

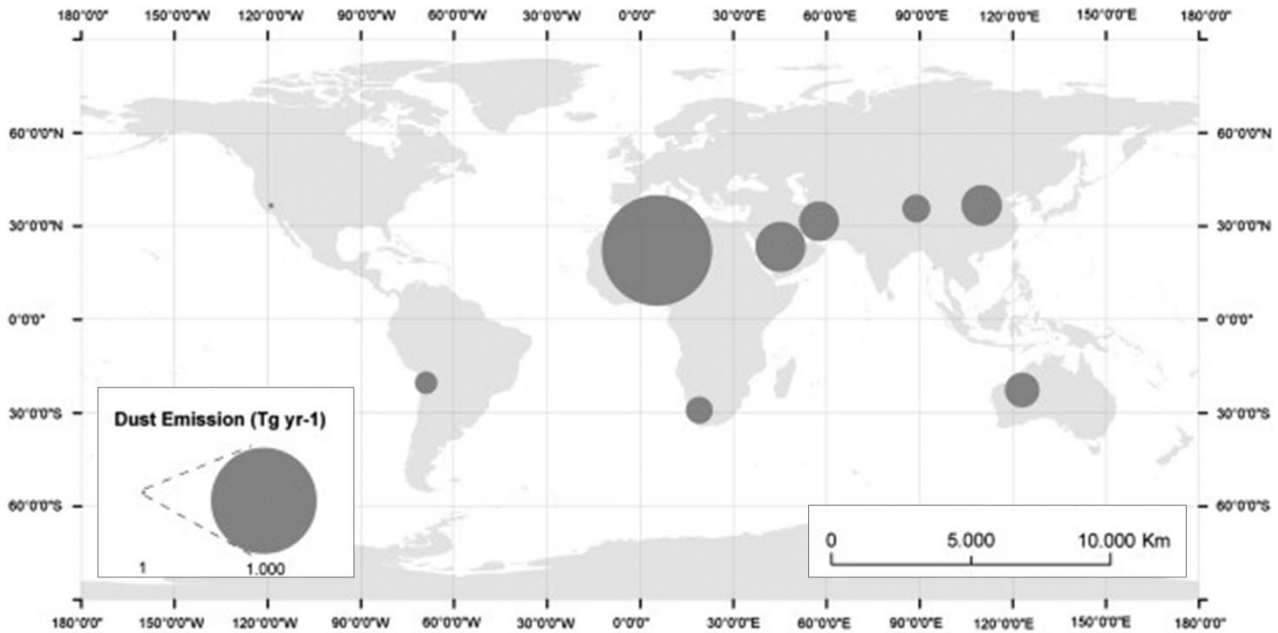


Toz Taşınımı (Kum ve Toz Fırtınaları) Tahmini

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 yakınında 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.

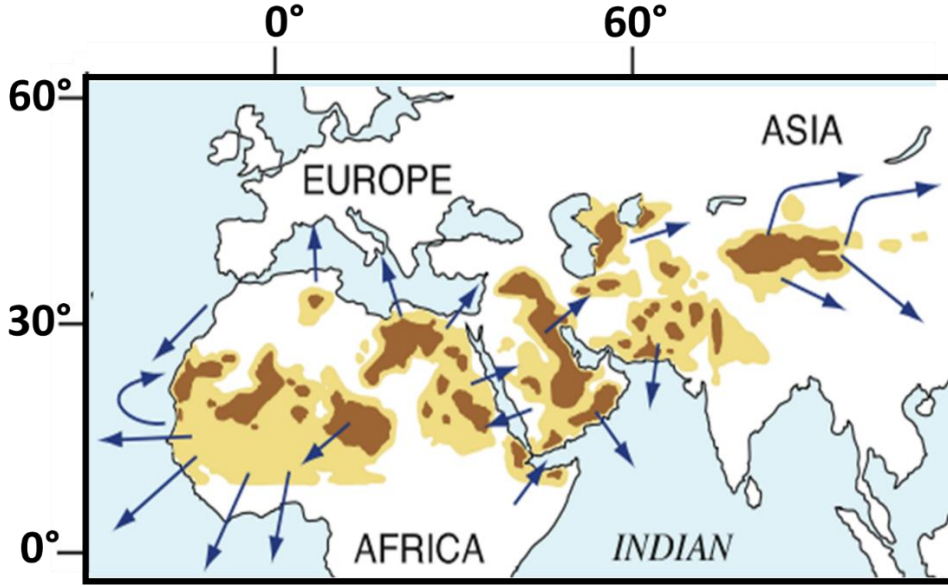
Sahra bölgesi başta olmak üzere, çöllerden atmosfere karışan tozların uzun mesafeler taşınarak, okyanus ve amazonlara değerli mineralleri taşıdığı ve gübreleme etkisi yaptığı bilinmektedir. Diğer taraftan kum ve toz fırtınaları, kronik sağlık sorunları bulunanlar ile hamile, yaşlı ve çocuklar için risk oluşturmaktadır. Kum ve toz fırtınalarının ulaştırma sektörü (hava, kara ve deniz ulaşımını) başta olmak üzere, sosyo-ekonomik hayat üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Her yıl çöllerden atmosfere karışan tozların miktarı yaklaşık 2 milyar ton olarak kabul edilmektedir. 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.



