

AEROSOL OPTİK DERİNLİĞİ VERİLERİNİN TÜRKİYE İÇİN ALANSAL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Cihan DÜNDAR¹, Kahraman OĞUZ¹, Gülen GÜLLÜ²
cdundar@mgm.gov.tr, koguz@mgm.gov.tr, ggullu@hacettepe.edu.tr

¹ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara
² Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET

Aerosol terimi; gaz içerisinde disperse olmuş (dağılmış) ve gazla sarılmış 10 mikrondan daha küçük çaplı sıvı veya katı parçacıklardan oluşan çok fazlı sistem olarak adlandırılır. Uydudan elde edilen aerosol optik derinliği (AOD) ölçüm verileri, aerosollerin dağılımı ve etkilerinin çalışılması için en etkili yöntemlerden birisidir. İncelenen bir bölgedeki AOD değerlerine oldukça yakın ölçümü ve günde 2 sefer veri alması sebebiyle MODIS sistemi bu tarz çalışmalar için oldukça uygun bir yöntemdir.

Bu çalışmada, MODIS/Aqua uydusunun aerosol optik derinliği ölçümü ile sinoptik rasat kayıtlarındaki toz gözlem sayıları kullanılmıştır. Çalışma periyodu olarak 2003-2012 yılı aralığı seçilmiş ve verilerin Türkiye için zamansal değişimleri incelenmiştir. Bu veriler yardımıyla Türkiye'ye ait aylık, mevsimlik ile yıllık ortalama toz gözlem ve aerosol eğilim grafiği çizdirilmiş, dağılım haritaları ise coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında oluşturulmuş ve değerlendirilmiştir. Sonuçta, Türkiye üzerinde toz gözlem sayıları ve AOD değerleri gerek yıllık, gerekse de mevsimsel ve aylık olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. İncelenen verilerde, özellikle 2008 yılında çeşitli bölgelerde önemli derecede artış olduğu fark edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: MODIS uydu verisi, Aerosol optik derinliği, Mevsimsel aerosol değişimi, CBS

INVESTIGATION OF SPATIAL AND TEMPORAL CHANGES OF AEROSOL OPTICAL DEPTH DATA OVER TURKEY

ABSTRACT

Aerosol term can be defined as multi-phase system which consists of solid or liquid particles which is dispersed or surrounded by gas smaller than 10 micron. Satellite derived column aerosol optical depth (AOD) is one of the most cost effective way to study aerosols distribution and effects. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) derived AOD is well suited for such study due to its revisit cycle of 1-2 days as a result a close estimate of AOD is made for a given region.

In this study, aerosol optical depth (AOD) measurements of MODIS/Aqua and dust observations from synoptic records were used. The study period was selected as 2003-2012 years range and temporal change of these data was investigated over Turkey. Monthly, seasonal and annual Turkey's average aerosol trend graphics were prepared by these data and mapped in GIS to evaluate. Eventually, dust observation numbers and AOD values over Turkey showed very strong temporal variations as annual, seasonal and monthly. It was also indicated that data investigated showed significant increase in 2008 for various regions.

Keywords: MODIS satellite data, Aerosol optical depth, Seasonal aerosol change, CBS

1. GİRİŞ

Havadaki parçacıkların en önemli kaynakları rüzgar ile havalanan toprak parçacıkları, deniz tuzu, fosil yakıtlarının yanması ve diğer endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan parçacıklar ile volkanik aktivitelerdir (Cawse, 1980). Atmosferdeki aerosoller doğal ve antropojenik olmak üzere iki kaynaklıdır. Doğal kaynaklı aerosollere mineral tozlar, deniz tuzu, volkanik faaliyetler sonucu oluşan parçacıklar örnek olarak verilebilirken; antropojenik kaynaklı aerosollere ise fosil ve biyokütle yanması sonucu oluşan parçacıklar örnek olarak verilebilir.

En önemli doğal aerosol türlerinden birisi olan mineral tozlar, taşınım yolu ile kendi ülke sınırlarının yanında diğer ülkeler üzerinde de etkili olmaktadır. Bu sebeple, toz taşınımı dünya ekosistemi için büyük önem taşımaktadır. Çöllerden kalkan tozlar, atmosferin üst tabakalarına yükselerek uzun mesafeler kat etmektedir. Göreceli olarak büyük olan toz parçacıkları, kaynak alanlarının yakınında çökerken, 10 µm'den daha küçük olanlar ise binlerce kilometre yol kat edebilmektedir.

Yapılan hesaplamalara göre, boyutu 5.0-8.0 µm arasında olan parçacıkların atmosferdeki yaşam süreleri sadece birkaç gün iken, 0.15-0.25 µm parçacık boyutuna sahip olanlar 10 güne kadar atmosferde kalarak uzun mesafelere taşınmaktadır (Tegen and Lacis, 1996).

Tablo 1. Partikül büyüklüğüne göre atmosferik yaşam süreleri.

Partikül boyutu (µm)	0.2	0.3	0.4	0.8	1.5	2.5	5.0	8.0
Atmosferik yaşam süresi (saat)	231	229	225	219	179	126	67	28

Aerosoller güneş radyasyonunu soğurmakta, yansıtmakta (direkt etki) ve bulut mikro fiziği özelliklerini etkilemektedirler (dolaylı etki). Bu nedenle, Dünya enerji bütçesi ve hidrolojik döngüde önemli rol oynamaktadırlar (Charlson vd., 1992). Aynı zamanda, görüş mesafesini azaltmakta ve insan sağlığını da etkilemektedirler (Samet vd., 2000). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 4. Değerlendirme raporu, aerosollerin direkt ve dolaylı etkileri nedeniyle oluşan soğumanın, antropojenik CO₂ nedeniyle gerçekleşen ısınmadan çok daha fazla oranda olduğunu belirtmiştir. Fakat bu değerlendirme iklim modellerinde önemli ölçüde bir belirsizliği de beraberinde getirmiştir. Çünkü iklim modellerinde aerosol etkilerinin göz önüne alınabilmesi için gözleme dayalı küresel aerosol karakteristiği verileri gerektirmektedir (IPCC, 2007).

