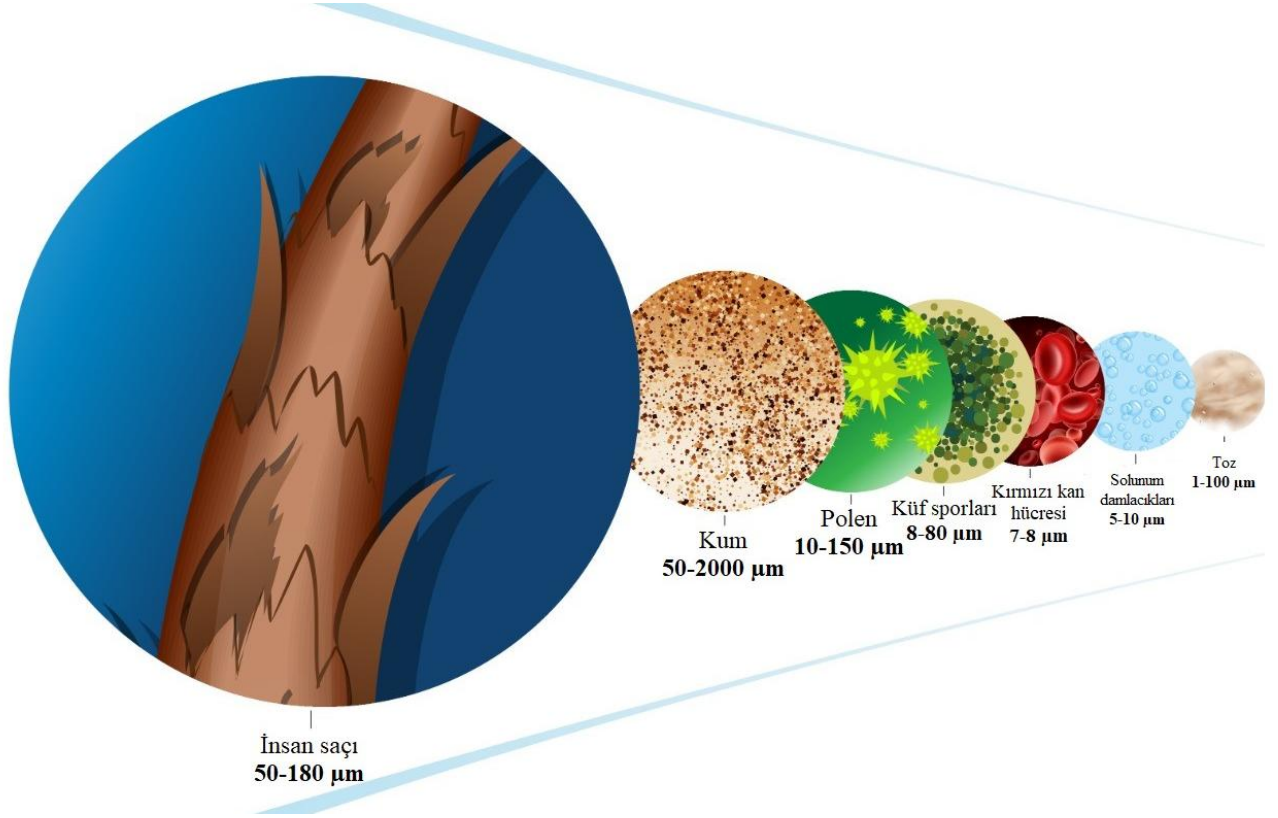
ŞEKİLLER VE TABLOLAR

Şekil 1. Atmosferde Bulunan Aerosollerin Büyüklükleri (World Air Quality Report, 2022).....	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 ve AE 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	21
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 (2003-2024).....	14
Tablo 5. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Aylık Değişimi (2003-2024).....	14
Tablo 6. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi	18
Tablo 7. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Aylık Değişimi (2003-2024).....	20
Tablo 8. Türkiye’de Bölgelere ve Mevsimlere Göre Kuvvetli ve Ekstrem Tozlu Gün Sayıları	22
Tablo 9. Türkiye’de Bölgelere Göre Yıllık Ortalama Kuvvetli ve Ekstrem Tozlu Gün Sayıları	23

1. TÜRKİYE VE ÇEVRESİ 2003-2024 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 su buharının, yoğunlaşma çekirdeği olarak aerosollerin üzerinde yoğunlaşması 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 yakınlığında 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 µg/m³’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 µg/m³’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 etkisinin 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.

Güncel iklim projeksiyonları, Türkiye'nin gelecekte önemli sıcaklık artışları ve yağış azalmasıyla karşı karşıya kalacağını göstermektedir. 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). Dünya genelinde 330 milyon insan, bazen kaynak alanlarından binlerce kilometre öteye, rüzgarla taşınan partiküllere her gün maruz kalmaktadır (WMO, 2024b). 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 kara, hava ve deniz ulaşımını da olumsuz yönde etkiler. Toz kaynaklarına yakın bölgelerde, fırtınaların yaşandığı dönemlerde havaalanı trafiği uçuşlara kapatılmakta, karayolu ulaşımında ise can ve mal kayıplarına neden olan trafik kazaları yaşanabilmektedir.

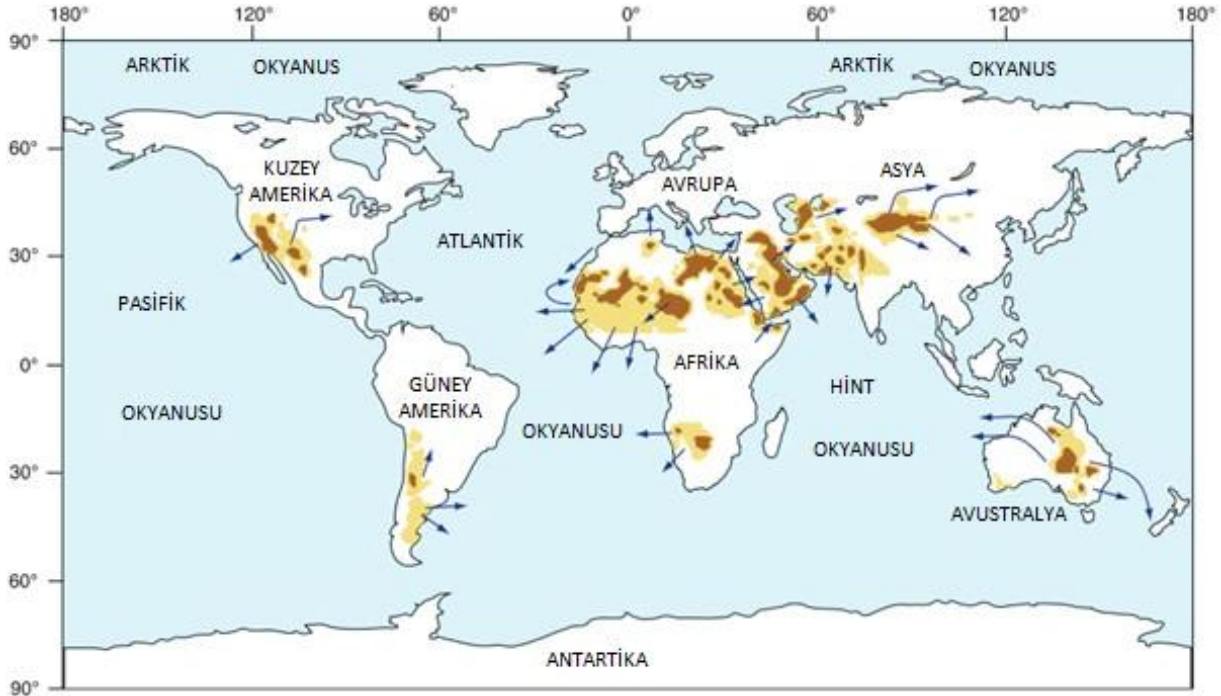
1.3. Dünyadaki Toz Kaynak Alanları

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; WMO, 2024a). 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. Son araştırmalara göre, Kuzey Afrika ve Orta Doğu'dan kaynaklanan toz emisyonları birlikte değerlendirildiğinde, Dünyadaki yıllık toz salımlarının %72,2'sini oluşturmaktadır (Lian ve diğerleri, 2022). 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; Boloorani 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

