

TÜRKİYE'DE MART 2016 DÖNEMİNDE MEYDANA GELEN SAHRA KAYNAKLI TOZ OLAYININ MEKANSAL VE ZAMANSAL OLARAK İNCELENMESİ

Hakkı BALTAÇI^{1(*)}, Bülent O. AKKOYUNLU², Mete TAYANÇ³

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Bölgesel Hava Tahmin Merkezi, İstanbul, Türkiye

²Marmara Üniversitesi, Fizik Bölümü, İstanbul, Türkiye

³Marmara Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Çalışmamızda, 23-24 Mart 2016 tarihlerinde Sahra Bölgesinden taşınan toz parçacıklarının Türkiye'ye etkisi ve bu olayı tetikleyen atmosferik mekanizmalar detaylı şekilde incelenmiştir. Bu amaçla, 97 hava kalitesi istasyonlarının PM₁₀ ölçüm değerleri, 64 havaalanındaki METAR gözlemleri, yukarı seviyedeki meteorolojik ölçüm değerleri ve uydu ürünleri çalışmada kullanılmıştır. Yüze ve yukarı seviyelerdeki atmosferik sirkülasyonu belirlemek için, NCEP/NCAR Reanalysis verisinden yararlanılmıştır. 23 Mart 2016'da, İtalya üzerindeki alçak basınç merkezi ve Doğu Akdeniz havzasındaki yüksek basınç merkezlerinin etkileşimleri sonucunda kuvvetli güneybatılı rüzgarlar yoğun toz bulutlarını Libya üzerinden Türkiye'ye taşımıştır. Sonucunda, 43 istasyondaki günlük PM₁₀ ölçümleri (özellikle kuzey ve batı istasyonlar) uzun dönem ilkbahar ortalamalarını aşmıştır. Sonraki günde, alçak basınç merkezinin İtalya'dan Balkan Yarımadasına doğru boylamsal hareketi sonucu, daha kuvvetli güney ve güneybatılı rüzgarlar ülkenin iç kesimlerine kadar toz parçacıklarını taşımış ve Marmara, İç Anadolu, Ege ve Karadeniz bölgesindeki istasyonların sırasıyla %100, %90, %88 ve %87'sinde ortalama değerlerinden oldukça fazla PM₁₀ konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. Sinoptik koşullara ek olarak, atmosferin aşağı seviyelerindeki güçlü sübsidans Karadeniz'de yüksek partikül konsantrasyonlarına neden olurken, kuru atmosferik şartlar ve kalın enverziyon tabakası Marmara bölgesindeki ekstrem PM₁₀ değerlerini görmemize neden olmuştur.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Sahra, hava kalitesi, sinoptik analiz, metar, Türkiye

ABSTRACT

In this study, the influence of an extraordinary Saharan dust episode over Turkey on 23–24 March 2016 and the atmospheric conditions that triggered this event were evaluated in detail. PM₁₀ (particulate matter less than 10 µm) observations from 97 air quality stations, METAR (Meteorological Terminal Aviation Routine Weather Report) observations at 64 airports, atmospheric soundings, and satellite products were used for the analysis. To determine the surface and upper levels of atmospheric circulation, National Centers of Environmental Prediction (NCEP)/National Center for Atmospheric Research (NCAR) Reanalysis data were applied to the

(*) baltacihakki@gmail.com

extreme dust episodes. On 23 March 2016, high southwesterly winds due to the interaction between surface low- and high-pressure centers over Italy and Levant basin brought thick dust particles from Libya to Turkey. The daily PM₁₀ data from 43 stations exceeded their long-term spring means over Turkey (especially at the northern and western stations). As a consequence of the longitudinal movement of the surface low from Italy to the Balkan Peninsula, and the quasi-stationary conditions of the surface high-pressure center allowed for the penetration of strong south and southwesterly winds to inner parts of the country on the following day. As a consequence, 100%, 90%, 88%, and 87% of the monitoring stations in Marmara (NW Turkey), central Anatolia, western (Aegean) and northern (Black Sea) regions of Turkey, respectively, exhibited above-normal daily PM₁₀ values. In addition, while strong subsidence at the low levels of the atmosphere plays a significant role in having excessive daily PM₁₀ values in Black Sea, dry atmospheric conditions and thick inversion level near the ground surface of Marmara ensured this region to have peak PM₁₀ values ~00 Local Time (LT).

1.GİRİŞ

Toz parçacıkları günlük yaşamı etkileyen en önemli doğal afetlerden birisi olarak kabul edilmektedir. Yoğun toz fırtınası sonucunda, çöl tozundaki aerosol mineralleri kaynak bölgesinden binlerce kilometre uzağa atmosferik sirkülasyonlar yoluyla transfer edilir. Çöl tozlarından, rüzgar vasıtasıyla taşınan tozun en büyük kaynağı olarak Sahra tozu bilinmektedir [1]. Önceki çalışmalar göstermiştir ki, Sahra bölgesinden taşınan toz parçacıkları Karayipler ve Güney Amerika [2,3], Akdeniz ve Avrupa [4], Doğu Akdeniz ve Orta Asya'ya [5] başlıca transfer edilmektedir. Dünyanın değişik bölgelerine taşınımından dolayı, sağlık problemlerine [6-11], atmosferin sıcaklık ve kararlılığına [12], bulut formasyonu ve radyasyona [13], ve görüş uzaklığına [14] etkileri araştırılmıştır. Doğu Akdeniz havzasında, Sahra kaynaklı toz birikmesi, Sharav siklonlarının (soğuk Atlantik hava ile Atlas dağlarının güneyindeki sıcak karasal havanın karşılaşması sonucundaki termal farklılık) meydana gelmesinden dolayı başlıca ilkbahar aylarında görülmektedir [15]. Yüksek enerjili Sharav siklonları sonucunda, toz parçacıkları gün içerisinde 700-800 km hızla doğuya doğru taşınır. Bu nedenle, bir çok araştırmacı sinoptik ölçekli sirkülasyon paternleri ile toz parçacıkları arasındaki ilişkiyi ekstrem olayları baz alarak incelemiştir. Tsidulko [16] siklon merkezi esnasında toz tabakasındaki önemli değişimi Eta ve toz tahmin modeli kullanarak incelemiştir. Sonucunda, Akdeniz üzerindeki siklonun sıcak sektöründe toz tabakasının 8-10 km'ye kadar genişlediği ve bu durumun düşük toz yoğunluğuna sebep olduğu bulunmuştur. Diğer taraftan, yüksek yoğunluklu toz konsantrasyonunun Afrika üzerindeki soğuk cephe alanında olduğu ortaya konmuştur. Papayannis [17] güneyli hava kütlelerinin Doğu Akdeniz havzasında yüksek PM₁₀ değerlerine sebep olduğunu vurgulamıştır. Kaskaoutis [18] uydu ve yer gözlemlerini kullanarak 17 Nisan 2005 tarihli Sahra kaynaklı toz parçacıklarının Yunanistan'ı etkilemesini göstermiştir. Libya üzerinden transfer edilen kalın toz tabakası Atina üzerindeki PM₁₀ konsantrasyonunu dramatik biçimde artırmıştır.

