

TOZ TAŞINIMI MEKANİZMASINDAKİ FARKLILIKLAR: İKİ FARKLI TOZ TAŞINIMI OLAYI

Cihan DÜNDAR¹, Kahraman OĞUZ^{1(*)}, Gülen GÜLLÜ²

¹ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara

² Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin Ege ve Marmara Bölgelerinde, iki ay ara ile gerçekleşen iki önemli toz taşınımı olayının incelenerek farklılıklarının ortaya koyulmasıdır. Çalışmada, uydu verileri, hava kalitesi istasyon ölçümleri ve toz taşınımı tahmin model ürünleri analiz edilmiştir. Toz partiküllerinin optik derinliği ve çökelmelerini belirlemek amacıyla, farklı toz taşınım modelleri (MGM/BSC-DREAM8b ve NMMB/BSC-Dust) kullanılmıştır. 1 Şubat 2015 ve 27 Mart 2015 tarihlerinde yaşanan Afrika kökenli toz taşınım olayları örnek olarak seçilmiştir. Her iki olay için MODIS uydusunun Aerosol Optik Derinliği (AOD) ürünleri yoğun toz taşınımı olaylarını açıkça göstermektedir. Modellenen Toz Optik Derinliği (TOD) ve AOD uydu ölçüm değerleri her iki örnek olay için de bölgede yüksek değerler (>0,9) vermesine rağmen, hava kalitesi izleme istasyonlarının PM₁₀ ölçümleri incelendiğinde birinci örnek olay için önemli bir artış gözlenirken, ikinci örnek olayda kayda değer bir artışa rastlanılmamıştır. Bu farklılık, model tarafından üretilen yer seviyesi toz konsantrasyon tahminleri için de geçerlidir. Bu durumun nedeni, atmosferdeki tozun yağış ile birlikte yağ olarak çökmesi ve toz taşınım olaylarının atmosferdeki taşınımlarının farklı yüksekliklerde gerçekleşmesidir.

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyse and put the differences in two different dust event occurred over Aegean and Marmara regions two months consecutively. In the study, satellite data, air quality station measurements and dust forecast model products have been analyzed. To define optical depth of dust particulates and deposition, different dust forecast models (MGM/BSC-DREAM8b and NMMB/BSC-Dust) have been used. African sourced dust transports occurred on 1 February 2015 and 27 March 2015 have been selected as dust events. Aerosol Optical Depth products of MODIS satellite clearly demonstrated intense dust transport for both cases. Although modelled Dust Optical Depth and AOD satellite data show very high values (>0.9) over the regions for both cases, PM₁₀ values of air quality stations shows important increase for the first case, while low increase for the other case. This difference is same in the dust concentration forecasts for surface level. The reason of this condition is wet deposition of dust with precipitation and different dust transport levels.

ANAHTAR KELİMELER

Toz Taşınımı Tahmin Modeli, MODIS Uydu Verisi, Aerosol Optik Derinliği (AOD), PM₁₀

(*) koguz@mgm.gov.tr

1. GİRİŞ

Kurak ve yarı-kurak alanlardan kalkan mineral çöl tozları, meteorolojik faktörler ve biyokimyasal döngü üzerinde önemli etkilere sahiptirler (Mahowald vd., 2005; Shao vd. 2011). Mineral toz partikülleri, güneş radyasyonunu absorblama ve yansıtma yöntemi ile iklim dengesini ve bulut optik özelliklerini değiştirmektedirler (Tegen, 2003). Tüm bu etkilerin küresel ve bölgesel olarak değerlendirilmesi için mineral çöl tozlarının zamansal ve mekansal olarak çökelmelerinin incelenmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmalar, Akdeniz havzasında gerçekleşen toz taşınımı olaylarının çoğunluğunun batı ve güneybatı bileşenli olduğunu göstermiştir (Dayan vd., 1991). Doğu Akdeniz havzası üzerinde görülen çöl tozlarının temel kaynağı Sahra bölgesidir. Türkiye’de coğrafi konumu sebebiyle çoğunlukla Afrika (Sahra çölü) ve Orta Doğu’dan gelen çöl tozlarından etkilenmektedir. Afrika kaynaklı çöl tozları Akdeniz ve Ege bölgeleri üzerinde etkili olurken, Orta Doğu kaynaklı çöl tozları ise Güneydoğu Anadolu bölgesi üzerinde etkili olmaktadır.

Türkiye’yi etkileyen çöl tozları mevsimsel olarak önemli derecede değişkenlik göstermektedir. Kuzey Afrika üzerinden Türkiye’ye doğru gerçekleşen toz taşınımı ilkbahar mevsiminde maksimum seviyede iken, kış mevsiminde minimum seviyededir (Güllü vd., 1998). Mineral toz partikülleri, bölgedeki meteorolojik koşulların etkisiyle atmosfere karışmakta ve parçacık büyüklüğüne bağlı olarak uzun mesafeler kat etmektedirler. Sonuçta, ıslak (yağış ile) ve kuru (yağışsız) olarak yer yüzeyine çökelmektedirler (Lovett, 1994). Kuru çökeltmede, büyük partiküller küçük partiküllere göre daha hızlı çökelerler. Bu süreçte, aerodinamik taşınım ve yer çekimi sedimentasyonu, Brownian taşınım, sınır tabaka taşınımı ve yüzey etkileşimi etkili olmaktadır (Zufall ve Davidson, 1998; Seinfeld ve Pandis, 2006). Öte yandan, diğer bir çökeltme türü olan ıslak çökeltme, taşınan toz partiküllerinin yağış ile beraber çökelişi esasına dayanır. Kuru çökeltme, doğrudan istasyon verileri (PM₁₀ vb.) ile ölçülebilirken, ıslak çökeltmede doğrudan ölçüm yöntemleri mevcut değildir. Ancak, yağış örneklerinin analizi ile ıslak çökeltme veri sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’de gerçekleşen iki farklı toz taşınımı olayı incelenmiştir. Bu toz taşınım olaylarının bir özelliği, taşınımın gerçekleştiği bölgelerden birinde PM₁₀ ölçüm verilerinde önemli bir artış gözlenirken, ikinci örnek olayda kayda değer bir artışa rastlanılmamasıdır. Ele alınan toz taşınımı olayları, Aerosol Optik Derinliği (AOD) ve PM₁₀ ölçüm verilerinin yanında farklı toz taşınım model verileri (MGM/BSC-DREAM8b ve NMMB/BSC-Dust) kullanılarak analiz edilmiş ve tozun çökeltim mekanizmaları hakkında bilgiler verilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmamızda, toz taşınımının analizi için AOD uydu verileri, PM₁₀ ölçüm verileri ve 2 farklı model tahmin verileri kullanılmıştır. Uydu verileri olarak MODIS/Aqua uydusundan, yer ölçüm verileri olarak hava kalite istasyon ölçümlerinden ve model verileri olarak ise MGM/BSC-DREAM8b ve NMMB/BSC-Dust model tahminlerinden elde edilen veriler kullanılmıştır.