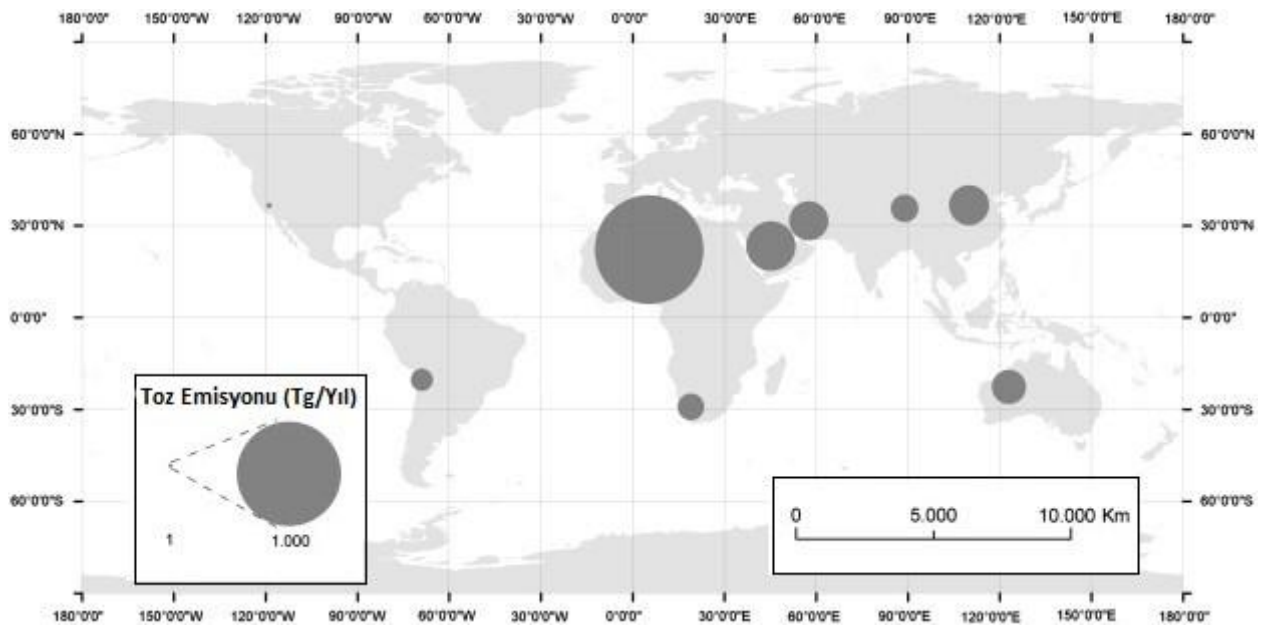
hesaplamalara göre; yılda toplam 1877 Tg (≈ 1.9 milyar ton) toz, çöllerden atmosfere karışmaktadır (Tablo 1).

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

	Emisyon (Tg/yıl)	Kuru Çökelme (Tg/yıl)	Islak Çökelme (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 yaklaşık % 70'ini oluşturduğu görülmektedir.



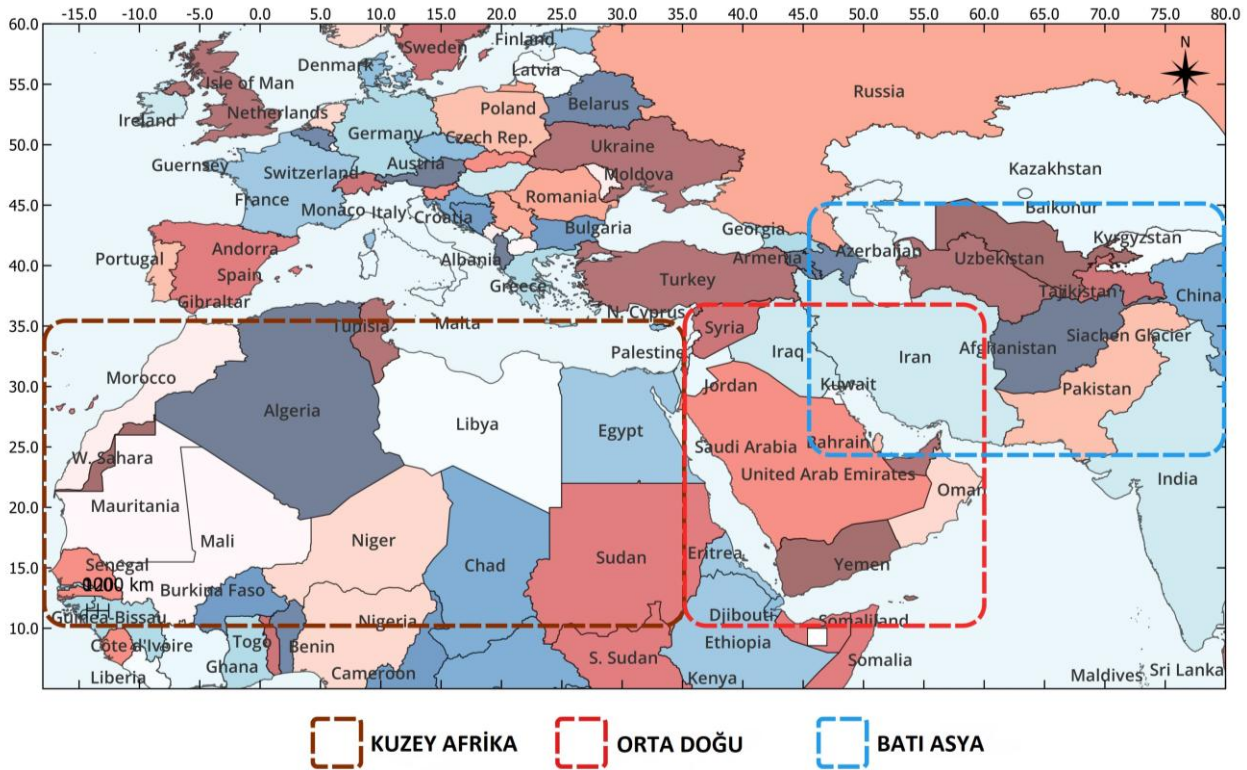
Şekil 3. Atmosfere Atılan Toz Miktarları (De Longueville ve diğerleri, 2010)

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 2003-2024 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 AOD ortalamalarında tüm bölgelerde yaşanan azalma sonrasında 2024 yılında tekrar bir artış eğilimi göze çarpmaktadır (Şekil 5).