MODIS sensörünün çeşitli uyduları tarafından sağlanan aerosol optik derinliği (AOD) verileri, aerosol özellikleri hakkında bölgesel ve küresel olarak önemli bilgiler sağlamaktadır (Remer vd., 2005). MODIS sensör ürünleri, günde iki defa olan ölçümü ile yüksek alansal ve spektral çözünürlüklü aerosol verileri sağlamaktadır. Ürünler hem okyanus, hem de bitki örtüsüyle kaplı bölgeler üzerinde 10×10 km çözünürlükle alınabilmektedir. Bu avantajları, MODIS verisini birçok araştırmalarda cazip kılmaktadır. AOD birimsiz olmakla birlikte, genellikle 0-1 değerleri arasında değişim göstermektedir. Değer 0'dan 1'e doğru arttıkça, atmosferde bulunan aerosol miktarı da artmaktadır. 1'in üzerindeki değerler kuvvetli ve çok kuvvetli kum ve toz fırtınalarını ifade etmektedir.

Parçacık büyüklüklerinin tespiti ve değerlendirilmesi için Angstrom Exponent (AE) parametresi kullanılmaktadır. Angstrom Exponent, MODIS, MISR ve SeaWiFS gibi uydu gözlemlerinin farklı kanallarında yapılan ölçümler kullanılarak hesaplanmaktadır. AE'nin küçük olması, aerosol çaplarının büyük olduğunu, yani toz olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. AE'nin yüksek değerleri ise küçük çaplı aerosollerin ortamda çok daha fazla ve baskın olduğunu ifade etmektedir. AERONET istasyonlarında yapılan ölçümler kullanılarak, aerosol kaynak alanlarının temsili için yapılan sınıflandırma çalışmasında, AE'nin 0'a yakın değerlerinin genel olarak büyük parçacıkları (yarıçap, $r > 1 \mu\text{m}$), AE'nin 2 civarında olduğu değerlerin ise genel olarak küçük parçacıkları (yarıçap, $r < 1 \mu\text{m}$) gösterdiği belirtilmektedir (Giles et al., 2012).

Yapılan diğer çalışmalarda, büyük pozitif AE değerlerinin, ortamda küçük aerosol parçacıklarının (ince mod) baskın olduğu (Eck et al., 2001), sıfıra yakın ve negatif değerlerin ise büyük parçacıkların daha yoğun olduğu (Eck et al., 2001; Kaskaoutis and Kambezidis, 2006) durumlar şeklinde açıklanmıştır.

Diğer taraftan, IPCC, başlıca iklim değişkenlerinden biri olan atmosferik aerosollerin önemli bir bileşeni olarak atmosferik tozu kabul etmektedir. Bu nedenle, aerosol verilerinin yanında spesifik olarak atmosferik toz gözlemlerinin de detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Türkiye, coğrafi konumu itibariyle Sahra ve Orta Doğuda bulunan çöllere olan yakınlığı ve orta enlem alçak basınç merkezlerinden en fazla etkilenen ülkeler arasında yer alması sebebiyle önemli miktarda çöl tozu taşınımına uğramaktadır. Bu nedenle Türkiye, hem Afrika hem de Orta Doğu kaynaklı çöl tozlarından etkilenmektedir.

Suriye ve Irak sınırına yakın yerleşimlerimiz başta olmak üzere, Güneydoğu Anadolu bölgesi ve Konya-Karaman havzası toz taşınımından en fazla etkilenen yörelerimizdir (Dündar vd., 2013). Kuzey Afrika'dan kalkan çöl tozları, genellikle Orta ve Doğu Akdeniz'i aşarak Ege ve Akdeniz bölgesi üzerinden giriş yaparken, Suriye ve Irak kökenli tozlar başta olmak üzere Orta Doğudan kaynaklanan toz taşınımları ise Güneydoğu Anadolu Bölgemiz üzerinden Anadolu coğrafyasına uzanarak etkili olmaktadır. Bunun yanında yapılan bazı çalışmalar yerel kaynaklı toz fırtınalarının Türkiye'de etkili olduğunu da göstermiştir (Oğuz ve Dündar, 2014).

Bu çalışmada, uydudan elde edilen Aerosol Optik Derinliği ve Angstrom Katsayısı verilerinin yanında, rasat edilen Kum ve Toz Fırtınalarının sayısı 2003-2012 periyodu için incelenmiştir. Elde edilen verilerin zamansal ve mekansal değişimleri detaylı bir şekilde analiz edilerek, birbirleri ile karşılaştırması yapılmıştır.

2.MATERYAL VE METOT

Dünya ölçeğinde toz taşınımı ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmakla birlikte, ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar az sayıdadır. Özellikle yıllık ve mevsimsel toz taşınımı değerlendirmeleri yetersizdir. Bu çalışmada, Türkiye'de, kum ve toz fırtınalarının (KTF) alansal ve zamansal değişiminin incelenmesine yönelik olarak, 2003-2012 dönemi sinoptik meteoroloji rasatları ve aynı döneme karşılık gelen MODIS-Aerosol Optik Derinliği

(AOD) ve Angstrom Exponent (AE) verileri kullanılmıştır. 2003-2012 dönemine ait sinoptik rasatlardan, çalışma alanı içerisinde gözlemleri süreklilik arz eden 60 adet Meteoroloji İstasyonuna ait KTF sayılarının alansal ve zamansal değişimi incelenmiştir.

Türkiye'nin hem Sahra, hem de Arabistan Yarımadası kaynaklı çöl tozlarına maruz kaldığı göz önünde bulundurulmuş ve Türkiye coğrafyası 37° doğu boylamı esas alınarak, Batı ve Doğu bölümleri olmak üzere iki parçaya ayrılarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