2.1. Uydu verileri

MODIS spektrometresi 1999 yılında NASA tarafından fırlatılmıştır. Terra ve Aqua uyduları üzerinde bulunan 5 sensörden birisidir. 36 spektral kanalı bulunmakla birlikte, 250 m (kanal 1-2), 500 m (kanal 3-7) ve 1 km (kanal 8-36) çözünürlüklerde uzaysal veri sağlamaktadır ve görünür, yakın kızılötesi, kısa dalga boylu kızılötesi, termal kızılötesi bantlarını içermektedir. 0,41 – 2,13 μm aralığında 20 farklı güneş yansıtma kanalları (1-19 ve 26) ve 3,75–14,23 μm spektral bölgesinde 16 yayıcı kanalı bulunmaktadır.

Bu çalışmada, aerosol yoğunluğunun mekansal değişiminin incelenmesi amacıyla Giovanni'den elde edilen MODIS AOD₅₅₀ verileri kullanılmıştır. AOD verilerinin yüksek değerleri atmosferdeki aerosol miktarının arttığının göstergesidir. Bazı çalışmalarda tozun temsili için AOD sınırının >0,5 alınmasına karşın, bu yönde yapılmış net bir bulgu bulunmamaktadır.

2.2. Yer seviyesi ölçüm verileri

Hava kirliliğinin doğru bir şekilde ölçülmesi, tüm illerimizde hava kirliliği politikaları oluşturulması ve bu politikalar çerçevesinde illerin hava kalitesinin bir önceki yılın değerlerinden daha iyi durumlara getirilebilmesi amacıyla, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2005-2007 yılları arasında 81 ilde hava kalitesi ölçüm istasyonları kurulmuştur. Kurulan hava kirliliği ölçüm istasyonlarının hepsinde kükürtdioksit (SO₂) ve partikül madde (PM₁₀) parametreleri bazılarında ek olarak azotoksitler (NO, NO₂, NO_x), karbonmonoksit (CO) ve Ozon (O₃) da tam otomatik olarak ölçülmektedir (Kaynak: Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Web Sitesi). Bu çalışmada, yer seviyesi ölçüm verisi olarak ölçüm yapan hava kalitesi istasyonlarının PM₁₀ verileri kullanılmıştır. PM₁₀ verisi, 10 mikrometreden küçük çaplı partikülleri ifade etmektedir.

2.3. Toz taşınımı tahmin modeli verileri

Çalışmada kullanılan modellerden birisi olan MGM/BSC-DREAM8b toz taşınımı tahmin modeli, Nickovic vd. (2001) tarafından geliştirilen DREAM modelinin bir üst versiyonu olup Türkiye'ye uyarlanmış halidir. Model, çöl bölgelerinden kaynaklanan tozların atmosferik yaşam döngüsünü tahmin etmektedir ve Eta/NCEP (Çevre Tahmini Ulusal Merkezi) modelinin bir bileşeni olarak geliştirilmiştir. Modeldeki çöl tozu kaynaklarını etkileyen grid noktaları, 1-km çözünürlüklü Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar (USGS) grubuna ait kurak ve yarı kurak alanlar veri seti ve 4 km çözünürlüklü Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'ne ait küresel bitki örtüsü verileri kullanılarak tanımlanmıştır. Model, Meteoroloji Genel Müdürlüğü bilgisayarlarında operasyonel olarak çalıştırılmaktadır.

Çalışmada kullanılan diğer bir model olan NMMB/BSC-Dust modeli ise, NCEP nonhidrostatik modeli (NMMB) ile iç içe geliştirilmiş bir modeldir. Model kısa ve orta vadeli hava tahmini üzerinde de tahmin çıktılarını üretebilmektedir. NMMB modeline eklenen BSC-Dust modülü, toz üretim, yüzey rüzgarı, türbülans, yatay ve dikey adveksiyon, yatay difüzyon, türbülans ile düşey taşınım ve kuru ve yaş çökelmeyi göz önüne alarak kütle denge denklemini çözmektedir (Perez vd., 2011a; Perez vd., 2011b). Model, Barselona Süperbilgisayar Merkezi'nde operasyonel olarak çalıştırılmaktadır.

