

# Uzaktan Algılama Verileri ile Toz Taşınımı Analizi

**Kahraman OĞUZ, Muhammet Ali PEKİN, Cihan DÜNDAR**

Meteoroloji Genel Müdürlüğü  
Araştırma Dairesi Başkanlığı  
Ankara  
koguz@mgm.gov.tr  
mapekin@mgm.gov.tr  
cdundar@mgm.gov.tr

## ÖZET

*Toz taşınımı, Dünya ekosistemi için büyük önem taşımaktadır, çünkü kum ve toz fırtınaları, fiziksel çevre ve canlılar üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. Bu çalışmada; özellikle geniş alanların hızlı ve güvenilir bir şekilde izlenmesine olanak sağlayan uzaktan algılama yöntemleriyle toz taşınımının belirlenmesi hakkında bilgiler sunulmuştur. Bu amaçla çalışma dönemi olarak Türkiye'yi kapsayan bir alanda yoğun toz olayının gözlemlendiği tarihler ele alınmıştır. Bunun tespiti için öncelikle OMI sensörünün Aerosol İndeks ürünü ve Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının PM10 verileri incelenip 18 Nisan 2012 ve 8 Nisan 2013 tarihlerine odaklanılmıştır. Daha sonra toz olayını detaylı yorumlamak amacıyla bu tarihlere ait Aqua/MODIS-Aerosol Optik Derinliği ve MSG-RGB uydu ürünleri analiz edilip, BSC-DREAM8b toz taşınımı tahmin modeli çıktıları ile mukayese edilmiştir.*

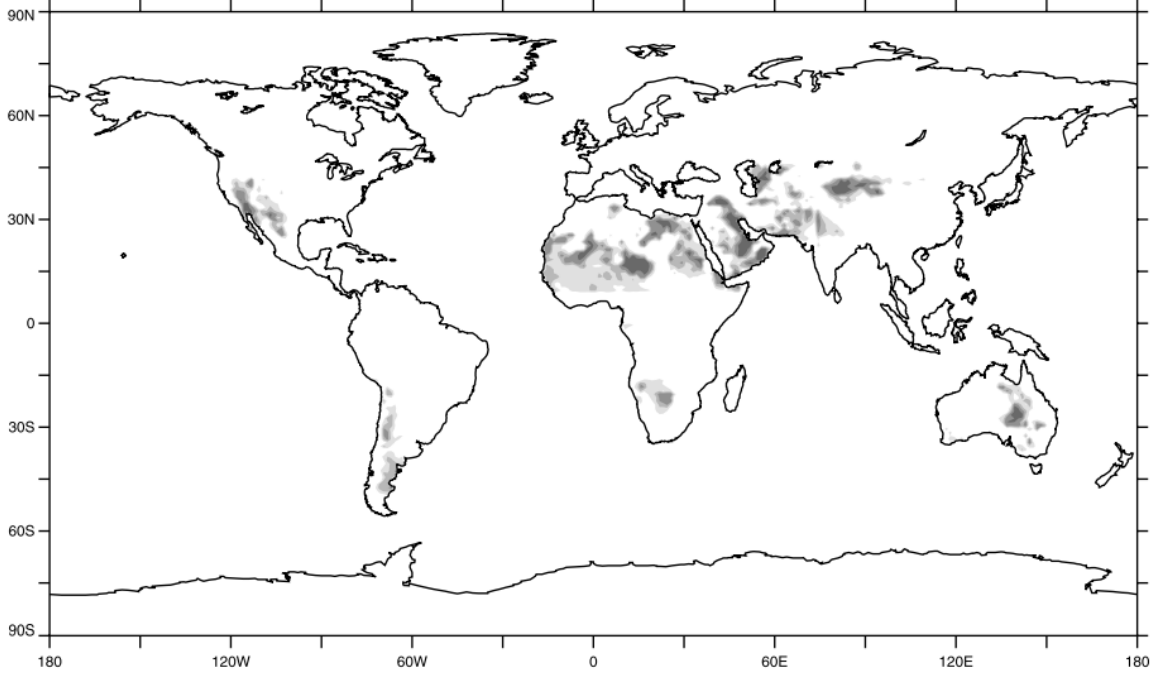
*Anahtar Kelimeler — Toz taşınımı; uzaktan algılama; MODIS; MSG.*