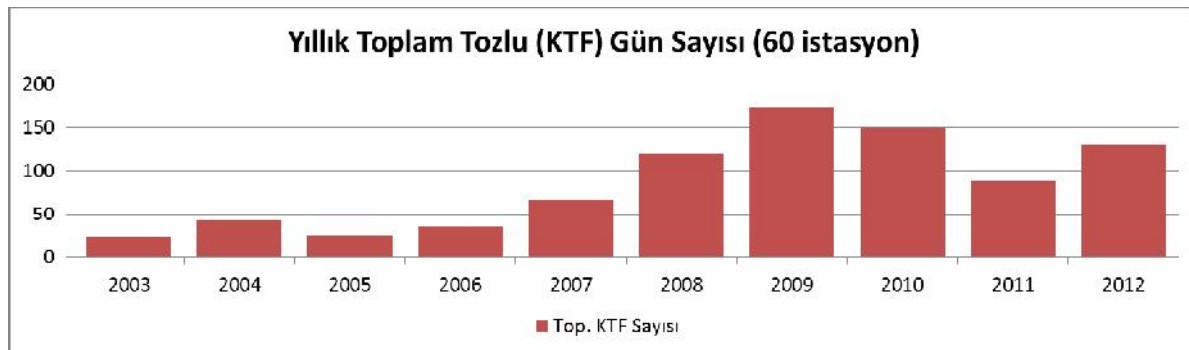
Uydu aerosol ürünleri, en önemli aerosol çeşitlerinden birisi olan toz kaynak alanları ve tipik toz taşınım olaylarının tespiti için kullanılabilir. Toz aerosolleri, NASA-MODIS, MISR ve EUMETSAT-MSG gibi çeşitli uydular tarafından görüntülenmektedir. MODIS aerosol ürünleri, sadece bulutsuz bölgeler için oluşturulmaktadır. MODIS aerosol ürünü, küresel olarak okyanusların veya kıtaların bir kısmının üzerindeki ortamın aerosol optik kalınlığını 10×10 km çözünürlükle görüntülemektedir. Bu çalışmada MODIS Aqua uydusuna ait 550 nm dalga boyunda AOD verileri ile karasal alanlar için hesaplanan Angstrom Exponent (AE) verileri NASA'nın internet sitesinden temin edilerek analizi yapılmıştır.

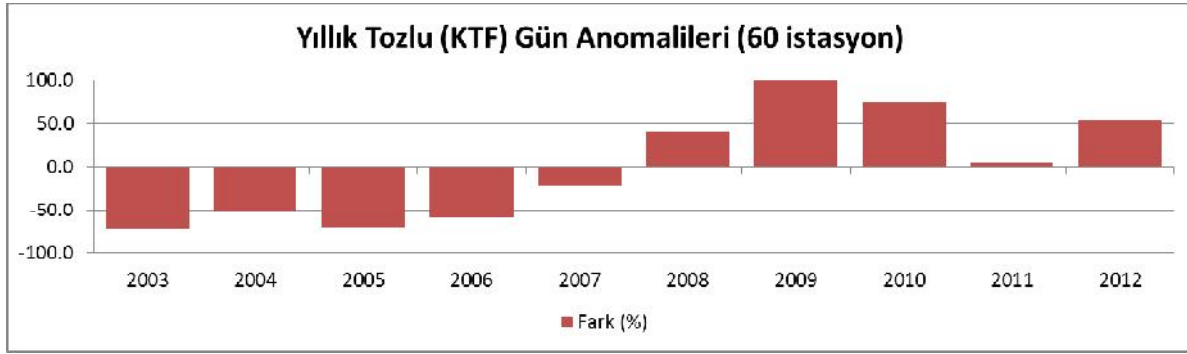
Yürütülen çalışmada ayrıca, Excel, Xlstat ve CBS yazılımlarından yararlanılmıştır. İstasyonlardan elde edilen ölçümler ve uydu gözlemleri ile ArcGIS programı yardımıyla noktasal veri tabanı oluşturulmuştur. Daha sonra programın çeşitli araçları kullanılarak, gözlemlerin Türkiye üzerinde dağılışı analizleri (görüntülenmesi) yapılarak aerosol verilerinin ve toz gözlem sayılarının zamansal ve alansal değişimleri incelenmiştir.

3. HESAPLAMALAR ve BULGULAR

Türkiye'nin özellikle güney ve doğu bölgelerinde son 10 yılda Kum ve Toz Fırtınalarının (KTF) sayısında önemli ölçüde artış yaşandığı tespit edilmiştir. Hem sinoptik gözlem verileri (Şekil 1.a, 1.b), hem de MODIS AOD verileri bu artışı teyit etmektedir (Şekil 2).

Çalışma periyodunun ilk 5 yıllık ortalamalarının tamamı 10 yıllık ortalamanın altında kalırken, ikinci 5 yıllık ortalamalar 10 yıllık ortalamanın üzerinde bulunmuştur (Şekil 1.b). Bu durum Türkiye coğrafyasında yaşanan Kum ve Toz Fırtınalarının (KTF) sayısının, 10 yıllık çalışma periyodunun ikinci yarısında arttığını göstermektedir.





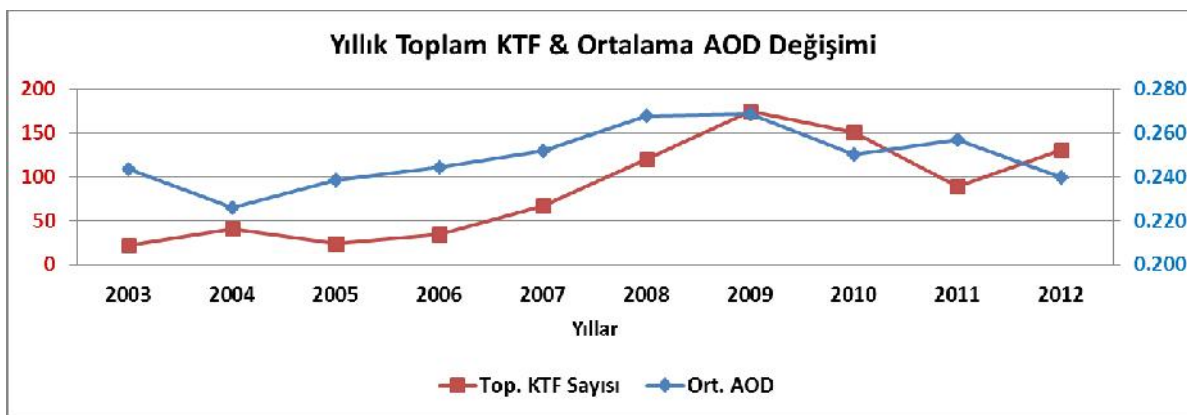
Şekil 1. Yıllık toplam tozlu (KTF) a) gün sayıları ve b) anomalileri değişimi.

MODIS gözlemleri, rasat edilen KTF sayılarına belirli ölçüde paralellik göstermektedir. MODIS AOD ölçümlerine göre, 2004 yılında bir önceki yıla göre bir azalma gerçekleşmiş, daha sonra 2008 yılına kadar artış eğilimine girmiştir. 2008 yılından itibaren ise değerlerde inişli çıkışlı bir durum görülmektedir. 2004, 2005, 2011 ve 2012 yıllarında rasat edilen KTF sayıları ile AOD ölçümleri ters yönde eğilim içindedir (Şekil 2).