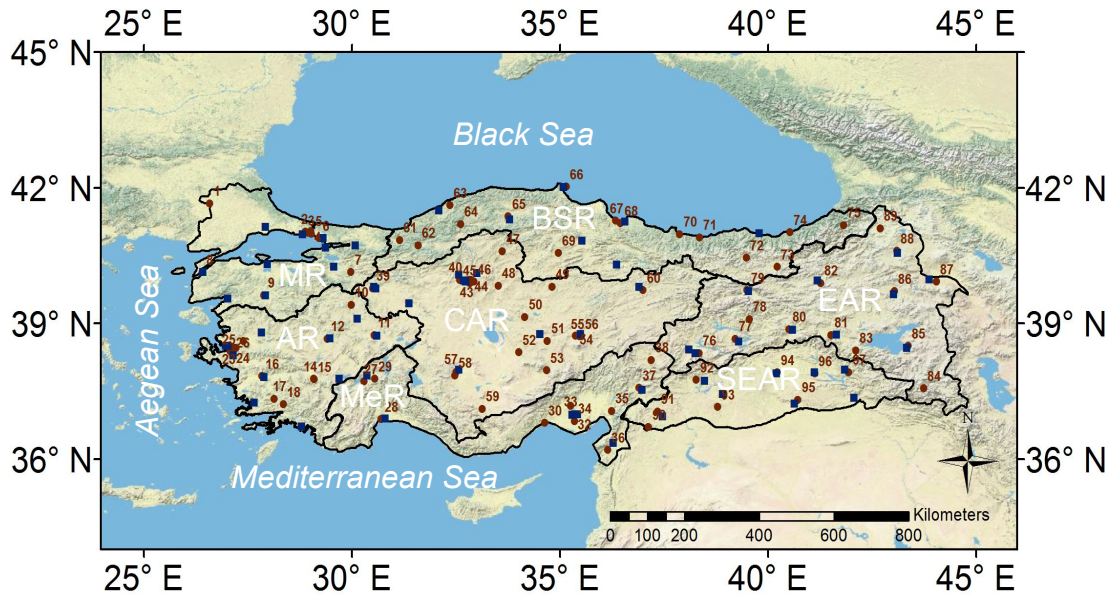
Türkiye'de, Kubilay [5] ilk olarak Erdemli' yi etkileyen toz fırtınalarının kaynağına dikkat çekmiştir. Sonucunda, bölgenin yoğun toz fırtınalarından ilkbaharda orta Sahra kaynaklı, yaz mevsiminde doğu Sahra kaynaklı ve sonbaharda Orta Asya kaynaklı etkilendiği bulunmuştur. Griffin [19] Sahra kaynaklı meydana gelen toz parçacıklarında Akdeniz kıyılarında yüksek miktarda mikroorganizmalar gözlemiştir. Koçak [20] ise doğal kaynakların yüksek PM₁₀

değerlerine etkisini analiz etmiş ve kuzey Afrika'dan transfer edilen mineral toz parçacıklarının bahar aylarında yüksek PM₁₀ değerlerine neden olduğunu ortaya koymuştur. Kabatas [21] tarafından, Sahra tozunun PM₁₀ değerleri üzerine muhtemel etkisi RAQMS (Real-Time Air Quality Modeling System) modeli yardımıyla incelenmiş ve gözlem verileri ile yüksek korelasyon (0.87) bulunmuştur.

Türkiye'de, Sahra kaynağı ve PM₁₀ seviyelerine katkısı ile ilgili birçok çalışma bulunmasına rağmen, atmosferik sirkülasyonun zamansal ve mekânsal etkileri detaylı olarak hiç incelenmemiştir. Bu nedenle, çalışmamızın temel amacı sinoptik mekanizmaların PM₁₀ değerlerine ve yatay görüş uzaklığına etkilerini daha iyi anlamaya çalışmak için 23-24 Mart 2016 tarihinde meydana gelen Sahra Kaynaklı Toz olayı incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Toz parçacıklarının Türkiye üzerine etkilerini araştırmak amacıyla, 97 hava kalitesi istasyonunun saatlik ve günlük PM₁₀ ortalama değerleri 23-24 Mart 2016 tarihleri için kullanılmıştır (Şekil 1). İklimsel açıdan, istasyonların PM₁₀ değerlerinin mevsimsel ortalamaları 2010-2015 tarihleri arasında çıkarılmıştır. Konsantrasyonlardaki zamansal ve mekânsal değişimleri bölgesel olarak göstermek amacıyla, Türkiye daha önce Erinç [22] tarafından tanımlanan 7 coğrafik bölgeye ayrılmıştır: Marmara (MR), Ege (AR), Akdeniz (MeR), İç Anadolu (CAR), Karadeniz (BSR), Doğu Anadolu (EAR) ve Güneydoğu Anadolu (SEAR). MR, AR, MeR, CAR, BSR, EAR, ve SEAR bölgelerimizi temsilen sırasıyla 9, 17, 12, 22, 15, 14 ve 8 hava kalitesi istasyonların 23 ve 24 Mart tarihlerindeki günlük PM₁₀ değerlerinden yararlanılmıştır.



Şekil 1. 97 Hava kalitesi istasyonundaki PM₁₀ gözlemleri (kahverengi noktalar) ile 64 Havaalanındaki METAR gözlemleri (mavi renkli kareler) dağılımı.

Olağan dışı olarak meydana gelen toz olaylarının yatay görüş mesafesine etkilerini araştırmak amacıyla, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen 64 havaalanındaki saatlik METAR gözlemlerinden yararlanılmıştır.

Yüzey ve yukarı seviyelerdeki atmosferik sirkülasyon, NCEP/NCAR Reanaliz verisetinin 6 saatlik değerleri 5°W-55°E boylamları ve 30°N-60°N enlemleri arası için uygulanmıştır.

Toz aktivitesini karakterize etmek amacıyla yüksek çözünürlüklü CALIPSO (Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation) ve MSG (Meteosat Second Generation) SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) uydularından yararlanılmıştır. CALIPSO gözlemleri ile Akdeniz havzasındaki Sahra kaynaklı toz parçacıklarının dikine gelişimi bir çok çalışmada daha önce incelenmiştir [24-26]. Bu çalışmada, CALIPSO değerlerinin 23 Marttaki sonuçları ile, İzmir ve İstanbul (Kartal) da bulunan radiosonde gözlem değerlerinin 24 Mart 00 UTC'deki değerleri ele alınmıştır.