Tablo 2. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi

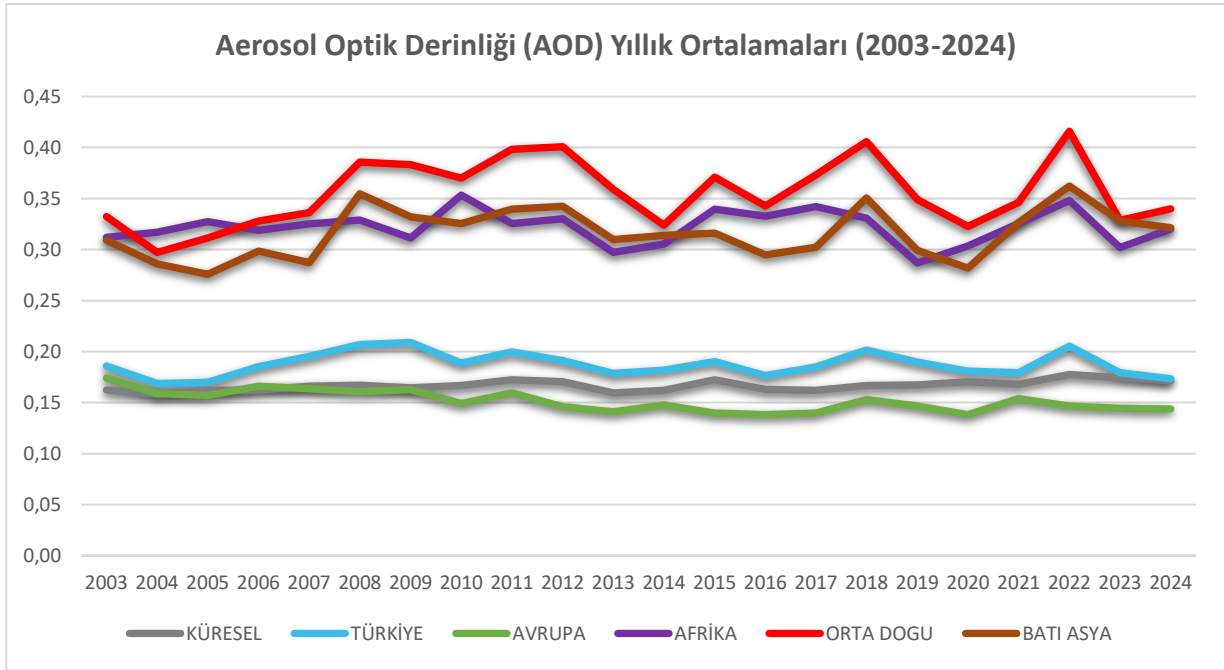
YIL	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
2003	0,1622	0,1858	0,1741	0,3119	0,3323	0,3093
2004	0,1583	0,1686	0,1589	0,3170	0,2972	0,2859
2005	0,1619	0,1698	0,1571	0,3274	0,3112	0,2758
2006	0,1622	0,1853	0,1660	0,3187	0,3279	0,2984
2007	0,1660	0,1954	0,1636	0,3251	0,3362	0,2872
2008	0,1670	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
2024	0,1712	0,1732	0,1439	0,3202	0,3400	0,3212
Ortalama	0,1666	0,1873	0,1514	0,3220	0,3555	0,3162

MODIS - Aqua uydusundan 2003-2024 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.

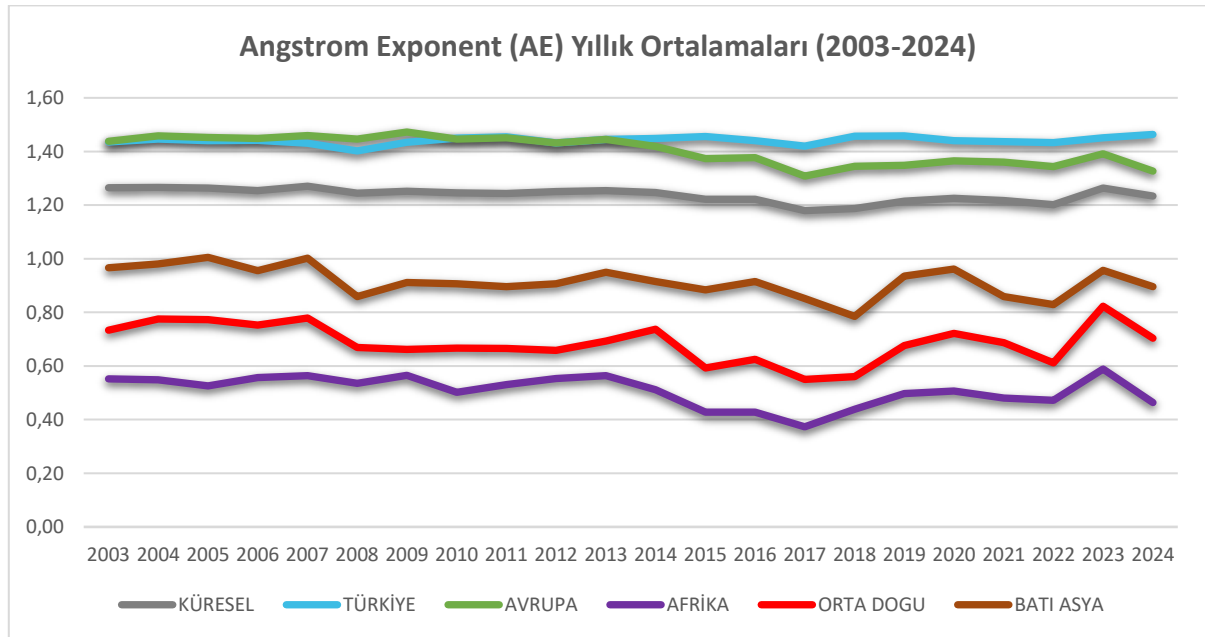
Tablo 3. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Yıllık Değişimi

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
2024	1,2336	1,4635	1,3267	0,4637	0,7033	1,8960
Ortalama	1,2373	1,4416	1,4047	0,5085	0,6870	0,9149



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

MODIS - Aqua uydusundan 2003-2024 yılları için elde edilen aylık alansal ortalama AOD değerleri (Tablo 4 ve Şekil 7) incelendiğinde; Orta Doğu ve Batı Asya bölgelerinde en yüksek ortalamalar Temmuz ayında hesaplanırken Türkiye için ilkbahar aylarında daha yüksek ortalamalar bulunmuştur. Küresel ölçekte aylar bazında önemli bir değişiklik görülmezken Avrupa'da kış döneminde ortalamaların azaldığı tespit edilmiştir.

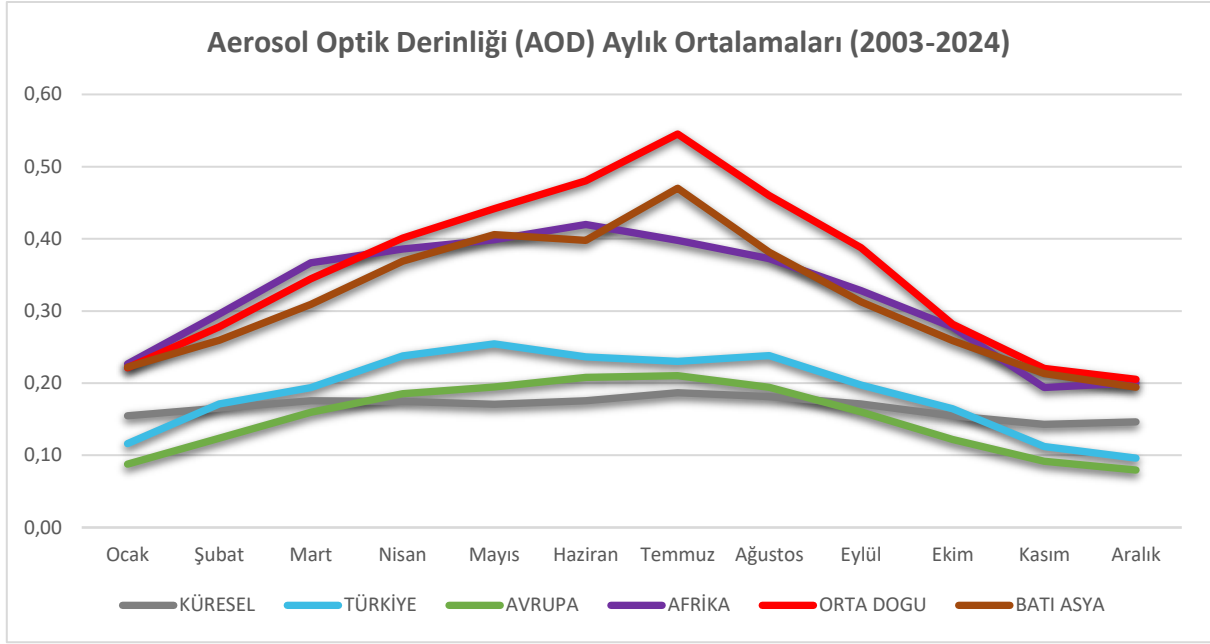
Tablo 4. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Aylık Değişimi (2003-2024)