## 1. GİRİŞ

Çöl kökenli tozlar, kurak ve yarı kurak alanlardan genel atmosfer dolaşımı ile ve çeşitli meteorolojik faktörlere (rüzgarlar, konvektif aktivite ve gezici depresyonlar) bağlı olarak toprak örtüsündeki tozların atmosfere dahil olması ve bu tozların uzun mesafeli atmosferik taşınımı sonucunda meydana gelmektedir.

Toz taşınımı, Dünya ekosistemi için büyük önem taşımaktadır. Toz taşınımının temel nedeni, kuraklık ve çölleşme olarak belirtilmektedir. Dünyadaki başlıca toz kaynak alanları Afrika

(Sahra çölü), Asya (Gobi ve Taklamakan), Arabistan Yarımadası, Güney Amerika ile Avustralya'da bulunan çöllerdir (Şekil 1).



Şekil 1: Toz kaynak alanları (Prospero et al. 2001)

Tozun iklim ve çevre üzerine olan etkileri (IPCC, 2007) atmosferik toz döngüsünü tahmin etmeyi ve yorumlamayı zorunlu kılmıştır. Bu amaçla, 1990 yılından bu yana toz taşınımının tahmin edilmesi amacıyla çeşitli bölgesel ve küresel modeller geliştirilmiştir. Bunun yanında çeşitli uydu gözlemleri ile de toz taşınımı gözlemlenmektedir.

## 2. METODOLOJİ

### 2.1- Uydu Gözlemleri

Uydu aerosol ürünleri genellikle toz kaynak alanlarının ve toz taşınım paternlerinin tespiti için kullanılmaktadır. Tozun etkilerinin tahminini doğru bir biçimde yapabilmek için, tozun taşınım yüksekliğinin, paternlerinin detaylı olarak incelenmesi ve bunun yorumlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Tozun taşınımı ve karakteristiği Ozon İzleme Cihazı (OMI), Orta Çözünürlüklü Spektro-radiometre Görüntüleme (MODIS) ve İkinci Nesil Meteoroloji Uydusu (MSG) gibi çeşitli uydular tarafından ölçülebilmektedir ve toz aerosollerinin görüntülenmesi yapılabilmektedir. Bu gözlemler tozun yatay/düşey dağılımı ve taşınımı hakkında yararlı bilgiler sağlamaktadır (Wang, 2012).

### 2.1.1 OMI (Ozon Görüntüleme Cihazı)

OMI; duman, toz, sülfat vb. aerosol türlerini ayırt etmektedir. OMI uydusu TOMS uydusunun devamıdır ve toplam ozon, ozon kimyası, aerosol ve iklim ile ilgili diğer atmosferik parametreleri de ölçmektedir.

Toz analizi için sıkça kullanılan ürünlerden birisi olan OMI Aerosol İndeks (AI) ürünü Ultraviyole (UV) radyasyonunun atmosferdeki aerosollerden ne kadarının yansıtıldığının bir ölçümüdür. Bu algoritma, aerosol tabakası altından saçılan UV akısının pertürbasyonuna dayanmaktadır. AI ürünü; UV radyasyonunu absorblayan ve yansıtan aerosolleri ayırt edebilmektedir ve bu yolla aerosoller tarafından absorblanma miktarı ile ilgili bilgi sağlamaktadır. AI pozitif değerleri; UV absorblayan aerosollerle alakalıdır ve bunlar temelde mineral toz, duman ve volkanik aerosollerdir. Negatif AI değerleri ise absorblamanın olmadığı (sülfat, deniz tuzu partikülleri gibi) hem doğal hem de antropojenik kaynaklarla ilişkilidir (Torres et al, 1998).