Kum ve Toz Fırtınalarının (KTF) sayısı ile MODIS AOD ölçümleri arasında % 95 anlamlılık düzeyinde anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Her 2 dizinin yıllık ortalamaları dikkate alınarak hesaplanan Korelasyon Katsayısı 0.637, R^2 değeri ise 0.405 ($p=0.048^*$, $\alpha=0.05$) olarak bulunmuştur.

Gözlenen KTF sayılarının 10 yıl içindeki değişiminin eğimi +14.52 olarak hesaplanmıştır. Bu değişim için “ $t=3.690$ ” değeri elde edilmiş ve istatistiksel olarak % 95 anlamlılık düzeyinde anlamlı bir artış görülmüştür (Serbestlik Derecesi 8 için ($n=10$), % 95 anlamlılık düzeyinde tek yönlü tablo değeri, $t_{0.95}= 1.860$).

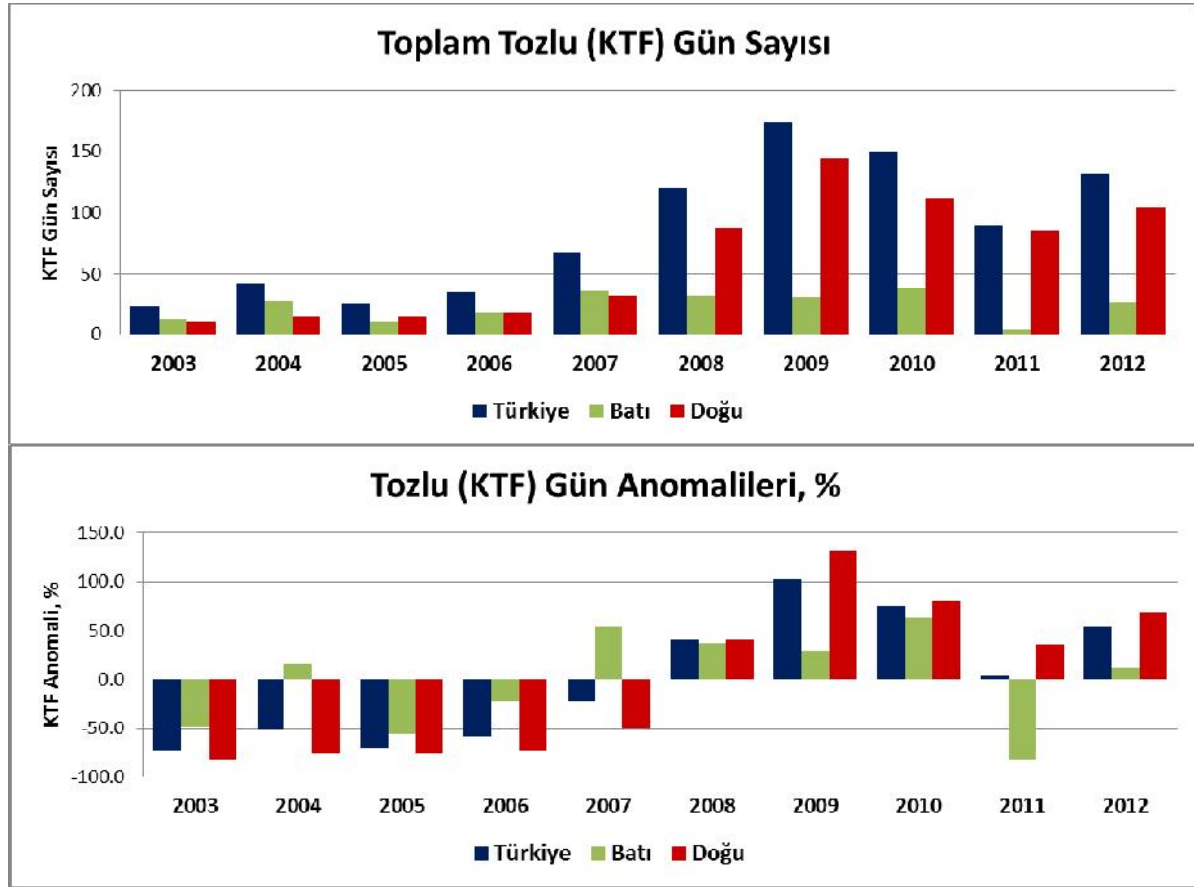
Diğer taraftan MODIS AOD ölçümlerinin 10 yıl içindeki değişiminin eğimi +0.0020 olarak hesaplanmış, ancak yapılan istatistiksel değerlendirmede % 95 anlamlılık düzeyinde anlamlı bir değişim görülmemiştir ($t=1.444$).



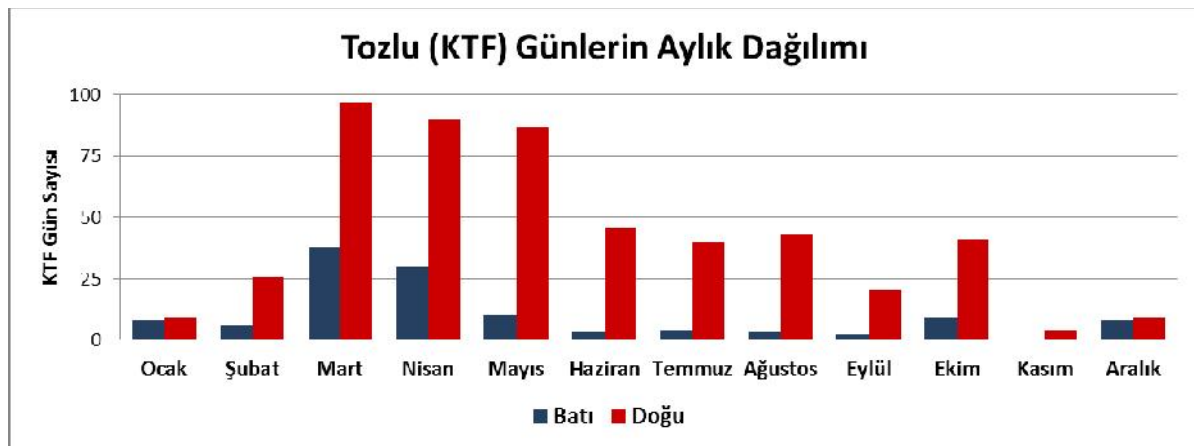
Şekil 2. Toplam tozlu gün (KTF) sayıları ile alansal AOD ortalamalarının yıllık değişimi.