AY	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
Ocak	0,1549	0,1162	0,0878	0,2264	0,2212	0,2221
Şubat	0,1654	0,1711	0,1236	0,2958	0,2780	0,2596
Mart	0,1755	0,1939	0,1596	0,3666	0,3446	0,3093
Nisan	0,1745	0,2376	0,1852	0,3857	0,4007	0,3691
Mayıs	0,1707	0,2544	0,1949	0,3985	0,4415	0,4058
Haziran	0,1755	0,2365	0,2079	0,4198	0,4802	0,3977
Temmuz	0,1867	0,2304	0,2103	0,3979	0,5452	0,4701
Ağustos	0,1813	0,2381	0,1942	0,3725	0,4597	0,3813
Eylül	0,1713	0,1972	0,1600	0,3282	0,3878	0,3128
Ekim	0,1546	0,1644	0,1218	0,2774	0,2814	0,2591
Kasım	0,1429	0,1121	0,0918	0,1940	0,2202	0,2134
Aralık	0,1462	0,0961	0,0796	0,2006	0,2053	0,1944
Ortalama	0,1666	0,1873	0,1514	0,3220	0,3555	0,3162

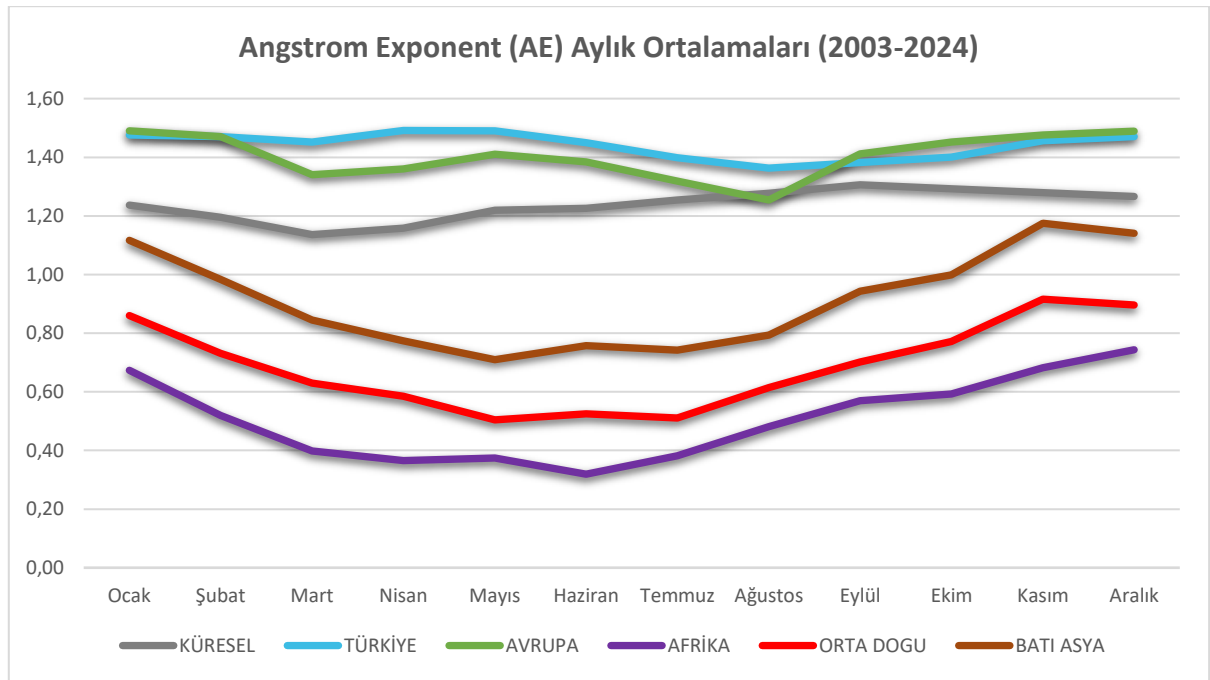
Aylık alansal Angstrom Exponent (AE) ortalamaları (Tablo 5 ve Şekil 8) analiz edildiğinde; Avrupa ve Türkiye için hesaplanan aylık ortalamaların yüksek olduğu görülmüştür. Çöl tozlarının daha etkin olduğu Afrika, Orta Doğu ve Batı Asya bölgelerinde ise Angstrom Exponent (AE) ortalamaları, beklendiği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

Tablo 5. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AE Değerlerinin Aylık Değişimi (2003-2024)

AY	Küresel	Türkiye	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Batı Asya
Ocak	1,2369	1,4761	1,4902	0,6738	0,8598	1,1166
Şubat	1,1957	1,4700	1,4706	0,5195	0,7317	0,9834
Mart	1,1362	1,4521	1,3410	0,3979	0,6291	0,8451
Nisan	1,1579	1,4913	1,3600	0,3660	0,5844	0,7739
Mayıs	1,2197	1,4896	1,4099	0,3746	0,5043	0,7095
Haziran	1,2262	1,4495	1,3844	0,3190	0,5252	0,7574
Temmuz	1,2537	1,3983	1,3191	0,3819	0,5105	0,7416
Ağustos	1,2768	1,3630	1,2543	0,4807	0,6142	0,7938
Eylül	1,3061	1,3822	1,4110	0,5694	0,7017	0,9425
Ekim	1,2928	1,4002	1,4519	0,5930	0,7715	0,9989
Kasım	1,2791	1,4566	1,4754	0,6824	0,9160	1,1748
Aralık	1,2667	1,4705	1,4889	0,7434	0,8958	1,1406
Ortalama	1,2373	1,4416	1,4047	0,5085	0,6870	0,9149