### 2.1.2 MODIS (Orta Çözünürlüklü Spektro-radiometre Görüntüleme Sistemi)

MODIS, 1999 yılında NASA tarafından fırlatılmış, yer küreye göre sabit yörüngesi olan bir sistemdir. Bu sistem, 36 farklı bant bölgesinde 0,4 -14,4 mikron dalga boyunda çalışan, farklı seçicilikte özelliklere sahiptir. 1-2 geçiş ile tüm dünyayı görüntüler. Onboard Terra'da MODIS dünyayı sabah görürken, Aqua MODIS yörüngesi dünyayı öğleden sonra görür. Yeryüzü üzerinde, büyük ölçekli küresel dinamik yapıya ait ölçümleri (bulut kapallığı, radyasyon bütçesi, aşağı atmosferde okyanus ve kara yüzeylerinde oluşan değişimleri) verecek şekilde tasarlanmıştır. MODIS aerosol algoritması ise, iki bağımsız algoritmadan (biri kara üzeri, diğeri okyanus üzeri) oluşmaktadır. MODIS aerosol ürünleri sadece bulutsuz bölgeler için oluşturulur (Levy et al., 2010).

### 2.1.3 MSG (İkinci Nesil Meteoroloji Uydusu)

Meteosat 2 (MSG) uydusunun kurulumu 28 Ağustos 2012 tarihinde gerçekleşmiştir ve bu sayede gerçek zamanlı model değerlendirmeleri için çok önemli bir fırsat elde edilmiştir. MSG uydusu iklim izleme ve araştırmaları için önemli veriler sağlamakla birlikte, kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda tasarlanmış kısa süreli tahmin (nowcasting) ve sayısal hava tahmin hizmetleri için önemli bilgiler sağlamaktadır. Uydu tam disk görüntüsü, hızlı

gelişen meteorolojik olayların izlenmesine olanak sağlayan yüksek çözünürlüklü görünür kanalda her 15 dakikada bir ürün sağlamaktadır.

MSG toz ürünü SEVIRI kızılötesi kanalına dayalı RGB kompozitidir. Hem gündüz hem de gece boyunca çöller üzerinde toz fırtınalarının gelişimini izlemek için tasarlanmıştır. RGB ürünleri uydunun farklı kanallarından gelen görüntülerinin bir araya getirilerek çok kanallı (multispektral) özellikler kazandırılması tekniği ile oluşturulur. RGB birleşimi ayrıca gündüz boyunca sıcak çöl yüzeyleri ve soğuk toz bulutu arasındaki sıcaklık farkını göstermektedir. Birleşim şu IR kanalları kullanılarak oluşturulmaktadır: IR12.0-IR10.8 (kırmızı), IR10.8-IR8.7 (yeşil); and IR10.8 (mavi). Toz ise bu RGB birleşiminde pembe ve morumsu kırmızı renk olarak görünmektedir. Kuru toprak yüzeyleri açık maviden (gündüz) açık yeşile (gece) doğru renk tonlarında görünür. Kalın yüksek seviye bulutları kırmızı-kahve tonlarında ve ince yüksek seviye bulutları ise çok koyu renkli (neredeyse siyah) olarak görünmektedirler.

## **2.2- BSC-DREAM8b Toz Taşınımı Tahmin Modeli**

Toz Bölgesel Atmosferik Modeli (DREAM; Nickovic et al., 2001) aşınmış çöl bölgelerinde tozların atmosferik yaşam döngüsü'nü tahmin etmektedir ve Eta/NCEP (Çevre Tahmini Ulusal Merkezi) modelinin bir bileşeni olarak geliştirilmiştir.

Modelinin temel özellikleri şunlardır:

- Toz üretim şeması
- Toz üretiminde toprak ıslaklık etkileri
- Kuru çökme ve bulut altı birikimi
- Yatay ve dikey adveksiyon, türbülans ve yan difüzyon
- Toz-radyasyon etkileşimi.

Model çalışması birinci örnek çalışma için 10-21 Nisan 2012 tarihlerini, ikinci örnek çalışma için 28 Mart-11 Nisan 2013 tarihlerini kapsayan aralığı içermektedir. 00:00 UTC 'de başlayan 6 saat aralıklı  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  çözünürlükte NCEP tahminleri başlangıç ve sınır koşulu olarak kullanılmıştır. Model yatay çözünürlüğü  $1/3^{\circ}$  ye, dikey çözünürlüğü ise 15 km 'ye denk gelen bir çözünürlüğe ayarlanmıştır ve çıktılar alınmıştır.