37° doğu boylamı esas alınarak, Batı ve Doğu bölümleri olmak üzere iki parçaya ayrılarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Yapılan analizlere göre Türkiye'nin doğusunda yaşanan toz taşınımı olaylarının toplam sayısı (85.6 adet/yıl, 23 istasyon), batı bölümünde yaşanan toplam toz taşınımı olaylarına (23.3 adet/yıl, 37

istasyon) göre oldukça yüksek bulunmuştur (Şekil 3). KTF olaylarının yoğun olarak yaşanma oranları sırasıyla, ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemleridir (Şekil 4).



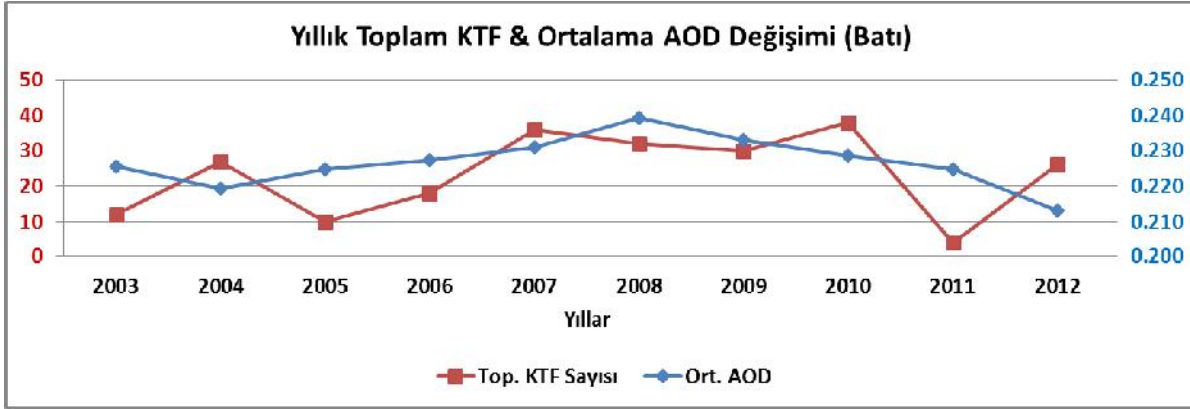
Şekil 3. Bölgelere göre KTF, a) gün sayıları ve b) anomalileri değişimi



Şekil 4. Bölgelere göre KTF sayılarının aylık değişimi.

37° doğu boylamının batısı için yapılan değerlendirme sonucu, Kum ve Toz Fırtınalarının (KTF) sayısı ile MODIS AOD ölçümleri arasında % 95 anlamlılık düzeyinde anlamlı olmayan bir ilişki bulunmuştur. Her 2 dizinin yıllık ortalamaları dikkate alınarak hesaplanan Korelasyon Katsayısı 0.321, R^2 değeri ise 0.103 ($p=0.366$, $\alpha=0.05$) olarak bulunmuştur (Şekil 5).

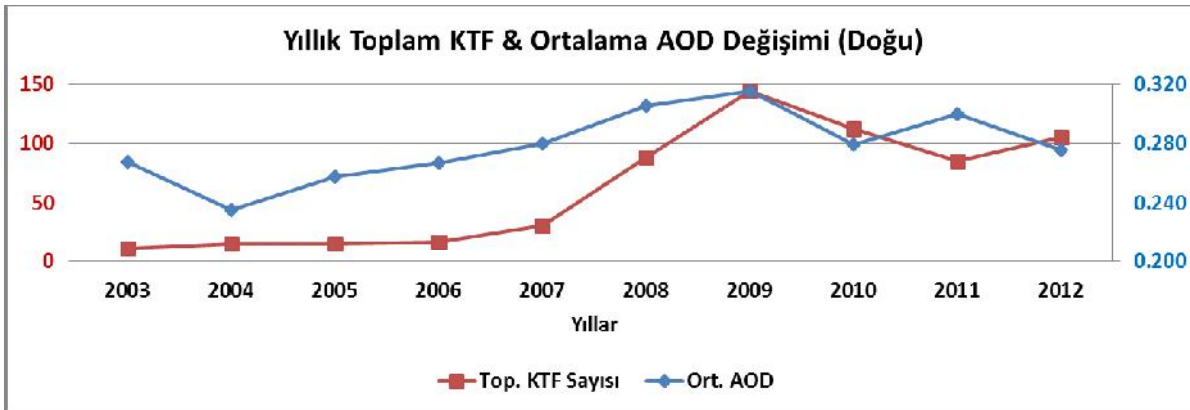
Türkiye'nin batısında gözlenen KTF sayıları ve MODIS AOD ölçümlerinin 10 yıl içindeki değişiminin istatistiksel değerlendirilmesi sonucunda anlamlı bir eğilim bulunmamıştır (KTF eğim= +0.83, $t=0.624$; AOD eğim=-0.0002, $t=-0.205$).