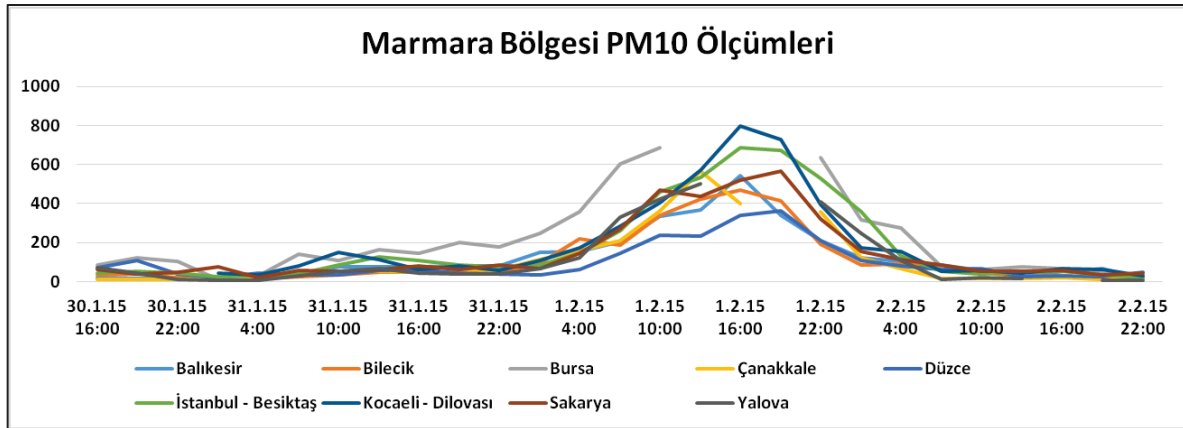
Burada, modellerin yatay çözünürlüğü $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ olmakla birlikte, düşey çözünürlüğü MGM/BSC-DREAM8b için 24 Eta-seviyesi, NMMB/BSC-Dust için 24 dikey sigma-hibrit seviyesi'dir. Günde bir defa ECMWF ve NCEP meteorolojik küresel verileri ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) ile çalıştırılan modeller, 72 saat ileriye yönelik tahminler üretmektedir. NMMB/BSC-Dust ürünleri hem görsel, hem de sayısal olarak ülkelerin gerçekçi "Kum ve Toz Fırtınası Tahmini" yapma kapasitelerinin geliştirilmesi amacını taşıyan NA-ME-E merkezinde (<http://sdswas.aemet.es/>); MGM/BSC-DREAM8b ürünleri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Hava, Toz ve İklim Merkezi'nde (<http://www.wdcc.mgm.gov.tr/>) operasyonel olarak yayınlanmaktadır.

3. SONUÇLAR

3.1. 1 Şubat 2015 tarihli toz taşınımı olayı

31 Ocak 2015 tarihinde Cezayir, Tunus ve Libya üzerinde bir toz taşınımı başlamıştır. Bu toz taşınımı 1 Şubat 2015 tarihinde Türkiye'yi önemli derecede etkilemiştir. Türkiye'nin Orta Doğu ve Afrika kaynaklı çöl tozlarından etkilendiği bilinmektedir. Ülkemize olan toz taşınımı genellikle ilkbahar, sonbahar ve yaz aylarında yaşanmaktadır. Bu toz taşınımı olayının en önemli özelliği kışın yaşanması ve etkisini çok yoğun olarak Ege ve Marmara Bölgeleri'nde göstermesidir.

31 Ocak – 1 Şubat 2015 tarihleri için yaşanan toz fırtınası, hem uydu gözlemleri hem de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılan PM_{10} ölçümleri ile desteklenmektedir. Bu tarihlere ait PM_{10} ölçümleri incelendiğinde; Marmara Bölgesi'nde çok yüksek PM_{10} konsantrasyonlarının ölçüldüğü görülmektedir (Şekil 1). Benzer durum uydu görüntülerinde de bulunmaktadır.

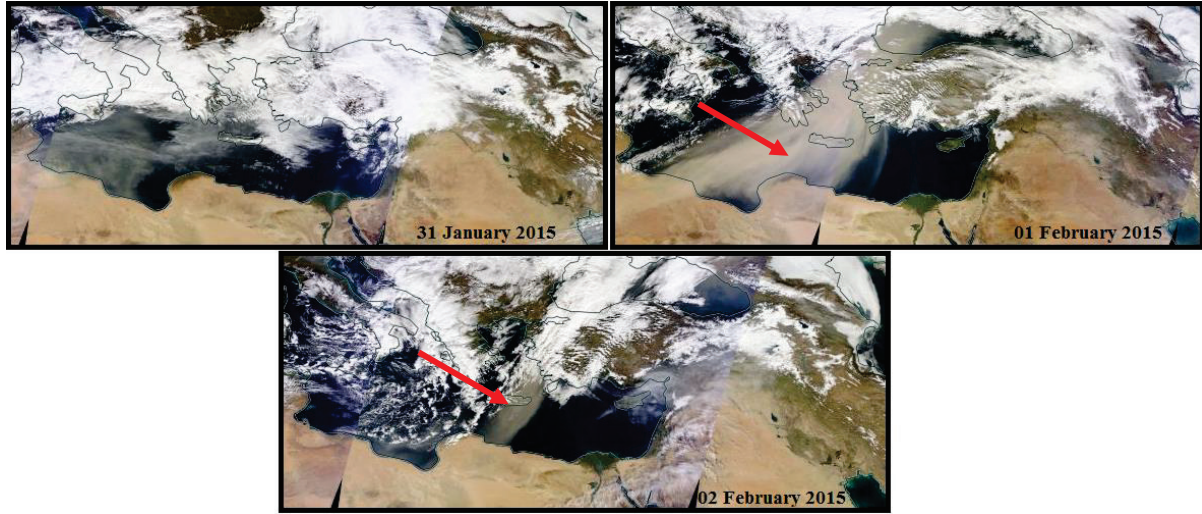


Şekil 1. Bazı şehirlerimizde ölçülen PM_{10} değerleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (30 Ocak – 3 Şubat 2015)