Atmosfere atılan Toz Miktarları (De Longueville et al., 2014)

“Tozlu Kuşak” olarak ifade edilen Afrika, Orta Doğu ve Asya Çöllerinin neredeyse tam ortasında yer alan Türkiye, dünyadaki en önemli iki toz kaynağı olan Afrika ve Orta Doğu kaynaklı çöl tozlarının etkisi altında bulunmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesinin Konya, Karaman, Niğde ve Nevşehir civarları toz taşınımının en fazla etkilendiği yörelerimizdir (Dündar C., 2019).



Afrika, Ortadoğu ev Asya'daki Önemli Toz Kaynak Alanları (Muhs et al., 2014)

Toz taşınımının, hava kirliliğini artırması sonucu artış gösteren solunum yolu hastalıkları, enfeksiyonlar ve alerjiler nedeniyle insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği de bilinmektedir. Ayrıca Afrika'da yapılan çalışmalarda, özellikle çocuklarda görülen menenjit hastalığı ile 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. Türkiye için hava kirliliğine bağlı ölümlerin sayısı, OECD tarafından her yıl yaklaşık 30 bin olarak tahmin edilmektedir.

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



METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Araştırma Dairesi Başkanlığı



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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e dahil edilmemektedir.

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

Toz Tahmin Modelleri

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 internet sayfalarında yayınlanmaktadır. Tahminlerde hem yer seviyesi toz konsantrasyonları hem de atmosferdeki toz aerosollerinin dikey derinlikleri (Toz Aerosol Optik Derinliği, AOD) bulunmaktadır.

Atmosferdeki en yaygın aerosollerden birisi olan tozlar, büyük partikül çaplarına bağlı olarak yüksek Aerosol Optik Derinliği (AOD) ve düşük Angstrom Exponent (AE) değerine sahiptirler. **Aerosol Optik Derinliği (AOD)**, 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 görülebilmektedir.

Parçacık büyüklüklerinin tespiti ve değerlendirilmesi için **Angstrom Exponent (AE)** parametresi kullanılmaktadır. AE'nin küçük olması, aerosol çaplarının büyük olduğunu, yani toz gibi büyük çaplı parçacıkların ortamda daha baskın olduğunu göstermektedir. AE'nin yüksek değerleri ise insan kaynaklı (antropojenik) emisyonlar gibi küçük çaplı aerosollerin ortamda çok daha fazla ve baskın olduğunu ifade etmektedir.

Dünya üzerindeki birçok kurum ve enstitü tarafından geliştirilen toz taşınımı tahmin modelleri bulunmaktadır. Sayısal hava tahmin modellerine toz taşınımı mekanizması tanımlanarak geliştirilen bu modellerden yaygın olarak kullanılan ve kabul görenlerin temel bazı özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Toz taşınımı tahmin modelleri iki farklı sınıfta tanımlanmaktadır. Küresel modeller tüm dünya üzerinde tahminler üretirken, belirli bir sinoptik ölçekte çalışan bölgesel modeller, çalışma alanı için başlangıç ve sınır koşullarını küresel sayısal hava tahmin modellerinden almaktadır. Bölgesel modeller, orta ölçekli (meso-scale) modeller olarak da adlandırılmaktadır.



METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Araştırma Dairesi Başkanlığı



Yaygın olarak kullanılan toz taşınımı tahmin modelleri

Model	Kuruluş	Özellik	Çözünürlük	Ülke
ECMWF-CAMS	ECMWF	Küresel	1° x 1°	ECMWF
NCEP-NGAC	NCEP	Küresel	1° x 1°	ABD
NASA-GEOS5	NASA	Küresel	0.25° x 0.3125°	ABD
MetUM	U.K. Met.	Küresel	0.352° x 0.234°	İngiltere
BSC-DREAM8b.v2	BSC-CNS	Bölgesel	1/3° x 1/3°	İspanya
NMMB/BSC-Dust	BSC-CNS	Bölgesel	1/3° x 1/3°	İspanya
DREAM-NMME	SEEVCCC	Bölgesel	1/3° x 1/3°	Sırbistan
CHIMERE	LMD	Bölgesel	1° x 1°	Fransa

Toz Taşınımı Tahmin Modellerinin bölgelere ve mevsimlere göre tahmin tutarlılıklarında farklılıklar görülmektedir. Barselona’da bulunan Toz Taşınımı Tahmin ve Değerlendirme Merkezi tarafından bazı modellerin 2017 yılına ait tahminlerinin AERONET (Aerosol Robotik Ağı) istasyonlarına ait gözlemler ile hesaplanan korelasyon katsayıları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Modellerin 2017 yılına ait tahminlerinin AERONET istasyonları gözlemleri ile hesaplanan korelasyon katsayıları

Bölge/Model	BSC DREAM8b	ECMWF - CAMS	DREAM8- NMME	NMMB/ BSC-Dust	MetUM	NASA GEOS-5	NCEP NGAC	Ort.
Sahra/Sahel	0.51	0.69	0.60	0.57	0.69	0.75	0.48	0.61
Orta Doğu	0.21	0.64	0.46	0.06	0.65	0.57	0.44	0.43
Akdeniz	0.48	0.67	0.63	0.51	0.74	0.70	0.59	0.62
Toplam	0.45	0.70	0.59	0.54	0.72	0.75	0.53	0.61

MGM Toz Taşınımı Tahminleri

Barselona Süper Bilgisayar Merkezi tarafından geliştirilen BSC-DREAM8b modeli ile 2010 yılında başlatılan “Toz Taşınımı Tahminleri”, 2019 yılından itibaren ECMWF-CAMS (Orta Vadeli Hava Tahminleri Avrupa Merkezi - Kopernik Atmosfer İzleme Servisleri) modeli ile operasyonel olarak sürdürülmektedir. 3’er saatlik aralıklarla 72 saatlik olarak üretilen tahminler internet ortamında günlük olarak yayınlanmaktadır.



METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

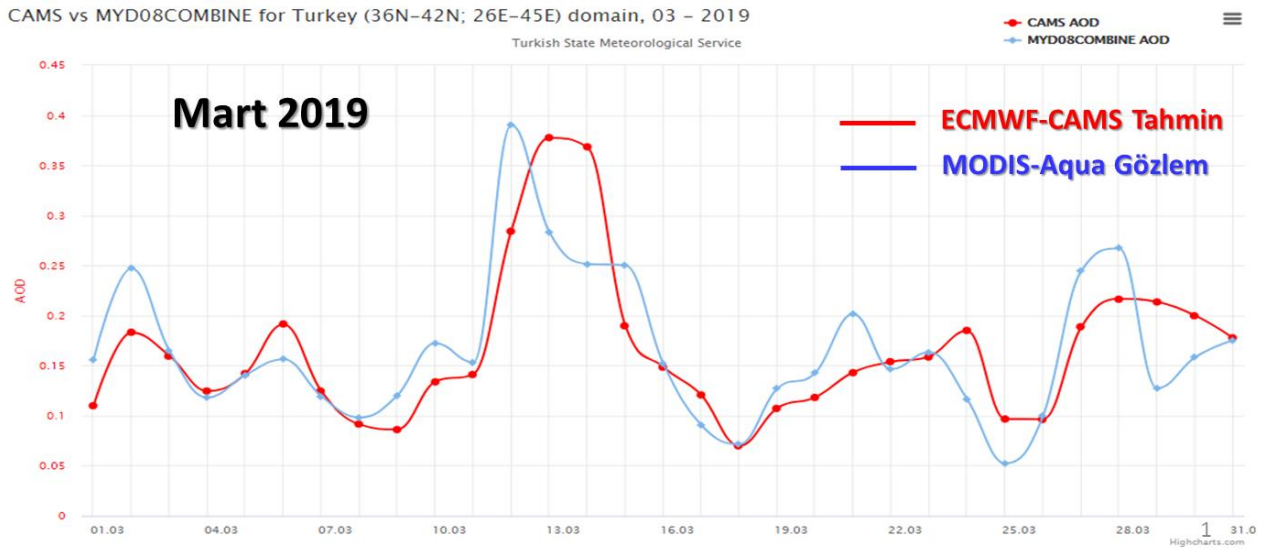
Araştırma Dairesi Başkanlığı



Kopernik, Avrupa Birliği'nin dünya gözlem programıdır. AB üyeleri, Avrupa Uzay Ajansı (ESA), EUMETSAT ve ECMWF ile işbirliği içerisinde çalışmaktadır. Kopernik Atmosfer İzleme Servisleri (CAMS) ise programın Atmosfer alanını oluşturmaktadır.