Şekil 5. Türkiye'nin Batısı için yıllık KTF ve AOD değişimi

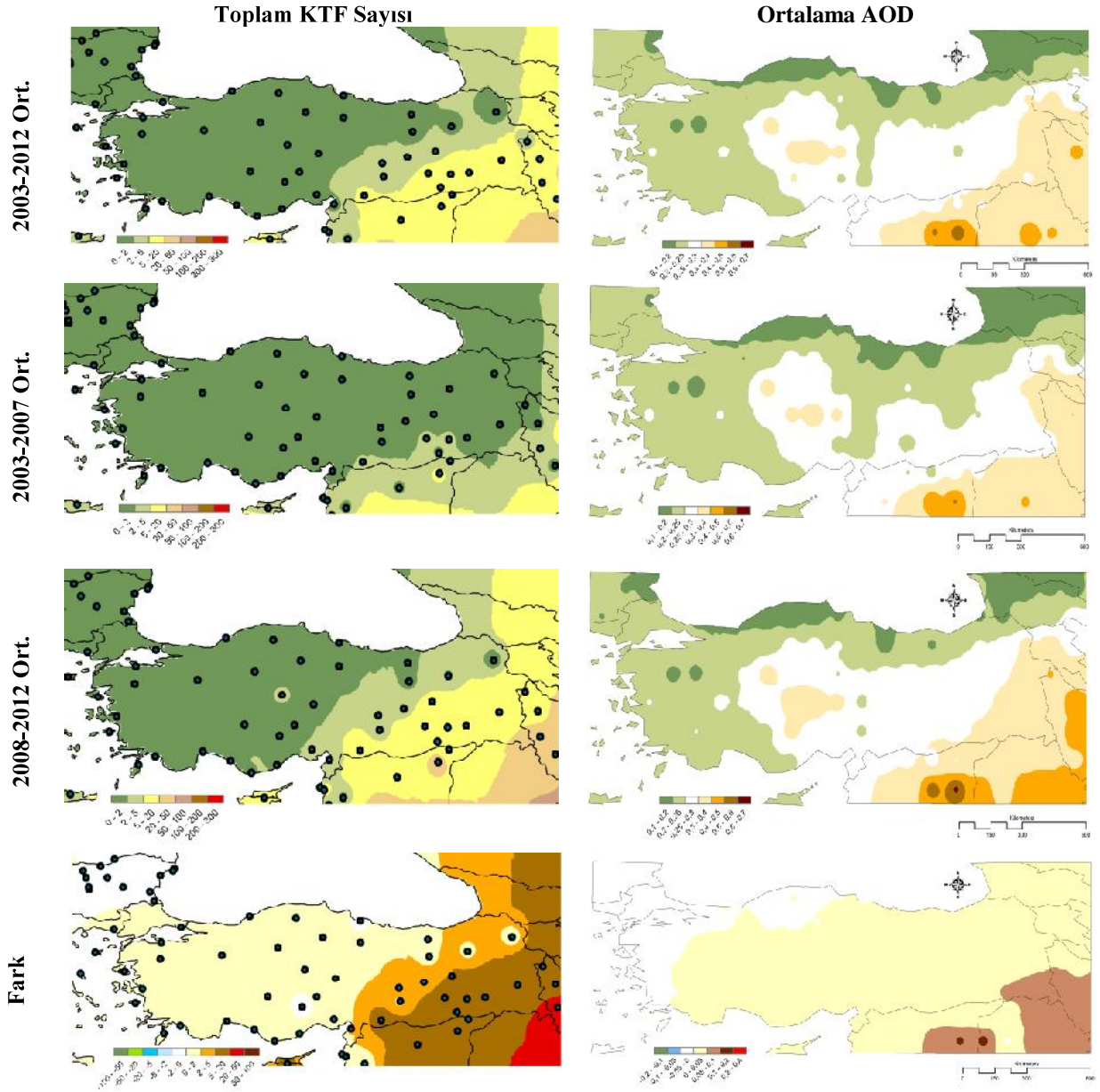
37° doğu boylamının doğusu için yapılan değerlendirme sonucu, Kum ve Toz Fırtınalarının (KTF) sayısı ile MODIS AOD ölçümleri arasında % 95 anlamlılık düzeyinde anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Her 2 dizinin yıllık ortalamaları dikkate alınarak hesaplanan Korelasyon Katsayısı 0.765, R^2 değeri ise 0.585 ($p=0.010^*$, $\alpha=0.05$) olarak bulunmuştur (Şekil 6).

Türkiye'nin doğusunda gözlenen hem KTF sayılarının, hem de MODIS AOD ölçümlerinin 10 yıl içindeki değişiminin istatistiksel değerlendirilmesi sonucunda anlamlı bir artış eğilimi elde edilmiştir (KTF eğim= +13.69, $t=4.260$; AOD eğim=+0.0048, $t=2.205$).



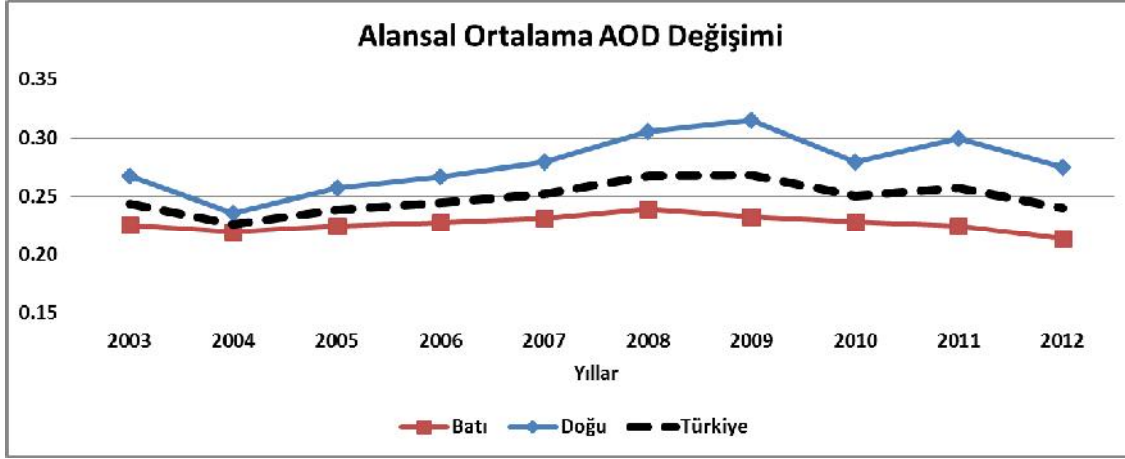
Şekil 6. Türkiye'nin Doğusu için yıllık KTF ve AOD değişimi

Türkiye'nin doğusunda gözlenen Kum ve Toz Fırtınalarının (KTF) sayısı ile MODIS AOD ölçümleri alansal değişim haritaları Şekil 7'de verilmiştir. Haritalardan da görüleceği üzere Türkiye'nin doğu bölgelerinde gözlenen hem KTF sayıları, hem de AOD değerleri daha yüksektir. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesinde çalışma periyodunun ikinci yarısında (2008-2012), ilk yarısına oranla önemli bir artış gözükmektedir. Periyodun ikinci yarısının ortalamaları ile ilk yarısının ortalamalarının farkı alındığında, bu artış çok daha net bir şekilde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 7. KTF ve AOD Alansal değişim haritaları.