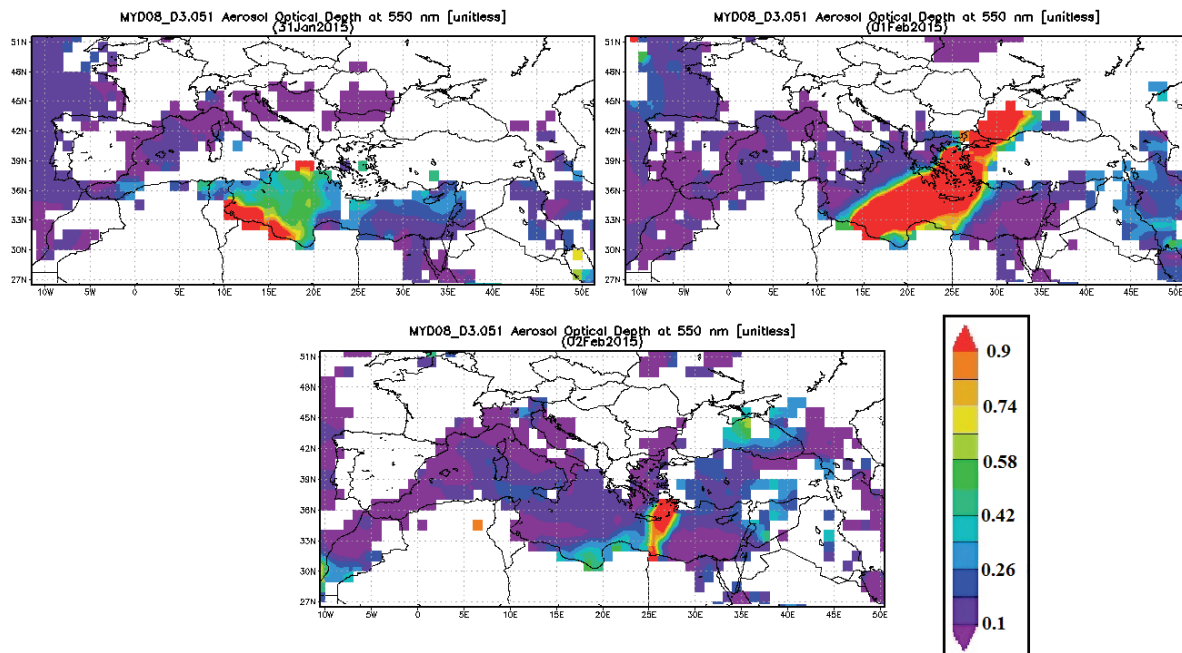
Ölçüm verilerine göre, 1 Şubat 2015 tarihinde Yunanistan üzerinden Karadeniz'e kadar ulaşan Afrika kaynaklı toz taşınımının Marmara Bölgesi'ndeki çoğu şehirlerde etkisini gösterdiği görülmektedir. Bu toz taşınımı sebebiyle Kocaeli, İstanbul ve Sakarya şehirlerinde ölçülen PM_{10} değerlerinin sırasıyla $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $685 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $565 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e kadar ulaştığı görülmektedir. Şekil 2'de gösterilen MODIS gerçek zamanlı (real-time) görüntüsü, 1 Şubat 2015 tarihli toz taşınımının yoğunluğunu açıkça göstermektedir.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Diğer taraftan, MODIS/Aqua uydusu aerosol optik derinliği (AOD) ürünü Şekil 3’de gösterilmiştir. 31 Ocak 2015 tarihinde Libya’nın kuzeybatı ve Cezayir’in doğu kesimlerinde toz taşınımı ile ilişkili olarak yüksek AOD değeri ($>0,9$) görülmektedir. Yine, 1 Şubat 2015 tarihinde ise Akdeniz ve Ege denizi üzerinden Karadeniz’e kadar uzanan bir alanda çok yüksek AOD değeri ölçüldüğü görülmektedir. Bu değerler tozun bölgedeki varlığını açıkça göstermektedir. Sonraki gün ise uydu AOD ölçümleri Türkiye üzerinde düşük değerler vermiştir.