Toz parçacıklarının yataydaki dağılımı ise yüksek zamansal çözünürlüklü (15 dk) MSG SEVIRI uydusunun 10, 9 ve 8. Kanallarının kombinasyonları (RGB) yapılarak incelenmiştir [27]. RGB kombinasyonu sonucunda toz parçacıkları pembe renkte görülmektedir.

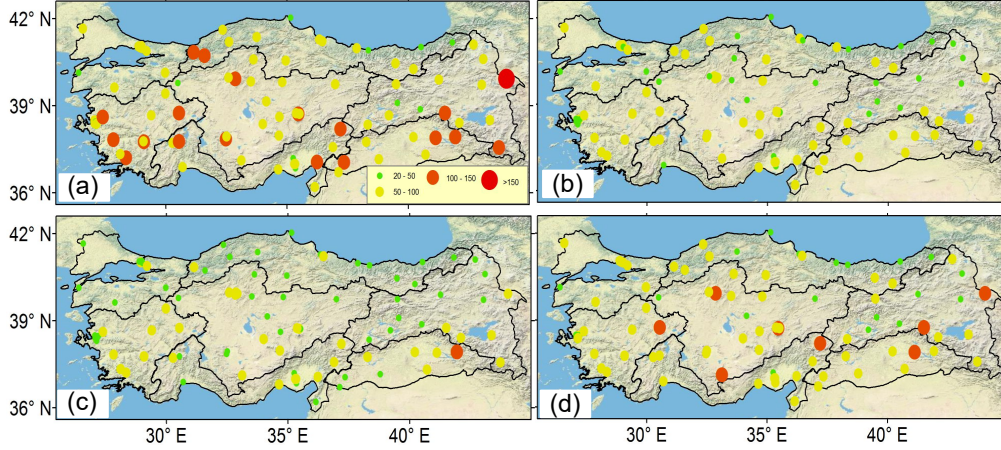
3.SONUÇLAR

Mart 2016 tarihindeki ekstrem olayı analiz etmeden önce, 97 hava kalitesi istasyonundaki PM₁₀ değerlerinin uzun yıllar (2010-2015) mevsimsel ortalamaları çıkarılmıştır (Şekil 2). Buradan Kış, sonbahar, ilkbahar ve yaz mevsimlerinin ülke ortalaması olarak 78, 65, 54, ve 49 µgm⁻³ değerler gözlenmiştir.

Kış aylarında, en yüksek konsantrasyon değerleri ülkemizin güneydoğu kısımlarında görülür iken (96 µgm⁻³), en düşük PM₁₀ değerleri Marmara Bölgesinde görülmektedir (61 µgm⁻³). Şekil 2a dan da görüleceği üzere Güneydoğu Anadolu bölgesindeki bütün değerleri 50 µgm⁻³ değerini ortalamada aşmakta ve istasyonların 4 tanesinin ise 100 µgm⁻³ değerini aştığı görülmektedir. Dahası, kış günlerinin %70 inde Avrupa Birliği tarafından belirlenen günlük limitlerin aşıldığı görülmektedir. Ege Bölgesinde, istasyonların %30 u deniz kıyısında bulunmakta ve bu istasyonların yüksek PM₁₀ değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum Koçak'ında [20] belirttiği üzere deniz spreynin transferi ile açıklanabilir.

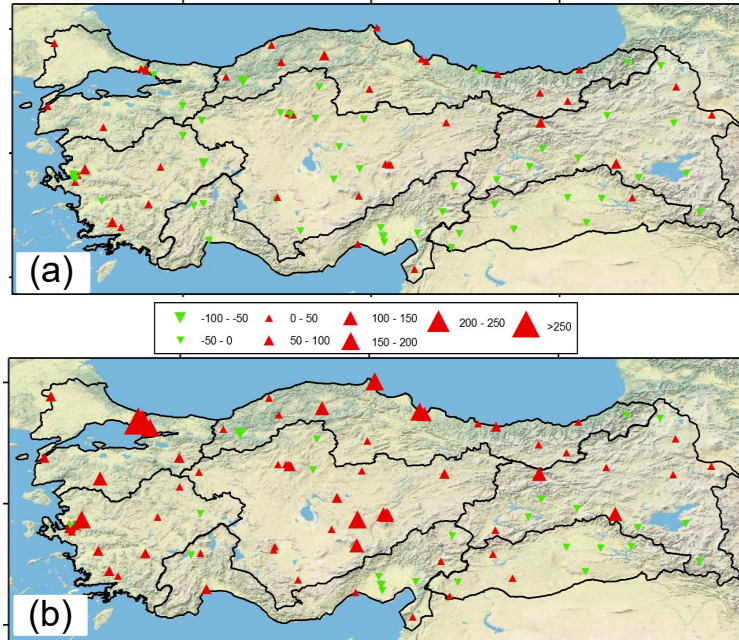
Bahar aylarında Sahra kaynaklı toz taşınımı özellikle Doğu Akdeniz havzasında görülmekte ve ülkemizde yüksek PM₁₀ değerleri görülmesine neden olmaktadır. Bölgesel olarak, en yüksek PM₁₀ değerleri Güneydoğu Anadolu ve Ege bölgelerinde ortalama olarak 68 ve 56 µgm⁻³ olarak meydana gelmiştir. Bu durum Sharav siklonunun konumundan dolayı güneyli rüzgarların yoğun toz parçacıklarını hiç bir engelle karşılaşmadan taşınmasından kaynaklanmaktadır. Kaynak bölgesine olan coğrafi yakınlık ve Fırat Dicle bölgesindeki alüvyonal düzlük [28] Güneydoğu Anadolu bölgemize yoğun toz taşınımına sebep olmaktadır (Şekil 2b). Diğer taraftan, toz parçacıkları Ege Denizi üzerinden geçerken nem almakta ve genellikle yağış ile sonuçlanmakta, Ege Bölgemizde düşük PM₁₀ değerleri görmemize neden olmaktadır. Akdeniz bölgemizde ise Toros dağlarının bariyer etkisinden dolayı Toz parçacıkları iç kesimlere kadar ulaşamamakta ve sınırlı sahil bandında yüksek PM₁₀ değerleri gözlenmektedir (Şekil 2b). Şekil 2c de ise bütün istasyonların

yaklaşık %57 sinde $50 \mu\text{g m}^{-3}$ den düşük PM_{10} ölçüm değerleri görülmektedir. Sonbahar mevsiminde ise 8 istasyonda PM_{10} ortalaması $100 \mu\text{g m}^{-3}$ ' ün üzerinde görülmekte ve homojen olmayan biçimde dağılmıştır (Şekil 2d).