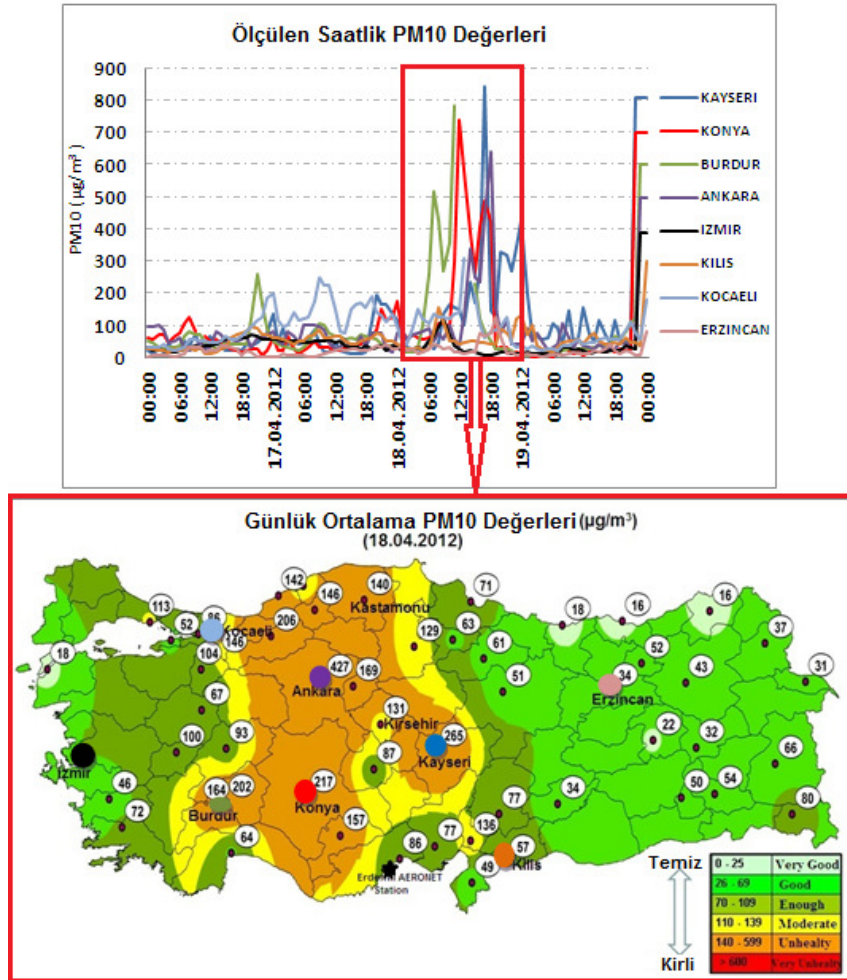
## **3. SONUÇLAR**

Örnek olaylar olarak, Türkiye'de yoğun toz taşınımının gözlemlendiği olaylar analiz edilmiş ve belirlenmiştir. Burada dikkat çeken önemli bir nokta, incelenen her iki örnek çalışmanın da

İlkbahar ayında olmasıdır. Afrika'dan gelen hava kütlelerinin Doğu Akdeniz üzerinde en etkin olduğu dönemler sonbahar ve özellikle ilkbahar dönemleridir, çünkü bu dönemlerde bu bölgeye taşınan toz salımları maksimum düzeydedir (Basart, 2012).