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

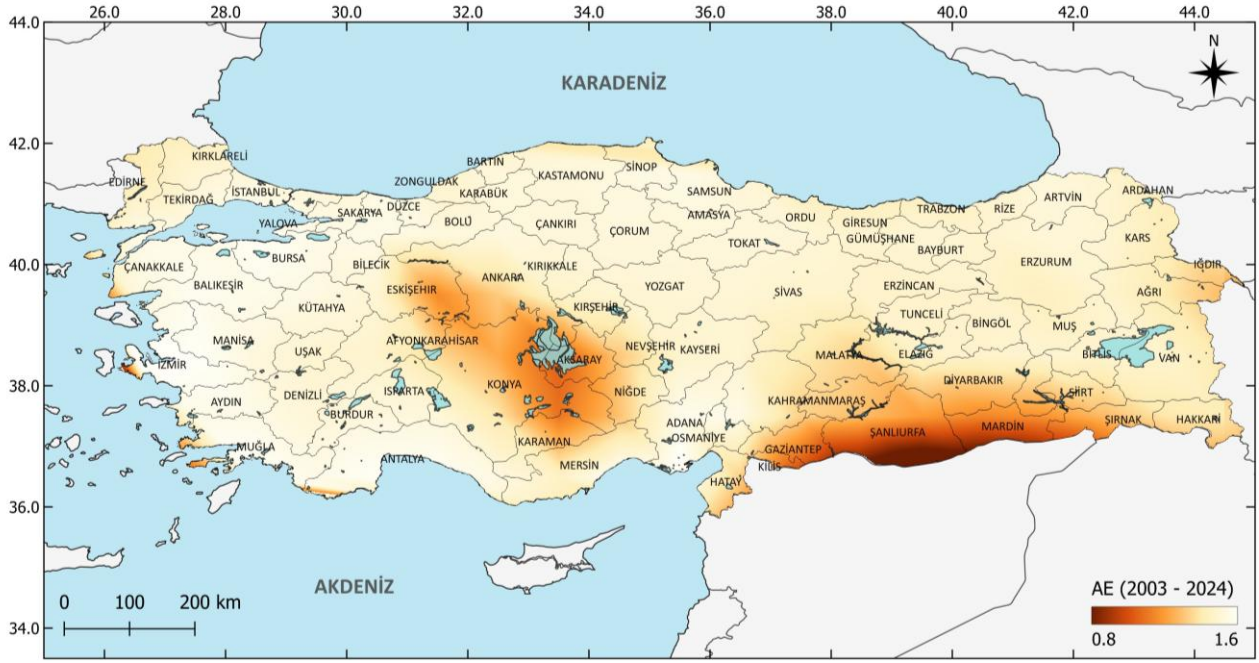
Türkiye atmosferindeki 2003-2024 periyodu için uzun yıllar alansal ortalama Aerosol Optik Derinliği (AOD) değerleri incelendiğinde; Türkiye'nin güneydoğusunun yoğun aerosol miktarına (toz taşınımına) maruz kaldığı görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi dışında, İç Anadolu Bölgesi'nin güney doğusu ve 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.



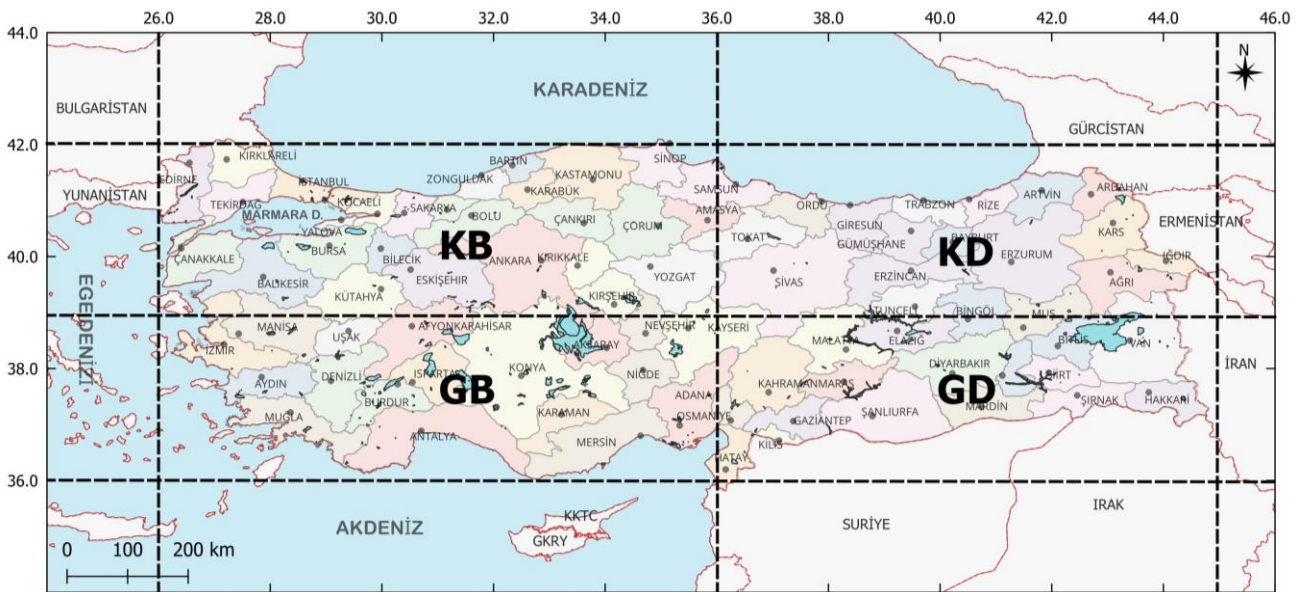
Şekil 9. Türkiye Uzun Yıllar Aerosol Optik Derinliği (AOD) Ortalamaları



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.



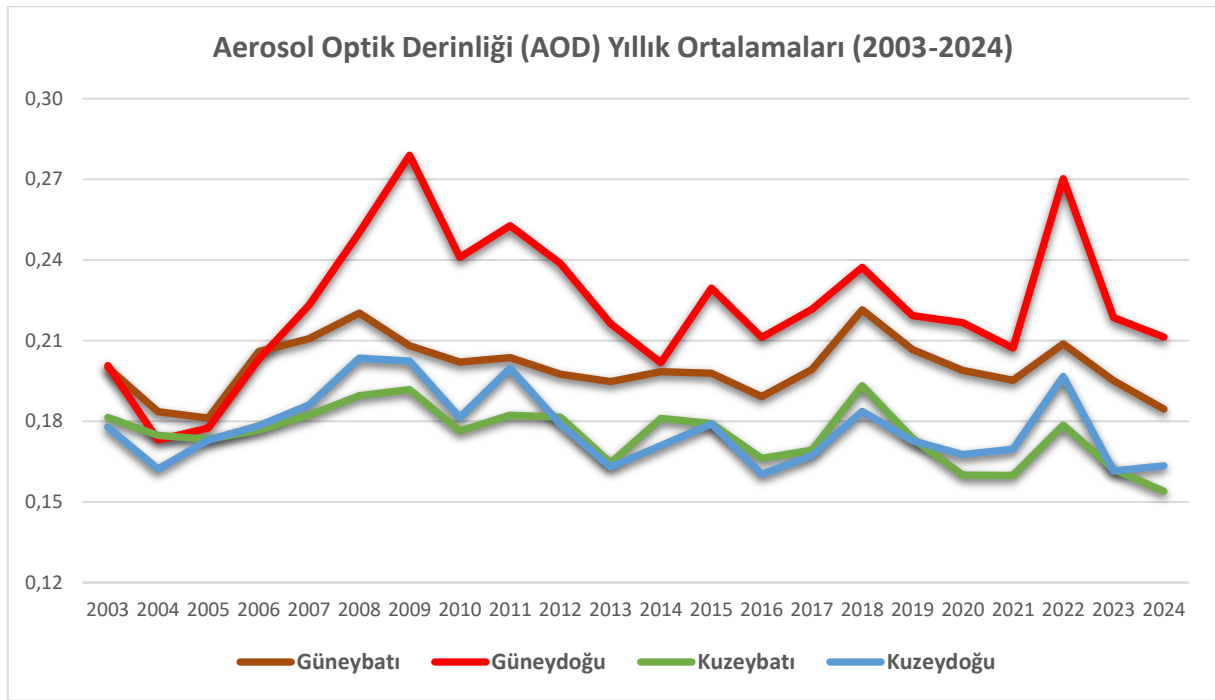
Şekil 11. AOD ve AE Analizi Yapılan Bölgeler

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, 2003-2024 yılları arasında inişli çıkışlı bir eğilim gösterir; 2009 yılından sonra azalma eğiliminde iken 2022 yılında bir artış yaşanmış ve 2023 yılı itibariyle 2024 yılı da dahil olmak üzere aerosol optik derinliği değerleri azalma göstermiştir. (Şekil 12).