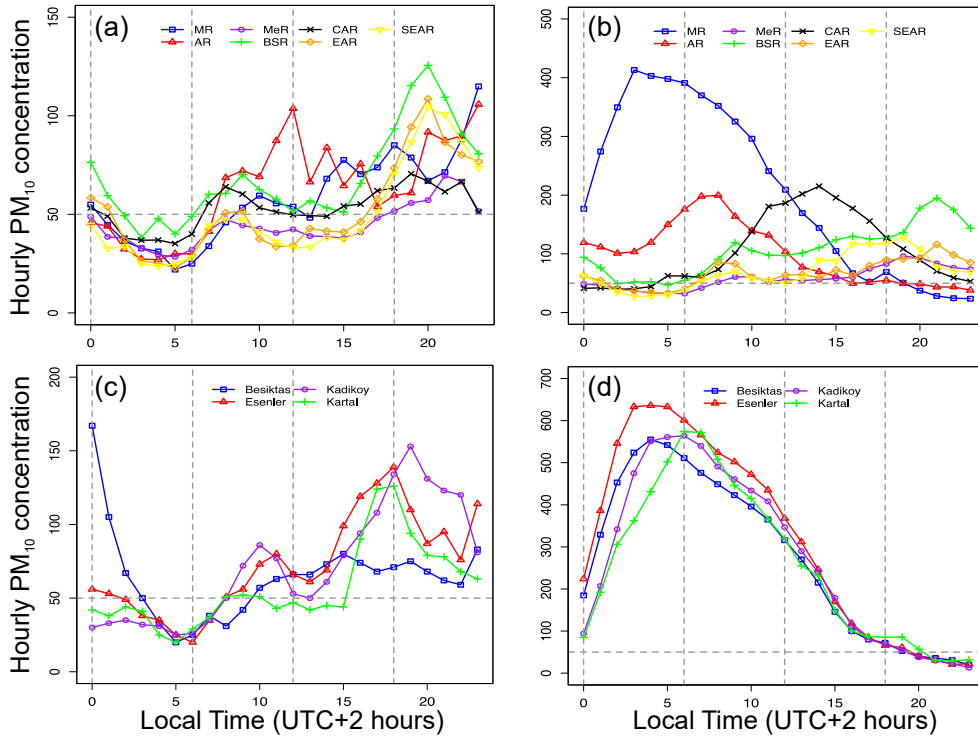
Şekil 2. 97 hava kalitesi istasyonlarının uzun süreli (2010-2015) mevsimsel ortalama PM_{10} değerleri (a) Kış, (b) İlkbahar, (c) Yaz ve (d) sonbahar mevsimleri için

23 Mart 2016 tarihindeki günlük PM_{10} değerleri göstermiştir ki istasyonların %45 i uzun dönem bahar ortalama değerlerini aşmıştır (Şekil 3a). $50 \mu\text{g m}^{-3}$ eşik değeri baz alındığında ise mevcut istasyonların %54 ünün limit değerleri aştığı görülmüştür.



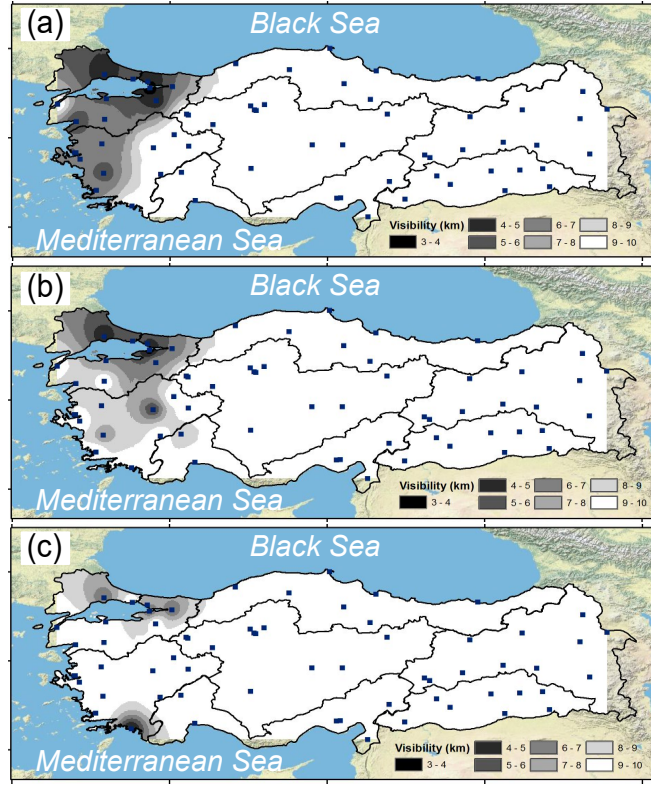
Şekil 3. Günlük PM_{10} değerlerinin uzun dönem ortalamalarına göre anomali değerleri (a) 23 Mart 2016, (b) 24 Mart 2016.

PM₁₀ değerlerinin zamansal değişimini göstermek amacıyla her bir bölge ve seçilen istasyonlardaki değerleri ele alınmıştır. Şekil 4a'dan da görüleceği üzere, Ege bölgesi 104 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile en yüksek değerine ulaşmıştır. Marmara Bölgesindeki PM₁₀'nin artış eğilimi 24 Mart 2016 tarihinin ilk saatlerinde devam etmiştir (Şekil 4b) ve maksimum değerine 03L'de 413 $\mu\text{g m}^{-3}$ ulaşmıştır. İstanbul'da bulunan şehir istasyonlarından Esenler, Kartal ve Kadıköy'de 23 Mart tarihinde aynı saatlerde artış veya azalma trendi görülmektedir (Şekil 4c). 24 Mart gününde ise bu istasyonlar en yüksek değerlerine 636, 574, 555 $\mu\text{g m}^{-3}$ ile ulaşmıştır (Şekil 4d).