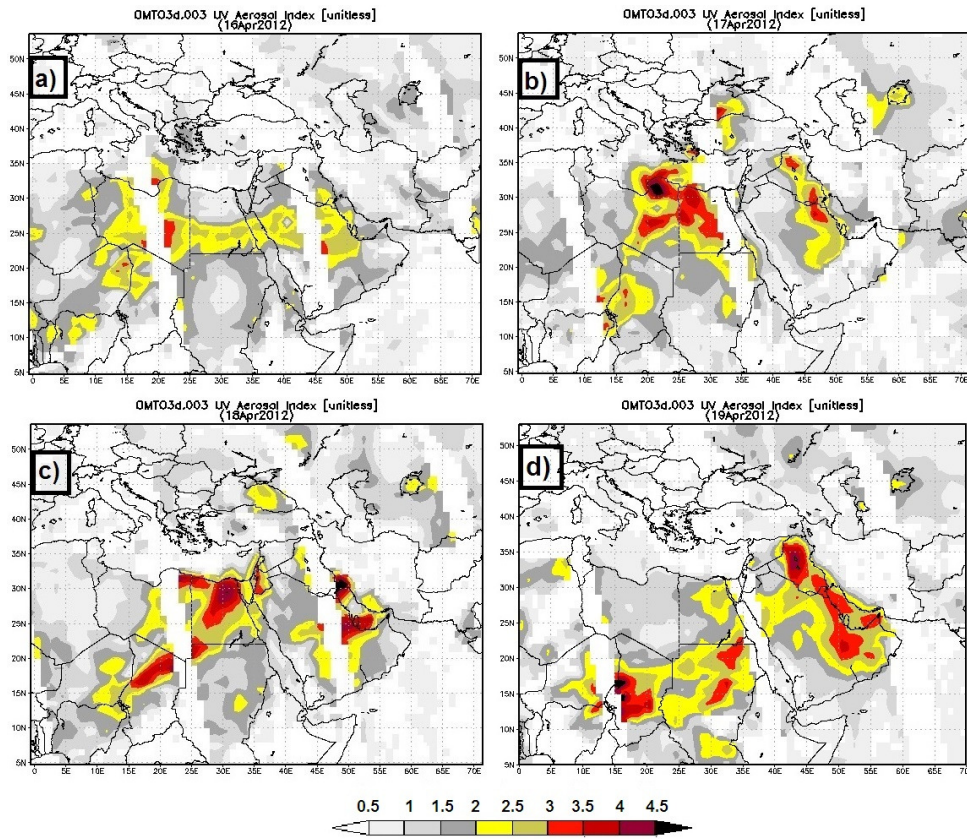
### 3.1- 18 Nisan 2012 Toz Olayı

Bu toz olayında, yere dayalı ve uydu gözlemleri ile toz salımının açıkça gözlendiği 18 Nisan 2012 tarihine odaklanılmıştır. Yoğun toz taşınımı, bu tarihte Türkiye'de çoğu hava kalite istasyonlarındaki PM10 konsantrasyonu değerlerinin pik yapmasına sebep olmuştur. (Şekil 2). Günlük ortalama PM10 değerleri; Ankara'da 427  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Konya'da 217  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Burdur'da 164  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ve Kastamonu'da 140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür ki bu değerler Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği hava kalite PM10 standartlarının ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oldukça üzerinde değerlerdir.



Şekil 2: 18 Nisan 2012 tarihinde ölçülen saatlik (üstte) ve günlük ortalama (altta) PM10 konsantrasyonu değerleri (İstasyonların konumları alttaki harita üzerinde aynı renklerle gösterilmiştir).

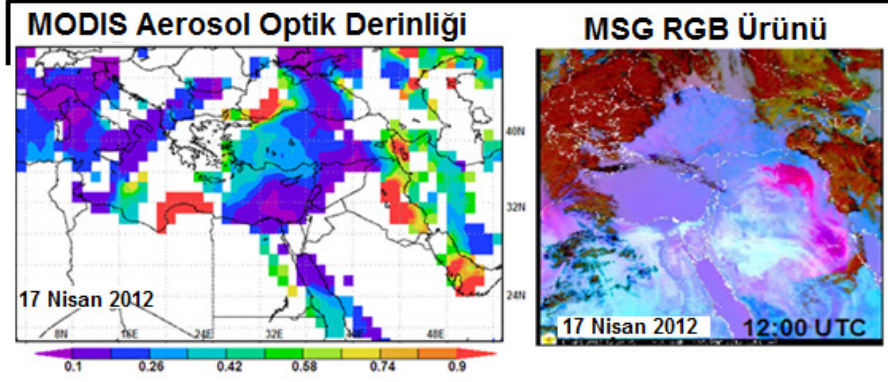
Uydu gözlemleri ile görselleştirilen aerosol ürünleri; bize aerosol yoğunluğu hakkında genel fikir vermekle birlikte, aerosollerin dağılımları hakkında da bilgi sağlarlar. Şekil 3, 16-19 Nisan tarihlerindeki günlük OMI Aerosol İndeks (AI) değerlerini göstermektedir. Cezayir ve Libya üzerinden Türkiye'nin batı ve orta bölgelerine kadar olan bölgede 17 Nisan 2012 tarihinde aerosol yoğunluğunun (AI~2.5) fazla olduğu görülmektedir ve bu yoğunluk sonraki gün doğu yönünde ilerlemiştir. 18 Nisan tarihinde, OMI uydusu İç Anadolu bölgesinde yüksek AI değeri (AI~2) göstermektedir.