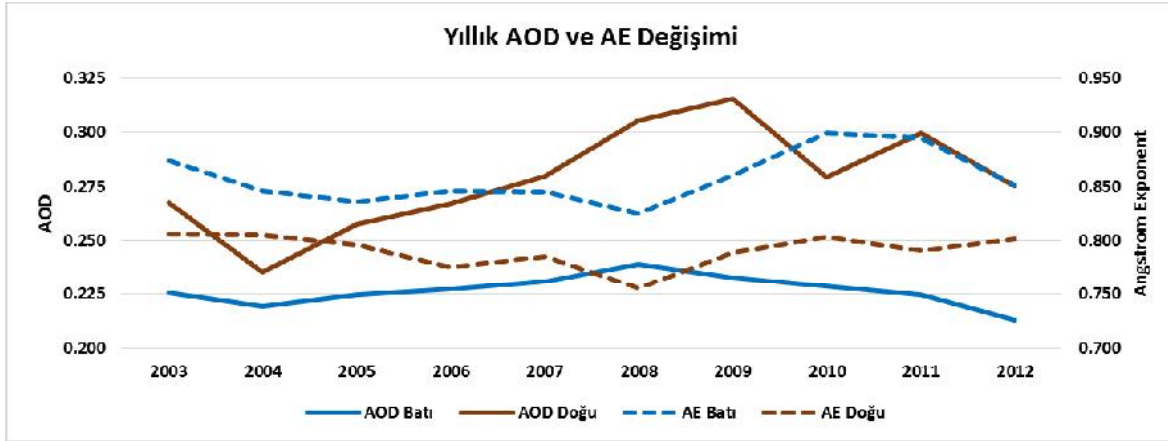
Alansal AOD değerlerinin alansal ortalamalarının yıllık değişimi incelendiğinde, Türkiye'nin doğu bölgelerinde ölçülen AOD değerlerinin, batı bölgelerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Türkiye'nin Batısı ve Doğusu için yıllık AOD değişimi.

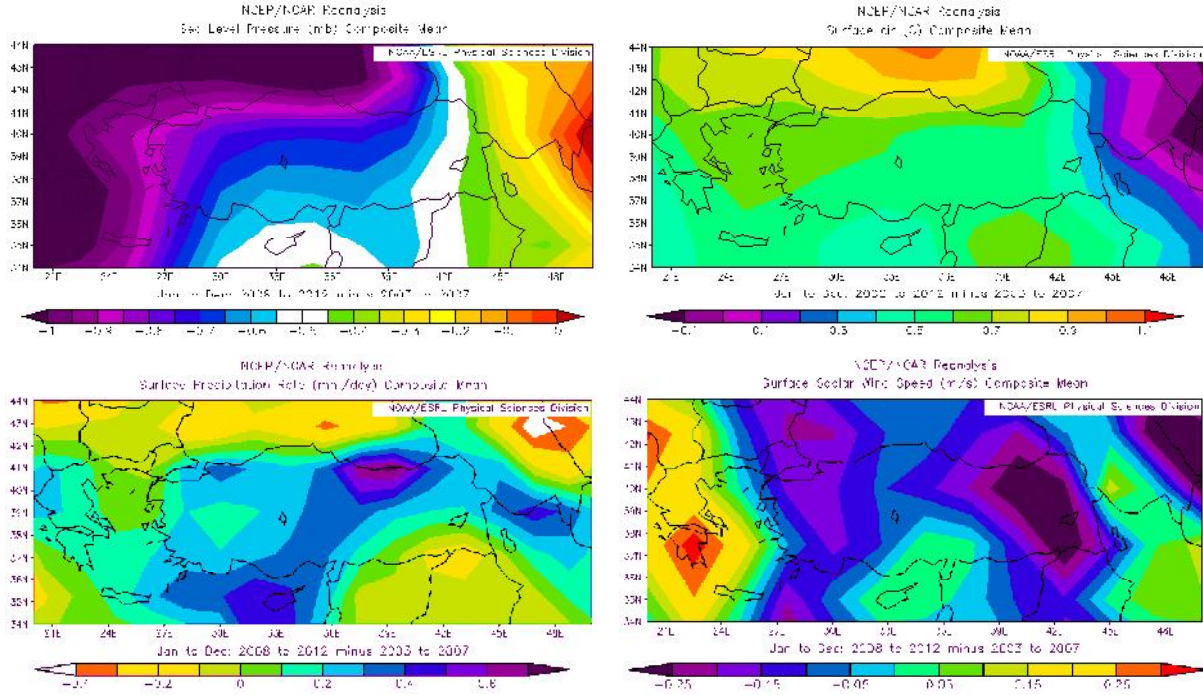
MODIS sensörü tarafından ölçülen AOD değerlerinin yıllık ortalamaları ile hesaplanan Angstrom Exponent (AE) değerlerinin yıllık ortalamaları Şekil 9'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Türkiye'nin batısında ölçülen AOD değerlerinin doğusuna göre daha düşük, Angstrom Exponent (AE) değerlerinin ise daha yüksek (parçacık büyüklükleri daha küçük) bulunmuştur.

Türkiye'nin batı bölgelerinde AOD değerlerinde yıllara göre önemli bir değişiklik görülmezken, AE değerlerinde hafif bir artış gözlenmiştir. Doğu bölgelerinde ise, AE değerlerinde hafif bir artış eğilimi bulunurken, AOD ortalamalarında önemli bir artış görülmektedir.



Şekil 9. Türkiye'nin Batısı ve Doğusu için yıllık AOD ve AE değişimi.

Çalışma periyodunun ikinci yarısı ile ilk yarısı arasında yaşanan bazı meteorolojik parametrelerdeki değişiklikler NOAA internet sayfası kullanılarak hazırlanmış ve Şekil 10'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, periyodun ikinci yarısında Türkiye üzerindeki ortalama basınç değerlerinde 0.0-1.0 mb arasında düşüş görülürken, ortalama sıcaklıklarda 0.2-0.9 °C artış görülmektedir. Genel olarak yağış ortalamalarında artış eğilimi mevcut iken, yer rüzgarları, Doğu Akdeniz ve Ege kıyıları dışında azalma eğilimindedir.



Şekil 10. 2008-2012 dönemi Ortalamalarının, 2003-2007 dönemi ortalamalarından farkları (NOAA): a) Deniz Seviyesi Basıncı, b) Sıcaklık, c) Yağış, d) Rüzgar Hızı.

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Son 10 yılda, özellikle Türkiye'nin güney ve doğu bölgeleri başta olmak üzere Kum ve Toz Fırtınalarının (KTF) sayısında önemli ölçüde artış yaşandığı tespit edilmiştir. Bu artış hem sinoptik gözlemlerle, hem de MODIS AOD verileriyle elde edilmiştir. Çalışma periyodunun ilk 5 yıllık ortalamalarının tamamı 10 yıllık ortalamanın altında kalırken, ikinci 5 yıllık ortalamalar üzerinde bulunmuştur. Aynı zamanda, yaşanan toz olaylarındaki artışın Güneydoğu Anadolu Bölgesinden, batı ve kuzey bölgelere doğru genişlediği görülmektedir.

Türkiye için 2003-2012 yılları arasında gözlenen Kum ve Toz Fırtınalarının (KTF) sayısı ve MODIS AOD ölçümleri ile yapılan istatistiksel analiz sonuçları Tablo 2'de özetlenmiştir. Bu analizlerde, Türkiye coğrafyası hem bütün olarak, hem de doğu ve batı bölümü olarak ayrı ayrı incelenmiştir.