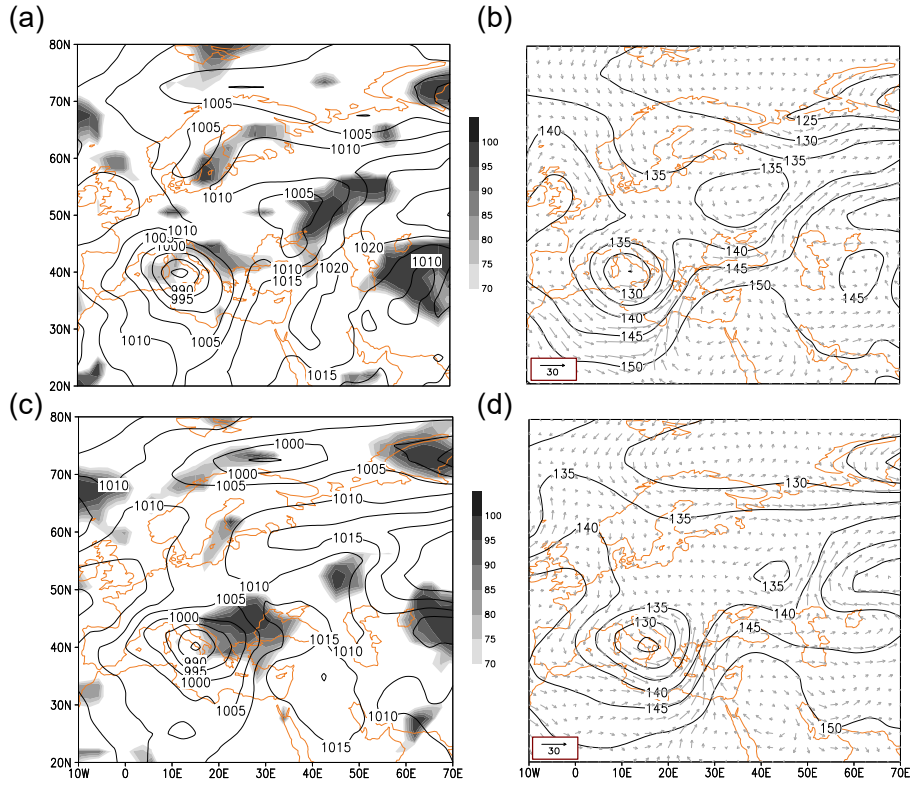
Şekil 4. 7 coğrafi bölge ve İstanbul'daki hava kalitesi istasyonlarının PM₁₀ değerlerinin saatlik dağılımı. (a,c) 23 Mart 2016 ve (b,d) 24 Mart 2016.

Toz parçacıklarının görüş mesafesine etkisini incelemek amacıyla 64 havaalanındaki METAR gözlemlerinden yararlanılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki 24 Mart tarihindeki 06:00 UTC ile 12:00 UTC saatleri arasında görüş mesafesinde belirgin düşüşler görülmüştür (Şekil 5a,b,c). Görüş mesafesinin belirgin şekilde 3-4 km'ye kadar düşmesi Marmara'nın kuzey kesimlerinde gözlenmiş ve uçuculuk açısından aksamalar görülmüştür.



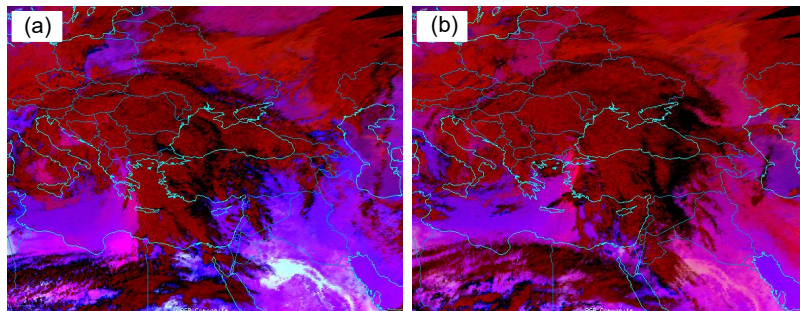
Şekil 5. Yatay görüş mesafesinin mekânsal dağılımı (a) 06:00, (b) 09:00 ve (c) 12:00 UTC saatleri için.

Sinoptik olarak incelediğimizde, 23 Mart 00:00 UTC’de, Saharav siklonunun geliştiği (985-hPa) kuzeydoğu boyunca İtalya üzerine doğru hareket ettiği, eş zamanlı olarak ise yüksek basınç merkezinin doğuya doğru hareket ederek Levant Havzasına yerleştiği görülmektedir (Şekil 6a). Sonucunda ise Sahra kaynaklı toz parçacıklarının Doğu Akdeniz havzasına doğru hareketi söz konusudur. Aşağı seviyelerde de alçak ve yüksek merkezlerin konumundan dolayı kuvvetli güneybatılı rüzgarlar ülkemizde etkili olmaktadır (Şekil 6b). 12 Saat sonra alçak (basınç) merkezlerin yaklaşık konumlarının aynı kalması ve yüksek (basınç) merkezlerin alanının genişlemesi neticesinde, kuvvetli güneyli rüzgarlar ülkemizin batı kısımlarında daha etkilidir (Şekil 6c,d). Bu durum, 23 Mart 2016 günü öğle saatlerinde Ege bölgesindeki ani aerosol konsantrasyon artışının görülmesinin temel nedeni olarak karşımıza çıkmaktadır.



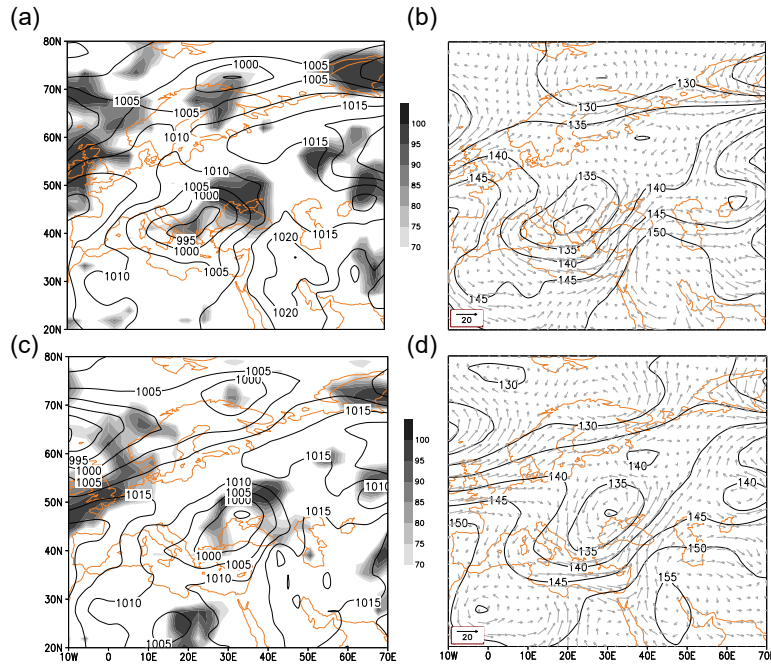
Şekil 6. 23 Mart 2016 00:00 UTC'deki toz fırtınası olayının (a) deniz seviyesi basınç ve toplam bulut kapalılığı değerleri ve (b) 850-hPa rüzgar ve yükseklik değerleri kullanılarak sinoptik olarak değerlendirilmesi. (c) ve (d) 23 Mart 2016, 12:00 UTC deki sinoptik koşullar.