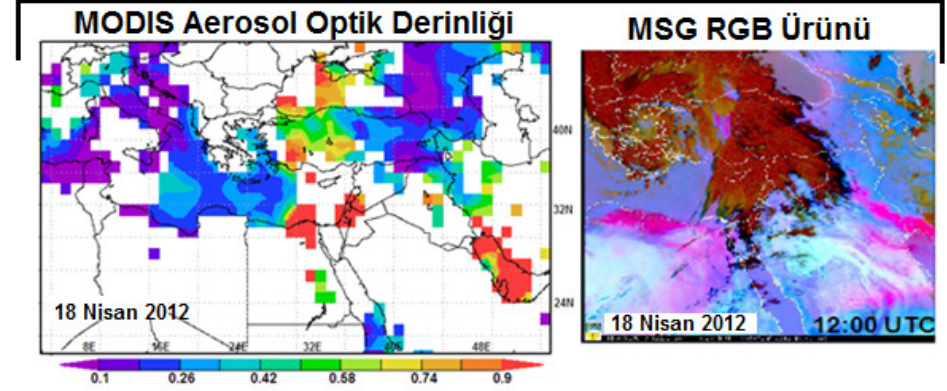
Şekil 3: OMI Ultraviyole Aerosol İndeks (UV-AI) ürünleri (a) 16 Nisan, (b) 17 Nisan, (c) 18 Nisan, (d) 19 Nisan

Çöl tozu kaynaklarının Türkiye'ye taşınımının incelenmesi amacı ile BSC-DREAM8b model çıktıları alınmış ve uydu aerosol ürünleri ile karşılaştırılıp detaylı olarak yorumlanmıştır. 17 Nisan tarihinde Sahara çölü üzerinde yoğun bir toz salınımı başlamış, Kuzey Afrika üzerinden Akdeniz'i geçerek Türkiye'nin batısına doğru ilerlemiştir. Uydu gözlemleri ile uyuma gösteren modelin toz optik derinliği (AOD) çıktılarından da görüldüğü üzere, Karadeniz'e kadar ulaşmıştır (Şekil 4). Modellenen toz AOD'ini, uydu ile gözlenen yüksek AOD değerini yakalayamasa bile toz taşınımının Karadeniz'e ulaşımını göstermektedir.