Tablo 2. KTF ve MODIS AOD istatistiksel analiz sonuçları

YIL	İst. Sayısı	Ort.	Kor.	p	Eğim	t
KTF Türkiye	60	85.6	0.6368	0.048	14.5212	3.690*
AOD Türkiye		0.249			0.0020	1.444
KTF Batı	37	23.3	0.3208	0.3660	0.8303	0.624
AOD Batı		0.227			-0.0002	-0.205
KTF Doğu	23	62.3	0.7649	0.010	13.6909	4.260*
AOD Doğu		0.278			0.0048	2.205*

* % 95 anlamlılık düzeyinde anlamlı (Serbestlik Derecesi 8 için (n=10), % 95 anlamlılık düzeyinde tek yönlü tablo değeri, $t_{0,95} = 1.860$).

Türkiye'nin tamamı ve doğu için yapılan korelasyon analizlerinde, Kum ve Toz Fırtınalarının (KTF) sayısı ile MODIS AOD ölçümleri arasında % 95 anlamlılık düzeyinde anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Ancak Türkiye'nin batısı için anlamlı bir ilişki elde edilmemiştir.

Türkiye'nin Batısı için hesaplanan AOD ortalaması (0.227), doğusu için hesaplanan ortalamadan (0.278) çok daha düşük olarak bulunmuş, ancak Angstrom Exponent (AE) değerleri batıda daha yüksek (0.882), doğuda daha düşük (0.792) hesaplanmıştır. AE ile aerosol parçacıklarının büyüklükleri arasında ters ilişki bulunmaktadır. AE değerlerinin büyük olması bu bölgede ölçülen aerosol parçacıklarının çaplarının (büyükliklerinin) daha küçük olması, AE'nin küçük olması ise parçacık çaplarının daha büyük olması anlamına gelmektedir.

Yapılan analizlerde, Türkiye'nin batı bölgeleri için hesaplanan daha yüksek AE değerleri küçük çaplı antropojenik aerosol emisyonlarının daha baskın olduğunu, büyük çaplı çöl kaynaklı tozların ise daha az bulunduğunu göstermektedir. Bu durumun tam tersi olarak ise, Türkiye'nin doğu bölgelerinde düşük AE değerleri ve büyük aerosol parçacıkları ile karşılaşmaktayız. Başka bir ifadeyle doğu bölgelerimizde büyük çaplı çöl kökenli toz parçacıkları daha etkili olmaktadır.

Bu durum, antropojenik kökenli aerosollerin yoğun olarak bulunduğu batı bölgelerimizde yaşanan KTF olayları ile AOD ortalamaları arasında anlamlı bir korelasyon elde edilememesini de açıklamaktadır. MODIS AOD ölçümleri, toz, deniz tuzu ve antropojenik emisyonları da içeren her türlü aerosollerini kapsarken, sinoptik istasyonlarda gözlenen KTF olaylarında sadece uzun mesafeli, bölgesel veya yerel toz olayları kayıt edilmektedir.

Doğu bölgelerimizde ise, küçük çaplı antropojenik aerosoller daha az, mineral tozlar daha yoğun bulunduğu için sinoptik KTF rasatları ile MODIS AOD ortalamaları arasında anlamlı bir korelasyon bulunmuştur.

Diğer taraftan 10 yıllık ortalamalar dikkate alınarak yapılan eğim hesaplamalarında, doğu bölgelerimiz için anlamlı bir artış eğilimi elde edilirken, batı bölgelerimiz için anlamlı bir değişim görülmemiştir.

Ayrıca, toz olaylarında artışın yaşandığı çalışma periyodunun ikinci yarısının, ilk yarısına göre daha sıcak ve yağışlı olması, özellikle yağış ve toz ilişkisinin araştırılması için önem taşımaktadır.

Sonuç olarak çalışma periyodu boyunca, Türkiye'nin batı bölgelerinde daha etkin olan Sahra kaynaklı toz taşınımı olaylarında önemli bir değişiklik gözlenmezken, Orta Doğu ve Arabistan Yarımadası kaynaklı toz taşınımlarında büyük bir artış tespit edilmiştir.

Türkiye'nin özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesiyle, Tuz Gölünün güneyinde yer alan kurak ve yarı kurak alanlardan daha fazla toz kalkışının görülmesi, Orta Doğu ve Arabistan çöllerinden kaynaklanan toz olaylarının ise sıklığının ve etkisinin artarak devam etmesi sürpriz olmayacaktır.

KAYNAKLAR

Cawse, P.A., Inorganic Pollution and Agriculture, Ministry of Agriculture, Fishers and Food, Reference Book 326, HMSO, Londra, 1980.

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

Eck, T. F., Holben, B. N., Reid, J. S., Dubovic, O., Smirnov, A., O’Neil, N. T., Slutsker, I., and Kinne, S. (1999). Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban, and desert dust aerosols. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 104(D24), 31333-31349.

Giles, D. M., Holben, B. N., Eck, T. F., Sinyuk, A., Smirnov, A., Slutsker, I., Dickerson R. R., Thompson A. M. and Schafer, J. S. (2012). An analysis of AERONET aerosol absorption properties and classifications representative of aerosol source regions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 117(D17).

IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis; 4th Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge and New York, 2007.

Kaskaoutis, D. G., Kambezidis, H. D., Hatzianastassiou, N., Kosmopoulos, P. G., & Badarinath, K. V. S. (2007). Aerosol climatology: on the discrimination of aerosol types over four AERONET sites. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 7(3), 6357-6411.

Oğuz K., Dündar C., “Mineral Tozların Türkiye’ye Taşımının ve Yerel Katkıların Değerlendirilmesi”, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi* 3 (2014) 61 – 67.

Remer, L.A., Kleidman, R.G., Levy, R.C., Kaufman, Y.J., Tanre, D., Mattoo, S., Martins, J.V., Ichoku, C., Koren, I., Yu, H., Holben, B.N., 2008. Global aerosol climatology from the MODIS satellite sensors. *J. Geophys. Res.* 113. doi:10.1029/2007JD009661.

Tegen, I., and A.A. Lacis, 1996: Modeling of particle size distribution and its influence on the radiative properties of mineral dust aerosol. *J. Geophys. Res.*, 101, 19237-19244, doi:10.1029/95JD03610.

<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni#maincontent>

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>