Toz tabakalarının zamansal olarak hareketini uydu görüntülerini kullanarak inceleyebiliriz. Bu nedenle, MSG SEVIRI'nın RGB ürünleri 23 Mart 12:00 ve 18:00 UTC saatleri için çıkarılmıştır. Görüldüğü üzere (Şekil 7) pembe renkli kalın toz tabakası Libya üzerinden Ege kıyılarına kadar transfer edilmekte olup Ege Bölgemizdeki istasyonlarda yüksek PM_{10} değerlerine neden olmaktadır. Saat 18:00'de, parçacıkların doğu boylamlarına doğru hareketi neticesinde, ülkemizin bir çok yerinde yüksek konsantrasyon değerleri kaydedilmiştir.



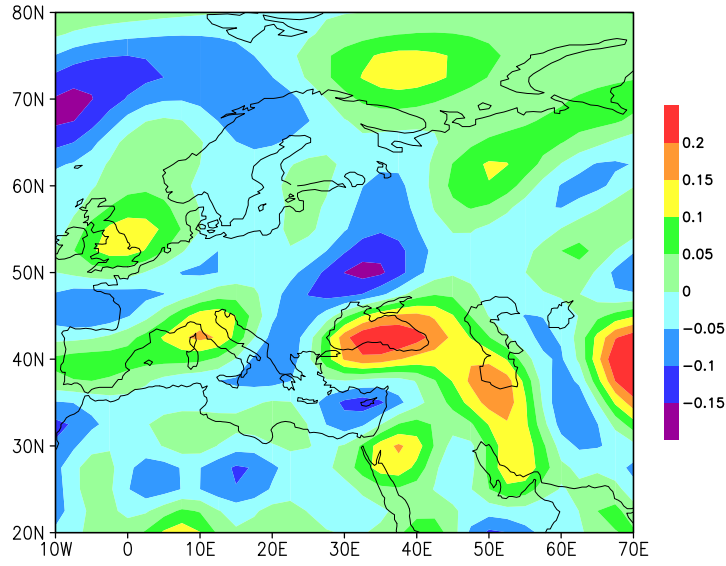
Şekil 7. METEOSAT 10 SEVIRI RGB ürünü ile (a) 23 Mart 2016, 12:00 UTC ve (b) 18:00 UTC saatlerindeki toz parçacıklarının pembe renk ile gösterilmesi.

24 Mart 00:00 UTC’de, yüzey ve aşağı seviyede bulunmakta olan alçak (basınç) merkezlerin İtalya üzerinden Balkan yarımadasına doğru hareketi kuvvetli güney ve güneybatılı rüzgarların ülkemiz iç kesimlerine kadar sokulmasına neden olmakta (Şekil 8a,b) ve hava kalitesi istasyonlarının %74’ünde normallerinden yüksek PM₁₀ konsantrasyon değerlerine neden olmaktadır. Bölgesel olarak en belirgin partikül madde artışı Marmara Bölgemizde görülmüş ve 600 µgm⁻³’ü aşan değerler İstanbul’un kentsel yerleşim yerlerinde meydana gelmiştir. Siklonun dönüşü sonucunda güneyli rüzgarlar 12 saat sonra batılı rüzgarlara dönmüş ve istasyonlarda ölçülen yüksek PM₁₀ değerleri düşmeye başlamıştır (Şekil 8c,d).



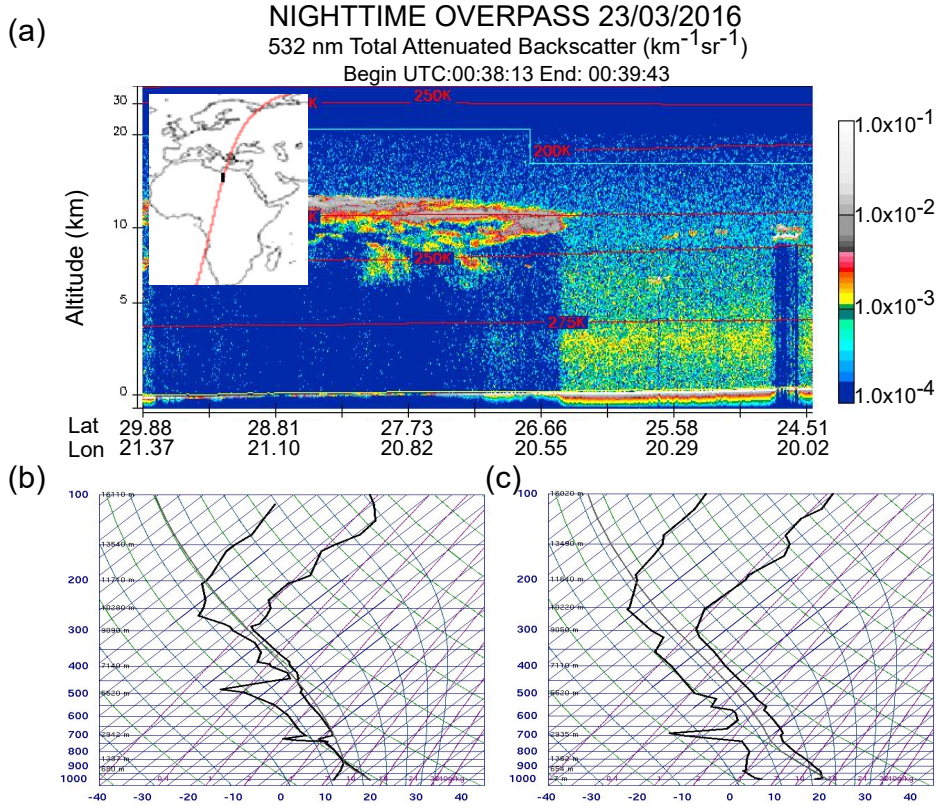
Şekil 8. 24 Mart 2016 00:00 UTC’deki toz fırtınası olayının (a) deniz seviyesi basınç ve toplam bulut kapallığı değerleri ve (b) 850-hPa rüzgar ve yükseklik değerleri kullanılarak sinoptik olarak değerlendirilmesi. (c) ve (d) 24 Mart 2016, 12:00 UTC deki sinoptik koşullar.

Önceki çalışmalardan da bilinmektedir ki toz parçacıklarının yukarı ve aşağı doğru hareketini Omega rüzgarları göstermektedir [14,30,31]. Bu nedenle 24 Mart 00:00 UTC’deki 1000-hPa seviyesi omega rüzgarları çıkarılmıştır. Şekil 9’dan da görüleceği üzere, havanın aşağı doğru güçlü hareketi (pozitif değerler) Karadeniz Bölgesi üzerinde sübsidans olarak görülmekte ve toz parçacıklarının bu bölgemize çökmesine sebep olmaktadır.



Şekil 9. 24 Mart 2016 00:00 UTC'deki 1000-hPa seviyesindeki Omega değerleri (Pa/s). Negatif değerler yukarı yönlü hareketi ifade ederken pozitif değerler çökme alanlarını temsil etmektedir.