MGM tarafından yayınlanan toz taşınımı tahminlerinde, Toz Aerosol Optik Derinliği (DOD, Dust AOD) ve Yer Seviyesi Toz Konsantrasyonları bulunmaktadır.

ECMWF-CAMS model tahminlerinin MODIS uydu verisi ile yapılan değerlendirmeleri sonucunda, Türkiye'nin yer aldığı bölge için yüksek tutarlılıkta tahminler ürettiği gözlenmiştir. Örnek olarak 2019 yılı Mart ayı tahmin ve gözlemlerinin yer aldığı grafik aşağıda verilmiştir. Tahminlerin uydu gözlemleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. 2019 yılı tahmin yapılan tüm çalışma bölgeleri için yapılan istatistik analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.





METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Araştırma Dairesi Başkanlığı



2019 yılı Tahmin ve Gözlem Analizleri

Dönem: Ocak - Aralık 2019

<i>Domain</i>	<i>CORR</i>	<i>FGE</i>	<i>MBE</i>	<i>RMSE</i>
<i>Batı Asya (10N-50N; 20E-80E)</i>	0,9184	0,1045	0,0234	0,0378
<i>Orta Doğu (15N-39N; 35E-65E)</i>	0,8845	0,1466	0,0422	0,0670
<i>Orta Asya (15N-50N; 25E-80E)</i>	0,8760	0,1047	0,0179	0,0399
<i>Kuzey-Doğu Afrika (10N-36N; 20E-36E)</i>	0,8471	0,2390	0,0606	0,0732
<i>Türkiye (36N-42N; 26E-45E)</i>	0,8343	0,1594	-0,0043	0,0472

İstatistik Analizler

Yapılan tahminlerin verifikasyonu için öncelikle tahmin değerleri ile gözlemler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmış, daha sonra bu değerler için Oransal Toplam Hata, Ortalama Standart Hata ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökleri hesaplanmıştır.

Korelasyon Katsayısı (r), tahminlerin gözlemlerle ne ölçüde eşleştiğini göstermektedir. Korelasyon katsayısı, bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve büyüklüğünü belirten katsayıdır. Bu katsayı, (-1) ile (+1) arasında bir değer alır. Pozitif değerler doğrusal yönlü ilişkiyi; negatif değerler ise ters yönlü bir ilişkiyi belirtir. Korelasyon katsayısı 0 ise söz konusu değişkenler arasında herhangi bir ilişki yoktur.

Oransal Toplam Hata (Fractional Gross Error, FGE), 0 ile 2 arasında değişen bir model hatası ölçüsüdür ve aşırı uçları fazla vurgulamadan en düşük ve en yüksek tahminler açısından simetrik davranır. Hesaplanan değer 0'a ne kadar yakın olursa, tahmin o kadar başarılıdır.

Ortalama Sapma Hatası (Mean Bias Error, MBE), bir tahmin modelinin sistematik hatasını düşük veya yüksek tahmin için temsil eden ortalama tahmin hatasıdır. Hesaplanan değerlerin sıfıra yakınlığı yapılan tahminlerinin doğruluğunun arttığını göstermektedir. Negatif değerler düşük tahminleri ve pozitif değerler yüksek tahminleri göstermektedir.

Ortalama Karekök Hatası (Root Mean Square Error, RMSE), bir modelin nicel verileri tahmin etme hatasını ölçmenin standart bir yoludur. Hesaplanan değerlerin sıfıra yakınlığı yapılan tahminlerinin doğruluğunun arttığını göstermektedir. Genellikle 0.1 değerinden daha düşük hesaplanan sonuçlar tahminlerin başarılı olduğunu göstermektedir. Hesaplanan değerlerin 0.5'ten büyük olması, modelin verileri doğru tahmin etme yeteneğinin zayıf olduğunu yansıtmaktadır.