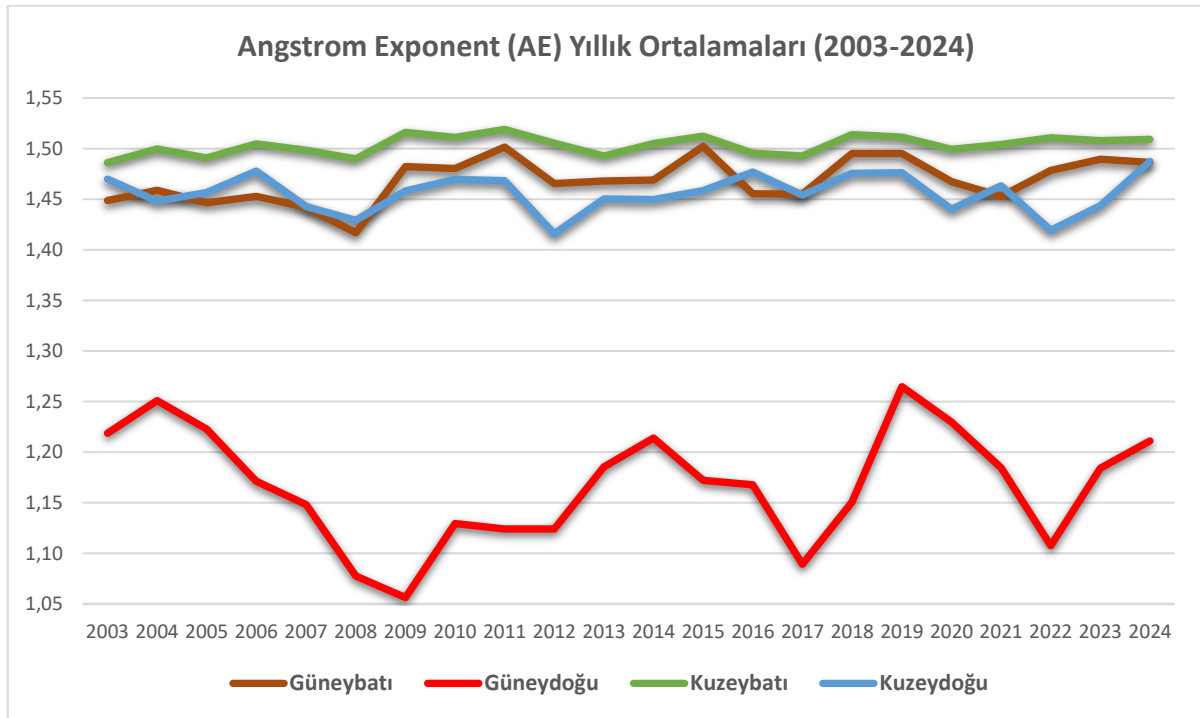
Tablo 6. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Yıllık Değişimi

	Aerosol Optik Derinliği (AOD)				Angstrom Exponent (AE)			
YIL	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
2024	0,1845	0,2114	0,1539	0,1635	1,4864	1,2112	1,5091	1,4874
Ortalama	0,2001	0,2227	0,1751	0,1772	1,4686	1,1675	1,5034	1,4560



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

Bölümlere göre yıllık Angstrom Exponent (AE) ortalamaları analiz edildiğinde; güneydoğu bölümündeki AE ortalamalarının diğer bölümlere 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

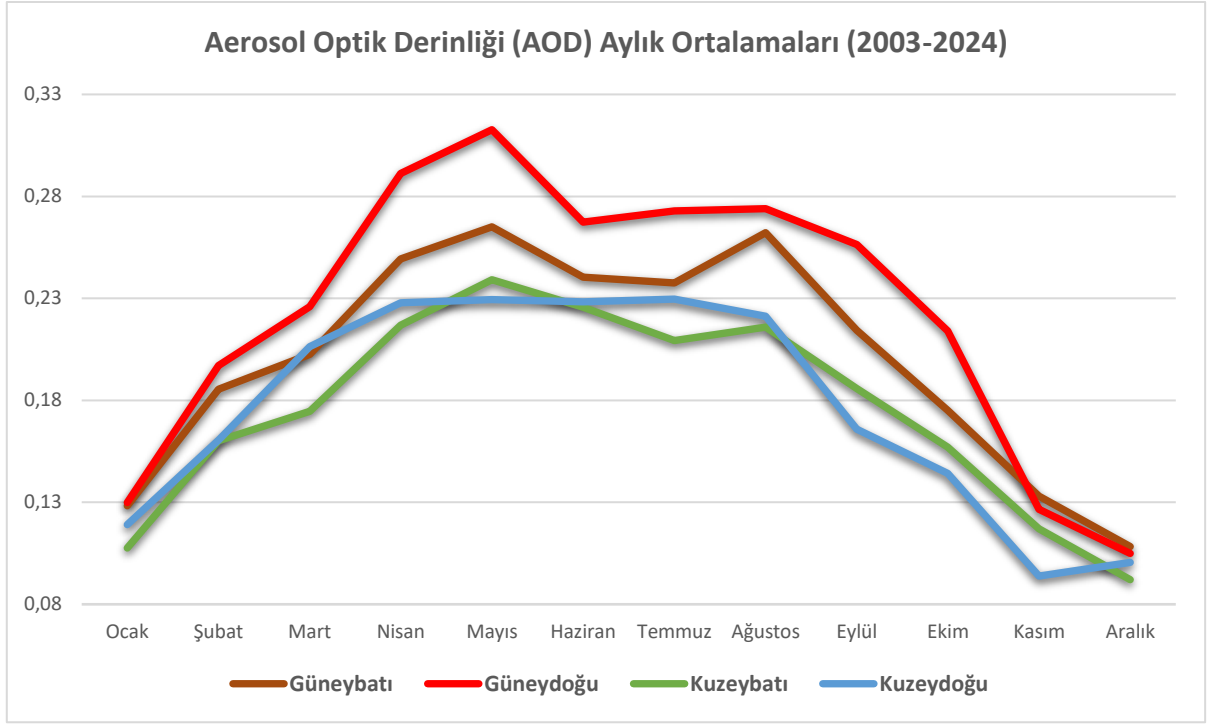
Tablo 7 ve Şekil 14’de verilen 2003-2024 yılları için aylık alansal AOD ortalama değerleri incelendiğinde; Şubat ayından itibaren düzenli olarak artan aerosollerin genel olarak Mayıs ayında en yüksek değere ulaştığı, bu aydan itibaren düzenli şekilde azalarak yıl sonunda en düşük seviyelere indiği görülmektedir. 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 (Kasım - Aralık hariç) diğer bölgelerden daha yüksek hesaplanmıştır.