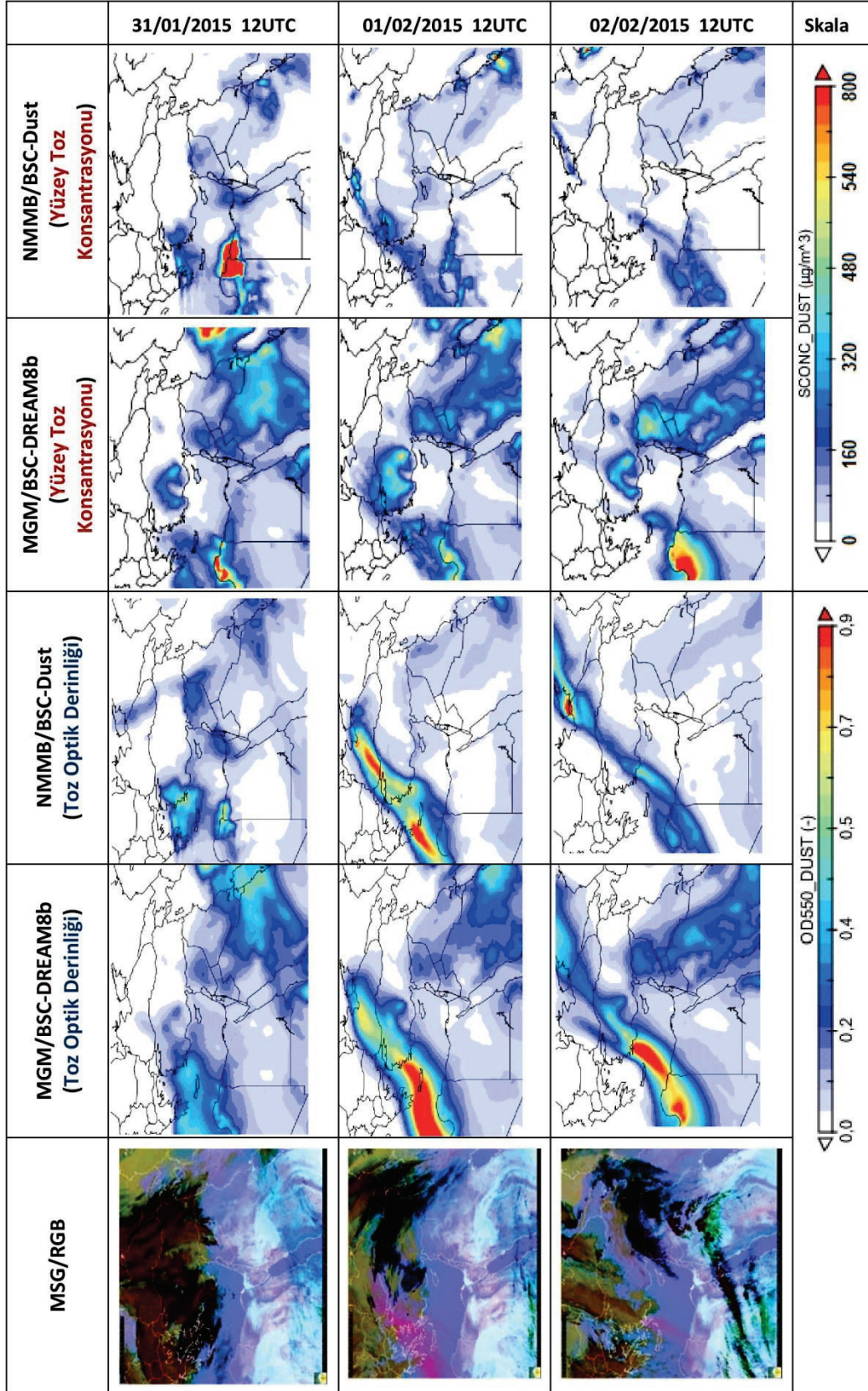


Şekil 2. MODIS/Aqua gerçek renkli görüntüsü (31 Ocak – 2 Şubat 2015)



Şekil 3. MODIS-AOD ürünleri (31 Ocak - 2 Şubat 2015)

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

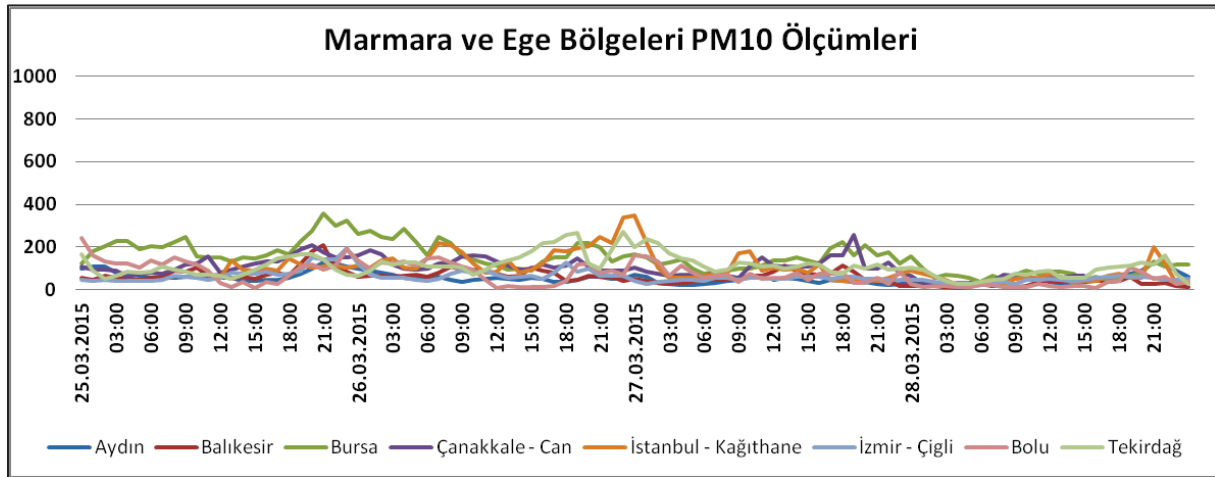


Şekil 4. MSG/RGB Uydu Görüntüsü ve Modellerin Toz Optik Derinliği Ürünleri (31 Ocak - 2 Şubat 2015 12UTC)

MSG/RGB uydu görüntüsü incelendiğinde, MODIS AOD görüntüsüne paralel olarak toz taşınımının 1 Şubat 2015 tarihi 12UTC zamanında Türkiye'ye ulaştığı ve etkisini gösterdiği görülmektedir. Yine model toz optik derinliği tahminleri de bunu desteklemektedir. Her iki model ürünleri toz taşınımının etkili olduğu Ege ve Marmara Bölgelerinde 1 Şubat 2015 tarihinde yüksek toz optik derinliği değerleri vermiştir. Özellikle MGM/BSC-DREAM8b modeli, NMMB/BSC-Dust modeline göre daha geniş alanda daha yüksek toz optik derinliği değerleri verdiği görülmektedir. Sonraki gün ise elde edilen ürünler Türkiye üzerinde daha düşük değerler vermiştir. Model tahmin ürünlerinin yüzey toz konsantrasyonu tahmin ürünleri incelendiğinde, 1 Şubat 2015 tarihi 12UTC için özellikle MGM/BSC-DREAM8b modelinin yüzeyde yüksek değerler verdiği görülmektedir. Bu değerler NMMB/BSC-Dust modeli ürünlerinde daha düşük olmasına karşın yine de Marmara Bölgesi'nde $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ün üzerinde değerler vermektedir. Gerçekleşen toz taşınımının yüzey konsantrasyonunda oluşturduğu artış, bazı farklılıklara karşın her iki model ürünleri ile de tahmin edilmiştir. (Şekil 4).