Bunların yanında, toz parçacıklarının dikey profili de son derece önemlidir. Bu amaçla 23 Mart 2016 tarihi için CALIPSO orbitinin görüntülerinden yararlanılmıştır (Şekil 10a). Şekilden de görüleceği üzere, aerosol parçacıklarının yer seviyesinden 8 km'ye kadar 24.5°N ve 26.5°N enlemleri arasında dağıldığı görülmektedir. En fazla aerosol yoğunluğu ise kaynak bölgesinde 2 ile 4 km arasında seyretmektedir. Dağılan toz parçacıklarının dikey yapısını incelemek maksadıyla, İzmir ve Kartal istasyonlarındaki radiosonde ölçüm değerleri 24 Mart 2016 00:00 UTC için çıkarılmıştır. Şekil 10b'den zayıf enverziyon tabası 700-hPa da İzmir üzerinde görülmekte. Bu seviye, toz parçacıklarının Doğu Akdeniz havzasına taşınımı için önemlidir [17]. Ayrıca atmosfer yer seviyesinden 700-hPa a kadar tamamen doymuş olup METAR gözlemlerinden de 00:00 ile 12:00 arasında bir çok istasyonda konvektif yağışlar gözlenmiştir. Sonucunda, zayıf enverziyon tabakası ve konvektif yağışlar (removal mechanism) Ege Bölgesinde yüksek PM₁₀ değerleri gözlemlenmemize engel olmuştur (Şekil 10b). Marmara bölgesinde ise, kalın enverziyon seviyesinin yer seviyesine yakın olması ve de kuru atmosferik şartlar yüksek PM₁₀ konsantrasyon değerlerine neden olmuştur (Şekil 10c).



Şekil 10. (a) CALIPSO uydusunun 23 Mart 2016 gece saatlerindeki görüntüsü. (b) İzmir ve (c) Kartal istasyonlarının 24 Mart 2016, 00:00 UTC Skew T-logp diyagramı.

4. SONUÇ DEĞERLENDİRME

Sahra kaynaklı toz taşınımının Türkiye'nin batı bölgelerini sıklıkla bahar aylarında etkilediği bilinmektedir. Son toz taşınımı olaylarından birinde (23-24 Mart 2016), ülkemizin büyük bir kısmında yüksek PM_{10} değerleri görülmüştür. Olağandışı olarak meydana gelen bu olay ve görüş mesafesine etkileri 97 hava kalitesi istasyonunun PM_{10} ölçümleri ile 64 havaalanı istasyonunda kaydedilen METAR gözlemleri vasıtasıyla incelenmiştir.

Güçlenen Sharav siklonunun merkezinden doğuya doğru hareketi ile Levant havzasında bulunan yüksek basınç merkezinin sonucunda, kuvvetli güneyli rüzgarlar toz parçacıklarını ülkemize doğru taşımıştır. Böylece, istasyonların %45'inin PM_{10} değerleri uzun dönem ortalamalarını belirgin biçimde aşmıştır. Bölgesel olarak, Türkiye'nin kuzey ve batı bölgeleri (Karadeniz, Marmara ve Ege) toz taşınımından en fazla etkilenmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Antisiklonik şartlar bu bölgeye toz taşınımını engellemiştir.

24 Mart 2016'nın ilk saatlerinde, alçak (basınç) merkezlerinin Balkan Yarımadasına doğru boylamsal hareketi ile yüksek (basınç) merkezlerinin durağan durumları hızlı ve yoğun toz tabakasının (2 ile 4 km arasındaki) kuvvetli güneyli rüzgarlar vasıtasıyla Anadolu Yarımadasına taşınmasına neden olmuştur. Sonucunda, hava kalitesi istasyonlarının %74 ünde normallerinden yüksek PM_{10} değerleri görülmüştür. Bölgesel açıdan ise, Marmara, İç Anadolu, Ege, ve

Karadeniz’de bulunan istasyonların %100, %90, %88 ve %87 sinde normallerinden yüksek günlük PM₁₀ ölçümleri kaydedilmiştir. Karadeniz’de aşağı seviyelerdeki sübsidans yüksek PM₁₀ gözlemlerimize neden olurken, yer seviyesindeki kalın enverziyon tabakası ile kuru atmosferik şartlar Marmara’daki istasyonlarda oldukça yüksek PM₁₀ değerlerine sebebiyet vermiştir. Ayrıca, görüş mesafesi Marmara’nın kuzey kısımlarında 3 km’ye kadar düşmüş ve uçuculuğa negatif etkileri olmuştur. Bunların dışında, yukarı seviyelerdeki ince enverziyon (700 hPa), doymuş atmosferik şartlar ve konvektif yağışlar; Ege bölgemizde aşırı PM₁₀ gözlemlerimizi engellemiştir. Aynı sinoptik koşullara ek olarak, yer seviyesine yakın kalın enverziyon tabakası toz parçacıklarının hareketini sınırlamış ve yüksek PM₁₀ değerlerinin gece saatlerinde İstanbul’da görülmesine neden olmuştur.

KAYNAKLAR

1. Goudie, A.S.; Middleton, N.J. Saharan dust storms: Nature and consequences. *Earth-Sci. Rev.* **2001**, *56*, 179–204.
2. Chiapello, I.; Bergametti, G.; Gomes, L.; Chatenet, B.; Dulac, F.; Pimenta, J.; Santos Soares, E. An Additional Low Layer Transport of Sahelian and Saharan Dust over the North-Eastern Tropical Atlantic. *Geophys. Res. Lett.* **1995**, *22*, 3191–3194.
3. Kellogg, C.A.; Griffin, D.W.; Garrison, V.H.; Peak, K.K.; Royall, N.; Smith, R.R.; Shinn, E.A. Characterization of aerosolized bacteria and fungi from desert events in Mali, West Africa. *Aerobiologia* **2004**, *20*, 99–110.
4. Perez, L.; Tobias, A.; Querol, X.; Künzli, N.; Pey, J.; Alastuey, A.; Viana, M.; Valero, N.; Gonzales-Cabre, M.; Sunyer, J. Coarse particles from Saharan dust and daily mortality. *Epidemiology* **2008**, *19*, 800–807.
5. Kubilay, N.; Cokacar, T.; Oguz, T. Optical properties of mineral dust outbreaks over the northeastern Mediterranean. *J. Geophys. Res.* **2003**, *108*, 4666.
6. Akpınar-Elci, M.; Martin, F.E.; Behr, J.G.; Diaz, R. Saharan dust, climate variability, and asthma in Grenada, the Caribbean. *Int. J. Biometeorol.* **2015**, *59*, 1667–1671.
7. Jimenez, E.; Linares, C.; Martinez, D.J. Role of Saharan dust in the relationship between particulate matter and short-term daily mortality among the elderly in Madrid (Spain). *Sci. Total Environ.* **2010**, *408*, 5729–5736.
8. Mate, T.; Guaita, R.; Pichiule, M.; Linares, C.; Diaz, J. Short-term effect of fine particulate matter (PM_{2.5}) on daily mortality due to diseases of the circulatory system in Madrid (Spain). *Sci. Total Environ.* **2010**, *408*, 5750–5757.
9. Middleton, N.; Yiallourous, P.; Kleanthous, S.; Kolokotroni, O.; Schwartz, J.; Dockery, D.W.; Demokritou, P.; Koutrakis, P. A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: The effect of short-term changes in air pollution and dust storms. *Environ. Health* **2008**, *7*, 39.