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

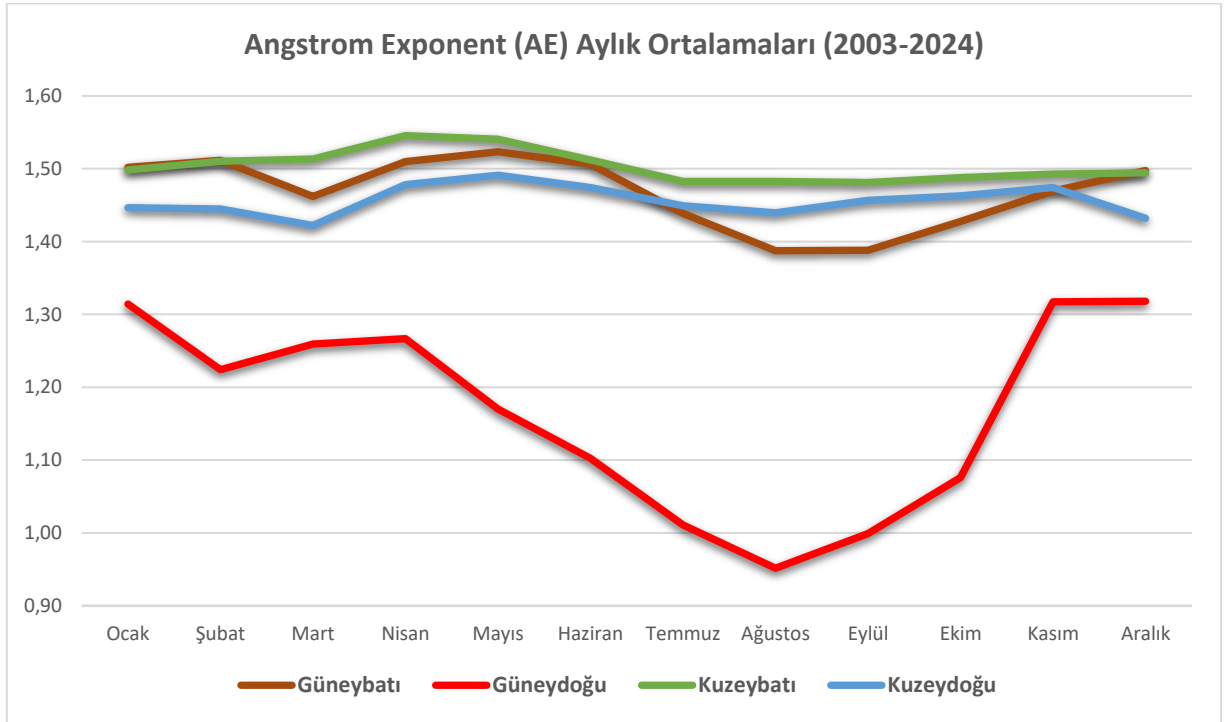
Sonuç olarak, Suriye ve Irak çöllerinden taşınan mineral tozların Türkiye’nin güneydoğusunu etkilediği ve en yoğun toz taşınımı olaylarının ilkbaharda yaşandığı görülmektedir.

Tablo 7. Çalışma Bölgeleri Alansal Ortalama AOD Değerlerinin Aylık Değişimi (2003-2024)

AY	Aerosol Optik Derinliği (AOD)				Angstrom Exponent (AE)			
	GB	GD	KB	KD	GB	GD	KB	KD
Ocak	0,1283	0,1298	0,1075	0,1191	1,5019	1,3142	1,4982	1,4467
Şubat	0,1855	0,1971	0,1602	0,1604	1,5117	1,2242	1,5102	1,4447
Mart	0,2026	0,2259	0,1746	0,2064	1,4620	1,2591	1,5135	1,4221
Nisan	0,2493	0,2912	0,2169	0,2279	1,5098	1,2670	1,5454	1,4783
Mayıs	0,2651	0,3127	0,2391	0,2294	1,5233	1,1699	1,5407	1,4911
Haziran	0,2404	0,2674	0,2256	0,2284	1,5062	1,1025	1,5118	1,4742
Temmuz	0,2375	0,2729	0,2093	0,2296	1,4386	1,0110	1,4827	1,4492
Ağustos	0,2622	0,2740	0,2158	0,2212	1,3874	0,9516	1,4826	1,4395
Eylül	0,2144	0,2564	0,1857	0,1659	1,3882	0,9990	1,4811	1,4568
Ekim	0,1751	0,2140	0,1570	0,1442	1,4276	1,0759	1,4880	1,4629
Kasım	0,1331	0,1266	0,1170	0,0938	1,4695	1,3173	1,4928	1,4742
Aralık	0,1083	0,1049	0,0921	0,1005	1,4974	1,3181	1,4943	1,4320
Ortalama	0,2001	0,2227	0,1751	0,1772	1,4686	1,1675	1,5034	1,4560



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



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

3.2.3. Kuvvetli ve Ekstrem Tozlu Gün Sayıları

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de toz gözlem sistemlerinin olmadığı bölgelerde toz gözlemleri sadece meteorolojik uydular aracılığıyla yapılabilmektedir. Bu kapsamda Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde toz taşınımı analizleri NASA’dan temin edilen AOD ve AE verileri kullanılarak yapılmaktadır.

Toz olayı hadiselerinin yaşandığı günlerin belirlenmesinde kullanılan metotta öncelikle ortalama AOD değeri ve standart sapma değerleri hesaplanmış olup AOD’nin eşik değeri, ortalama AOD değerine standart sapmanın farklı katlarının eklenmesiyle elde edilmiştir. Aerosol optik derinliği değerlerinin, AOD ortalamasına 2 standart sapma değeri eklenmesiyle elde edilen eşik değeri geçtiği günler “Kuvvetli Toz Olayı”; 4 standart sapma değeri eklenmesiyle elde edilen eşik değeri geçtiği günler ise “Ekstrem Toz Olayı” olarak sınıflandırılmaktadır.

Bu kapsamda, Türkiye’nin bölgelere ve mevsimlere göre yapılan toz taşınımı analizleri sonucunda elde edilen Kuvvetli Toz Olayı ve Ekstrem Toz Olayı hadiselerinin yaşandığı gün sayılarını ihtiva eden tablo aşağıda gösterilmektedir (Tablo 8). Tüm bölgeler için tozlu günlerin en çok yaşandığı mevsimin ilkbahar olduğu belirlenmiştir.

Tablo 8. Türkiye’de Bölgelere ve Mevsimlere Göre Kuvvetli ve Ekstrem Tozlu Gün Sayıları

Yıl	Güneybatı					Güneydoğu					Kuzeybatı					Kuzeydoğu				
	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Toplam	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Toplam	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Toplam	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Toplam
2003	1	13	1	2	17	2	18	5	1	26	2	6	1	1	10	1	18	3	1	23
2004	4	9	4	0	17	5	10	0	3	18	3	11	1	0	15	1	11	0	2	14
2005	5	11	0	1	17	4	11	4	2	21	4	8	2	1	15	3	7	1	0	11
2006	8	12	4	0	24	3	19	7	2	31	3	6	0	1	10	6	12	4	1	23
2007	3	10	7	4	24	3	25	8	7	43	1	11	6	1	19	2	15	1	1	19
2008	4	20	11	3	38	9	29	15	16	69	1	13	2	2	18	2	17	7	2	28
2009	3	8	2	3	16	13	31	26	11	81	2	12	4	2	20	3	7	10	1	21
2010	8	12	6	2	28	8	27	12	10	57	3	5	4	0	12	3	7	5	0	15
2011	4	14	3	1	22	7	40	16	7	70	0	11	2	2	15	3	13	14	1	31
2012	0	14	1	1	16	4	28	13	11	56	1	7	2	2	12	2	14	7	1	24
2013	2	15	3	1	21	4	19	5	5	33	0	7	4	0	11	2	10	3	1	16
2014	2	9	4	1	16	0	14	4	10	28	1	9	4	1	15	1	10	4	2	17
2015	5	6	7	3	21	5	17	9	11	42	3	3	5	0	11	4	5	1	1	11
2016	0	11	7	2	20	2	19	16	3	40	0	6	1	2	9	4	5	4	0	13
2017	2	12	5	3	22	5	19	2	16	42	0	6	2	2	10	0	6	1	5	12
2018	4	21	3	5	33	5	33	7	15	60	1	10	0	10	21	3	9	4	4	20
2019	3	12	10	2	27	3	15	5	3	26	2	7	5	1	15	2	6	3	2	13
2020	0	9	1	1	11	0	18	4	5	27	1	9	1	1	12	2	5	0	0	7
2021	0	11	4	0	15	1	13	5	3	22	0	10	1	1	12	1	11	3	0	15
2022	2	8	4	2	16	7	27	16	13	63	0	7	1	0	8	0	11	4	2	17
2023	2	13	5	2	22	5	24	5	3	37	0	9	3	1	13	1	11	4	1	17
2024	1	13	7	0	21	2	14	5	4	25	0	9	2	1	12	0	10	6	0	16