3.2. 27 Mart 2015 tarihli toz taşınımı olayı

Bu toz taşınımı olayında 26 Mart 2015 tarihinde Libya üzerinde bir toz taşınımı başlamış ve sonraki gün Türkiye'ye kadar ulaşarak bölgeyi önemli derecede etkilemiştir. 27 Mart 2015 tarihinde yaşanan bu toz taşınımı olayının en önemli özelliği; uydu gözlemlerinde net bir şekilde gözlemlenmesine karşın, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılan PM_{10} ölçümleri ile gözlemlenmemiş olmasıdır. Bu tarihlere ait PM_{10} ölçümleri incelendiğinde; Marmara ve Ege Bölgeleri'nde çok yüksek olmayan PM_{10} konsantrasyonlarının ölçüldüğü görülmektedir (Şekil 5). Uydu görüntülerinde ise bu durumun tersi (yüksek değerler) görülmektedir.



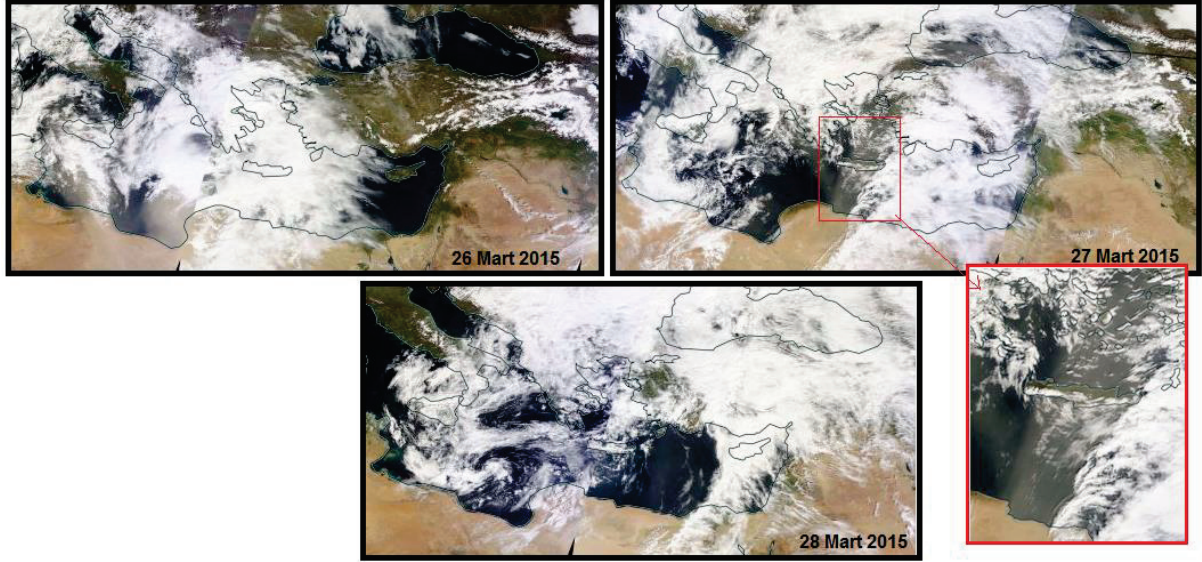
Şekil 5. Bazı şehirlerimizde ölçülen PM_{10} değerleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (25 – 29 Mart 2015)

27 Mart 2015 tarihinde Yunanistan üzerinden Karadeniz'e kadar ulaşan Afrika kaynaklı toz taşınımının Türkiye'ye doğru hareketi Şekil 6'da görülmektedir. Toz taşınımının etkileri her ne kadar PM_{10} değerlerine yansımaya bile, MODIS gerçek zamanlı (real-time) görüntüsünde toz taşınımının Türkiye üzerine kadar ulaştığı görülmektedir. Türkiye üzerinde yoğun bulutluluk sebebiyle, toz taşınımının alanı net bir şekilde görülememektedir.

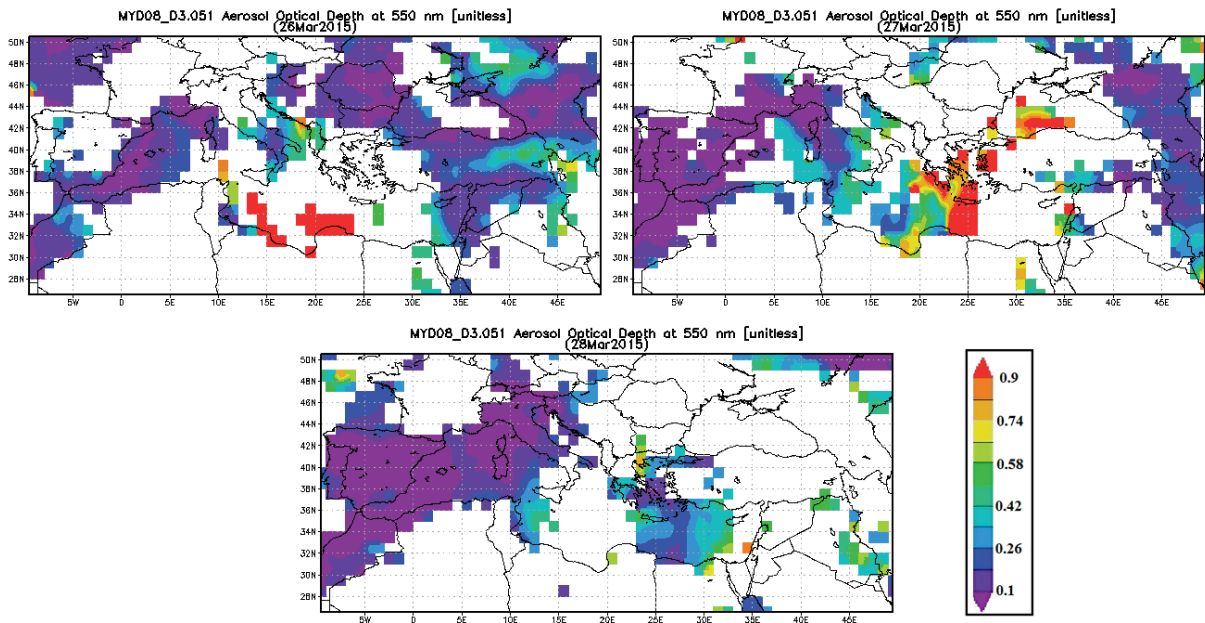
Bununla birlikte, MODIS/Aqua uydusu aerosol optik derinliği (AOD) ürünü Şekil 7'de gösterilmiştir. 27 Mart 2015 tarihinde Yunanistan ve Yunanistan'ın güney kesimlerinde toz