10. Samoli, E.; Kougea, E.; Kassomenos, P.; Analitis, A.; Katsouyanni, K. Does the presence of desert dust modify the effect of PM₁₀ on mortality in Athens, Greece? *Sci. Total Environ.* **2011**, *409*, 2049–2054.
11. Zauli Sajani, S.; Miglio, R.; Bonasoni, P.; Cristofanelli, P.; Marinoni, A.; Sartini, C.; Goldoni, C.A.; de Girolamo, G.; Lauriola, P. Saharan dust and daily mortality in Emilia-Romagna (Italy). *Occup. Environ. Med.* **2011**, *68*, 446–451.
12. Alpert, P.; Kishcha, P.; Shtivelman, A.; Krichak, S.O.; Joseph, J.H. Vertical distribution of Saharan dust based on 2.5-year model predictions. *Atmos. Res.* **2004**, *70*, 109–130.
13. Bangert, M.; Nenes, A.; Vogel, B.; Vogel, H.; Barahona, D.; Karydis, V.A.; Kumar, P.; Kottmeier, C.; Blahak, U. Saharan dust event impacts on cloud formation and radiation over Western Europe. *Atmos. Chem. Phys.* **2012**, *12*, 4045–4063.
14. Cabello, M.; Orza, J.A.G.; Barrero, M.A.; Gordo, E.; Berasaluce, A.; Canton, L.; Duenas, C.; Fernandes, M.C.; Perez, M. Spatial and temporal variation of the impact of an extreme Saharan dust event. *J. Geophys. Res.* **2012**, *117*, D11204.
15. Moulin, C.; Lambert, C.E.; Dayan, U.; Masson, V.; Ramonet, M.; Bousquet, P.; Legrand, M.; Blakanski, Y.J.; Guella, W.; Marticorena, B.; Bergametti, G.; Dulac, F. Satellite climatology of African dust transport in the Mediterranean atmosphere. *J. Geophys. Res.* **1998**, *103*, 13137–13144.
16. Tsidulko, M.; Krichak, S.O.; Alpert, P.; Kakaliagou, O.; Kallos, G.; Papadopoulos, A. Numerical study of a very intensive eastern Mediterranean dust storm, 13–16 March 1998. *J. Geophys. Res.* **2002**, *107*, 4581.
17. Papayannis, A.; Balis, D.; Amiridis, V.; Chourdakis, G.; Tsaknakis, G.; Zerefos, C.; Castanho, A.D.A.; Nickovic, S.; Kazadzis, S.; Grabowski, J. Measurements of Saharan dust aerosols over the Eastern Mediterranean using elastic backscatter-Raman lidar, spectrophotometric and satellite observations in the frame of the EARLINET project. *Atmos. Chem. Phys.* **2005**, *5*, 2065–2079.
18. Kaskaoutis, D.G.; Kambezidis, H.D.; Nastos, P.T.; Kosmopoulos, P.G. Study on an intense dust storm over Greece. *Atmos. Environ.* **2008**, *42*, 6884–6896.
19. Griffin, D.W.; Kubilay, N.; Koçak, M.; Gray, M.A.; Borden, T.C.; Shinn, E.A. Airborne desert dust and aeromicrobiology over the Turkish Mediterranean coastline. *Atmos. Environ.* **2007**, *41*, 4050–4062.
20. Koçak, M.; Mihalopoulos, N.; Kubilay, N. Contributions of natural sources to high PM₁₀ and PM_{2.5} events in the eastern Mediterranean. *Atmos. Environ.* **2007**, *41*, 3806–3818.
21. Kabatas, B.; Unal, A.; Pierce, R.B.; Kindap, T.; Pozzoli, L. The contribution of Saharan dust in PM₁₀ concentration levels in Anatolian Peninsula of Turkey. *Sci. Total Environ.* **2014**, *488–489*, 413–421.

22. Erinç, S. *Climatology and Its Methods*, 3rd ed.; Istanbul, Gür-ay Pres Inc.: Istanbul, Turkey, 1984. (in Turkish)
23. Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Wollen, J.; et al. The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **1996**, *77*, 437–471.
24. De la Paz, D.; Vedrenne, M.; Borge, R.; Lumbreras, J.; de Andres, J.M.; Perez, J.; Rodriguez, E.; Karanasiou, A.; Moreno, T.; Boldo, E.; Linares, C. Modelling Saharan dust transport into the Mediterranean basin with CMAQ. *Atmos. Res.* **2013**, *70*, 337–350.
25. Guerrero-Rascado, J.L.; Olmo, F.J.; Aviles-Rodriguez, I.; Navas-Guzman, F.; Perez-Ramirez, D.; Lyamani, H.; Arboledas, L.A. Extreme Saharan dust event over the southern Iberian Peninsula in September 2007: Active and passive remote sensing from surface and satellite. *Atmos. Chem. Phys.* **2009**, *9*, 8453–8469.
26. Mona, L.; Amodeo, A.; Pandolfi, M.; Pappalardo, G. Saharan dust intrusions in the Mediterranean area: Three years of Raman lidar measurements. *J. Geophys. Res.* **2006**, *111*, D16203.
27. Schepanski, K.; Tegen, I.; Laurent, B.; Heinold, B.; Macke, A. A new Saharan dust source activation frequency map derived from MSG-SEVIRI IR-channels. *Geophys. Res. Lett.* **2007**, *34*, L18803.
28. Hamidi, M.; Kavianpour, M.R.; Shao, Y. Synoptic analysis of dust storms in the Middle East. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.* **2013**, *49*, 279–286.
29. Vajanapoom, N.; Shy, C.M.; Neas, L.M.; Loomis, D. Estimation of particulate matter from visibility in Bangkok, Thailand. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* **2001**, *11*, 97–102.
30. Ganor, E.; Stupp, A.; Osetinsky, I.; Alpert, P. Synoptic classification of lower troposphere profiles for dust days. *J. Geophys. Res.* **2010**, *115*, D11201.
31. Prasad, A.K.; El-Askary, H.; Kafatos, M. Implications of high altitude desert dust transport from Western Sahara to Nile Delta during biomass burning season. *Environ. Pollut.* **2010**, *158*, 3385–3391.