Yıllık ortalama Kuvvetli ve Ekstrem Toz Olay sayılarının bölgesel dağılımına bakıldığında; güneydoğu, güneybatı, kuzeydoğu, kuzeybatı bölümlerinde yıllık ortalama tozlu gün sayılarının sırasıyla 41.7, 21.1, 17.4 ve 13.4 gün olduğu ve en fazla etkilenen bölgenin Güneydoğu olduğu görülmektedir. Bu bölgede yılda ortalama 30,2 kuvvetli ve 11,5 ekstrem tozlu gün yaşanmakta olup bu durumun başlıca nedeni bölgenin Suriye, Irak ve Orta Doğu çöl alanlarına olan yakınlığıdır.

Tablo 9.Türkiye’de Bölgelere Göre Yıllık Ortalama Kuvvetli ve Ekstrem Tozlu Gün Sayıları

	Güneybatı	Güneydoğu	Kuzeybatı	Kuzeydoğu
Kuvvetli Tozlu Gün sayısı:	17,1	30,2	10,9	14,1
Ekstrem Tozlu Gün sayısı:	4,0	11,5	2,5	3,3

Bu veriler, Türkiye’nin özellikle güney kesimlerinde çöl tozu taşınımına karşı daha hassas olduğunu ve bu durumun yerel hava kalitesi, tarım ve halk sağlığı açısından önemli etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

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

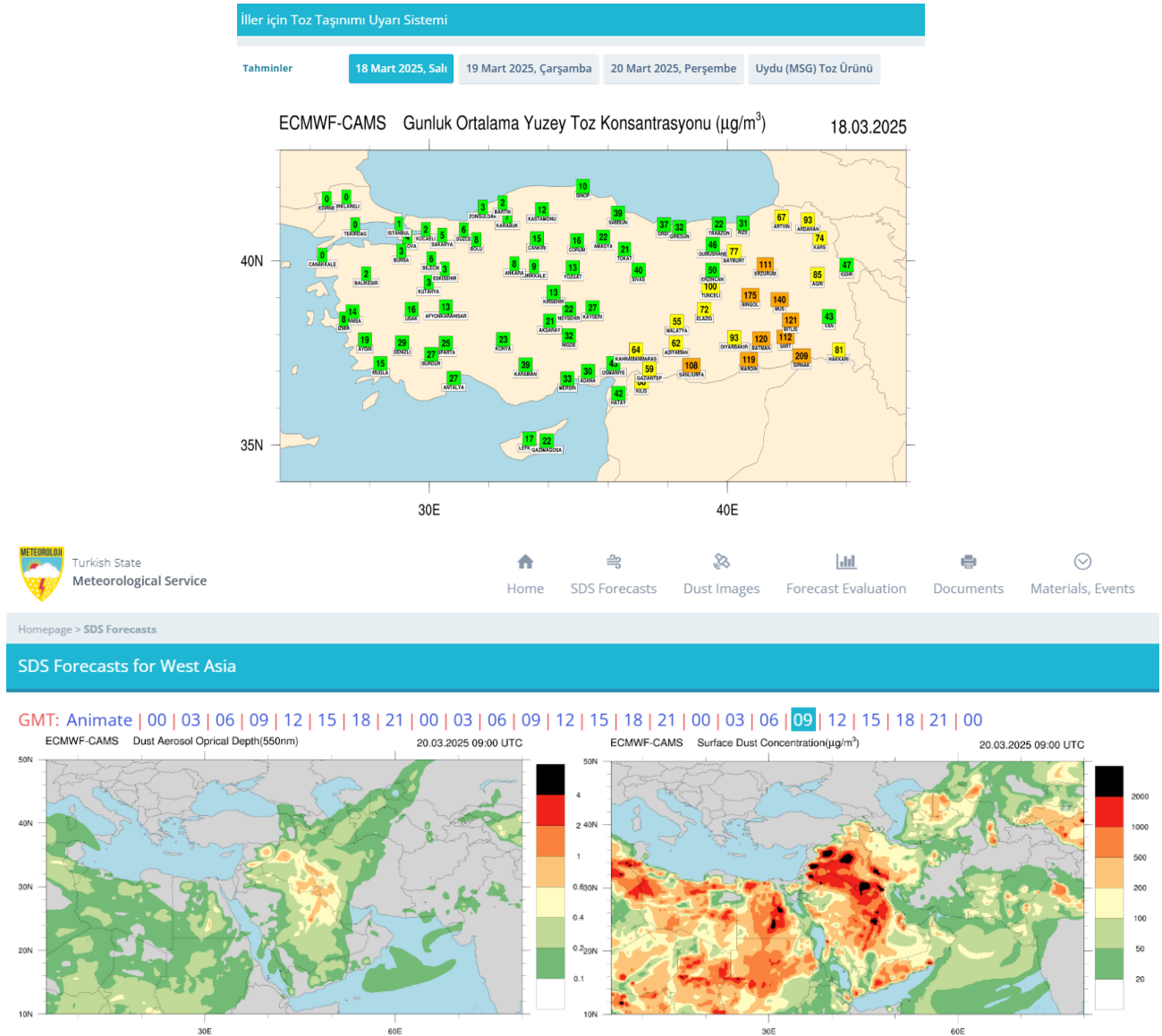
<https://www.mgm.gov.tr/tahmin/toz-tahmini.aspx>

Toz Taşınımı Uyarı Sistemi

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

Batı Asya Sanal Toz Taşınımı Tahmin Merkezi

<http://sds.wa.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.
- 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.
- Dündar 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
- 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 .
- Lian, S., Zhou, L., Murphy, D. M., Froyd, K. D., Toon, O. B., & Yu, P.** (2022). Global distribution of Asian, Middle Eastern, and North African dust simulated by CESM1/CARMA. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(20), 13659-13676.
- 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** (2024). “Kara Rapor 2024: Türkiye’de Hava Kirliliği ve Sağlığa Etkileri”. <https://temizhavahakki.com/kararapor2024/>
- 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.
- WHO.** 2022. “Fact Sheets: Household Air Pollution.” Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>.
- WMO.** 2024a. “WMO Airborne Dust Bulletin No. 8 – July 2024”. <https://wmo.int/publication-series/wmo-airborne-dust-bulletin-no-8-july-2024>
- WMO.** 2024b. “Sand and dust storms”. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sand-and-dust-storms>
- 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.
- 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.