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

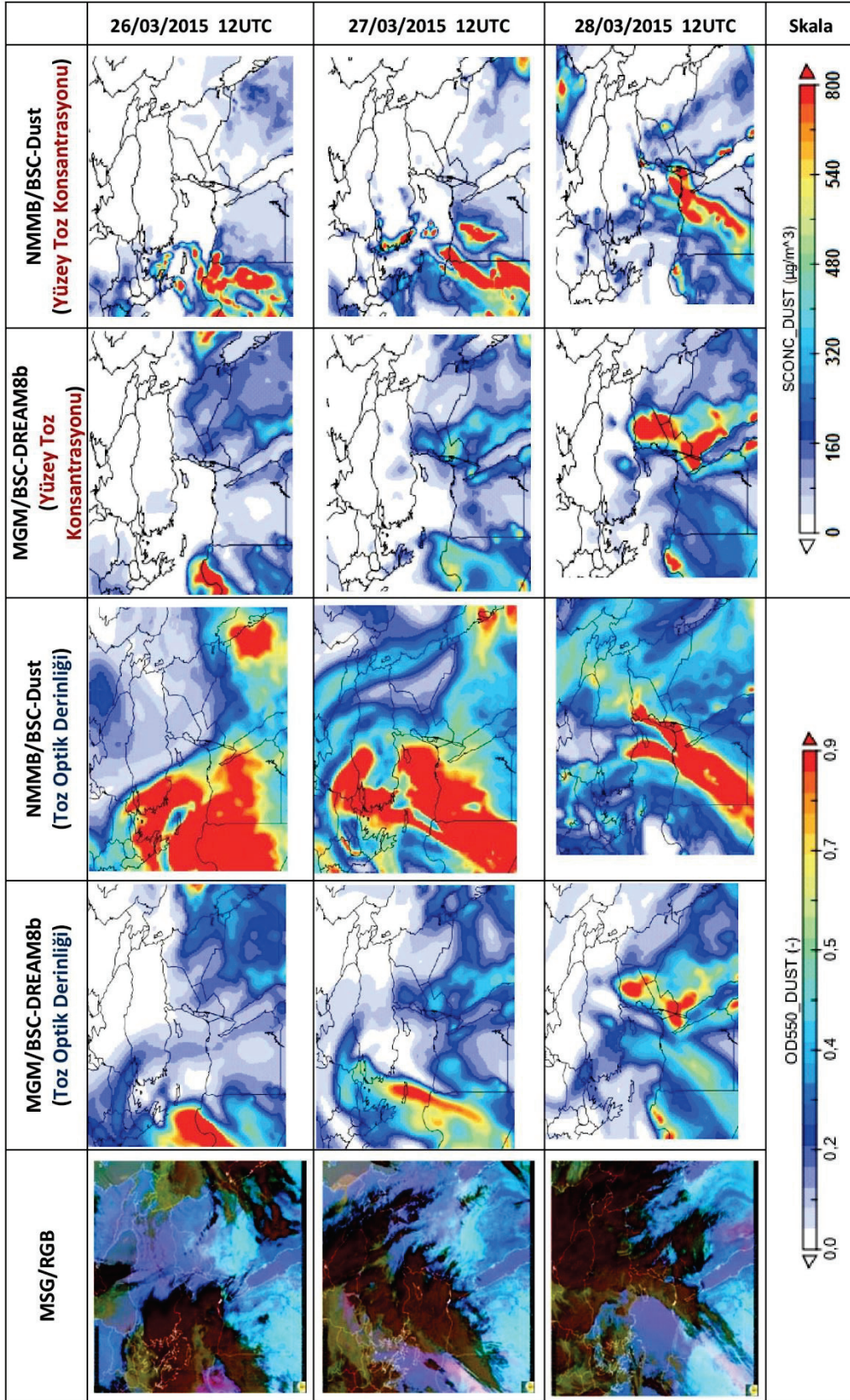
taşıyım ile ilişkili olarak yüksek AOD değerleri ($>0,9$) görülmektedir. Yine, Ege denizi üzerinden Karadeniz'e kadar uzanan hat boyunca çok yüksek AOD değeri ölçülmüştür. Sonraki gün ise bu değer Türkiye üzerinde düşük değerler vermiştir.



Şekil 6. Modis/Aqua gerçek renkli görüntüsü (26 – 28 Mart 2015)



Şekil 7. MODIS-AOD ürünleri (26 - 28 Mart 2015)



Şekil 8. MSG/RGB Uydu Görüntüsü ve Modellerin Toz Optik Derinliği Ürünleri (26 - 28 Mart 2015 12 UTC)

Bu toz taşınımı olayında her ne kadar PM₁₀ yer ölçümlerinde ciddi bir artış görülme de, MSG/RGB uydu görüntüsü ve yüksek MODIS-AOD verileri tozun Türkiye üzerindeki varlığını kanıtlamaktadır. RGB ürünlerine göre toz taşınımı, 27 Mart 2015 tarihi 12UTC'de Türkiye'ye ulaşmıştır. Uydu görüntüleri ile daha iyi uyuşma sağlayan MGM/BSC-DREAM8b modeli ürünleri taşınım olayını tahmin etmiş ve tozun ulaşımını göstermiştir. Sonraki gün toz taşınımının Türkiye üzerinden Ürdün ve Suriye'ye kadar ulaştığı görülmektedir. NMMB/BSC-Dust modeli ise gerçekleşenin çok üzerinde (overestimate) toz tahmini yapmıştır. Bununla birlikte modellerin yüzey toz konsantrasyonu verileri incelendiğinde ise; NMMB/BSC-Dust model ürünlerinin Ege Bölgesi'nde yüksek değerler verdiği görülmektedir ki bu da modelin gerçekleşenin üstünde tahmin yapmasından kaynaklıdır. Buna karşılık MGM/BSC-DREAM8b modeli yüzey konsantrasyonunda çok düşük değerler vermiştir. Model yüzey konsantrasyon verilerininin 27 Mart 2015 tarihi 12UTC'de Türkiye'de sıfıra yakın değerler verdiği görülmektedir (Şekil 8).

DEĞERLENDİRMELER

Doğu Akdeniz havzasında yer alan Türkiye'de atmosfer koşullarının oldukça dinamik olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bölgede gözlenen toz taşınımı olayları da zamana ve mekana bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Toz konsantrasyonundaki bu değişkenlik gündün güne hızlı bir şekilde gerçekleşebilmektedir. Bu değişimin takibi için yer seviyesi ölçüm (hava kalite istasyon) verileri toz yükleme ve tozun kuru çökeli hakkında bilgiler sağlarken, uydu gözlemleri ve model tahmin ürünleri tozun taşınımı ve atmosfer kolonundaki yoğunluğu hakkında bilgiler vermektedir. Yapılan bu çalışmada, Türkiye'de gözlenen iki önemli toz taşınımı olayı analiz edilerek farklılıklar ortaya koyulmuştur. Analizler neticesinde, birinci örnek olayda tozun Türkiye üzerinden taşınımı esnasında kuru olarak çökeldiği görülmüştür. Bu çökelim sebebiyle yer seviyesi ölçüm verileri çok yüksek değerler vermiştir. Bununla birlikte, model ürünlerinden bazı farklılıklara karşın her ikisinin de uydu görüntüleri ile uyuşma sağlayarak toz taşınım olayını tahmin ettiği görülmüştür. Uydu gözlemlerinde olduğu gibi modellerin hem toz optik derinliği, hem de yüzey toz konsantrasyonu tahminlerinde yüksek değerler görülmüştür. İkinci örnek olayda ise, taşınan tozun Türkiye'ye ulaşmasına karşın yer seviyesi ölçüm verilerinde bir artışa sebep olmadığı görülmüştür. Bundaki en önemli etken tozun yaş olarak çökmesi ve dolayısıyla istasyon ölçümlerine yansımamasıdır. Bu toz taşınımı olayında NMMB/BSC-Dust modelinin gerçekleşenin üzerinde tahmin verdiği görülmüştür. Diğer tahmin modeli olan MGM/BSC-DREAM8b tahminlerinin bu örnek olayı diğerine göre daha iyi tahmin ettiği ve uydu görüntüleri ile iyi uyuşma sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Dayan, U., Heffter, J., Miller, J., Gutman, G.: Dust intrusion events into the Mediterranean basin. *Journal of Applied Meteorology* 30, 1185–1199, 1991.

Güllü, G. H., Ölmez, I., Aygun, S., & Tuncel, G. (1998). Atmospheric trace element concentrations over the eastern Mediterranean Sea: Factors affecting temporal variability. *Journal of Geophysical Research*, 103, 21943–21954. doi:10.1029/98JD01358.

Lovett, G. M.: Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: An ecological perspective, *Ecol. Appl.*, 4, 629– 650, 1994.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015
7-9 Ekim 2015, İZMİR

Mahowald, N. M., Baker, A. R., Bergametti, G., Brooks, N., Duce, R. A., Jickells, T. D., Kubilay, N., Prospero, J. M., and Tegen, I.: Atmospheric global dust cycle and iron inputs to the ocean, *Global Biogeochem. Cy.*, 19, GB4025, doi:10.1029/2004GB002402, 2005.

Nickovic, S. Et al.,(2001), A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere, *J. Geophys. Res.*, 106, 18113-18130, doi: 10.1029/2000JD900794.

Pérez, C. Et al.,(2006a), Interactive dust-radiation modeling: A step to improve weather forecasts, *J. Geophys. Res.*, 11, doi:10.1029/2005JD006717.

Pérez, C. Et al.,(2006b), A long Saharan dust event over the western Mediterranean: Lidar, Sun photometer observations, and regional dust modeling, *J. Geophys. Res.*, 111, doi:10.1029/2005JD006579.

Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N.: Dry Deposition, in: *Atmospheric Chemistry and Physics*, Second Edn., JohnWiley & Sons, Hoboken, 900–931, 2006.

Shao, Y., Wyrwoll, K.-H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., Mc-Tainsh, G. H., Mikami, M., Tanaka, T. Y., Wang, X., and Yoon, S.: Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science, *Aeolian Res.*, 2, 181–204, 2011.

Tegen, I.: Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system, *Quaternary Sci. Rev.*, 22, 1821–1834, 2003.

Zufall, M. J. and Davidson, C. I.: Dry deposition of particles, in: *Atmospheric Particles*, edited by: Harrison, R. M. and Van Grieken, R., John Wiley & Sons, 425–473, 1998.

(<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>)