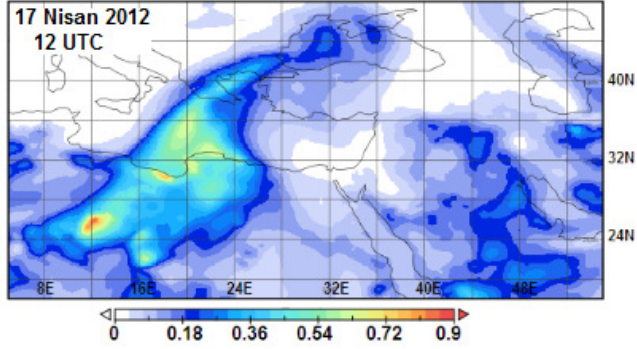
17 NİSAN 2012



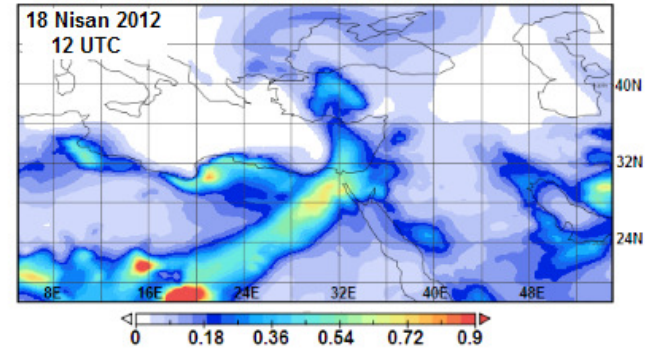
18 NİSAN 2012



BSC-DREAM8b Modeli AOD Toz Ürünü



BSC-DREAM8b Modeli AOD Toz Ürünü



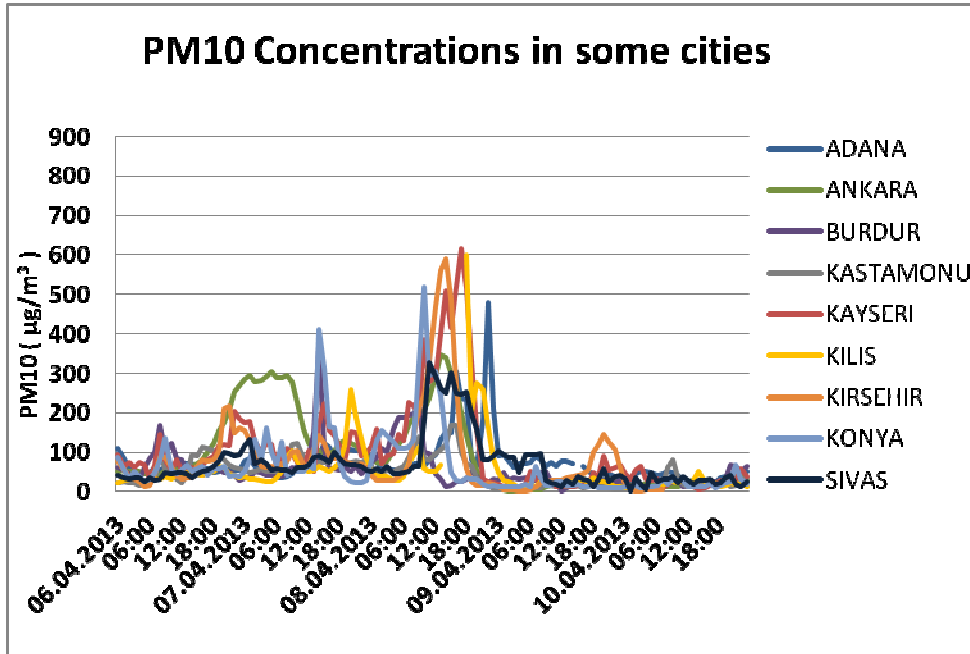
Şekil 4: 17 Nisan 2012(solda) ve 18 Nisan 2012 (sağda) tarihlerine ait MODIS, MSG uydu görüntüleri ve BSC-DREAM8b modeli çıktısı

18 Nisan tarihinde ise toz bulutu meteorolojik koşulların da etkisi ile doğu yönünde ilerlemiştir. Toz optik derinliği Kuzey Afrika üzerinde yüksek değerler vermektedir. En yüksek aerosol konsantrasyonu ( $AOD > 0.5$ ) Kuzey Libya ve Mısır üzerinde görülmektedir (bkz Şekil 4).

Model toz AOD çıktısı tozun etkisini yoğun olarak gösterdiği 18 Nisan tarihinde Türkiye üzerinde yüksek değerler ( $>0.3$ ) göstermektedir. Modelin AOD çıktıları 17 Nisan tarihinde özellikle Karadeniz, Libya'nın kuzeyi ve Irak'ın doğusunda ve 18 Nisan tarihinde ise İran körfezi ve Libya'nın kuzeyinde uydu görüntüleri ile iyi uyuma göstermektedir (bkz Şekil 4).

### 3.2- 8 Nisan 2013 Toz Olayı

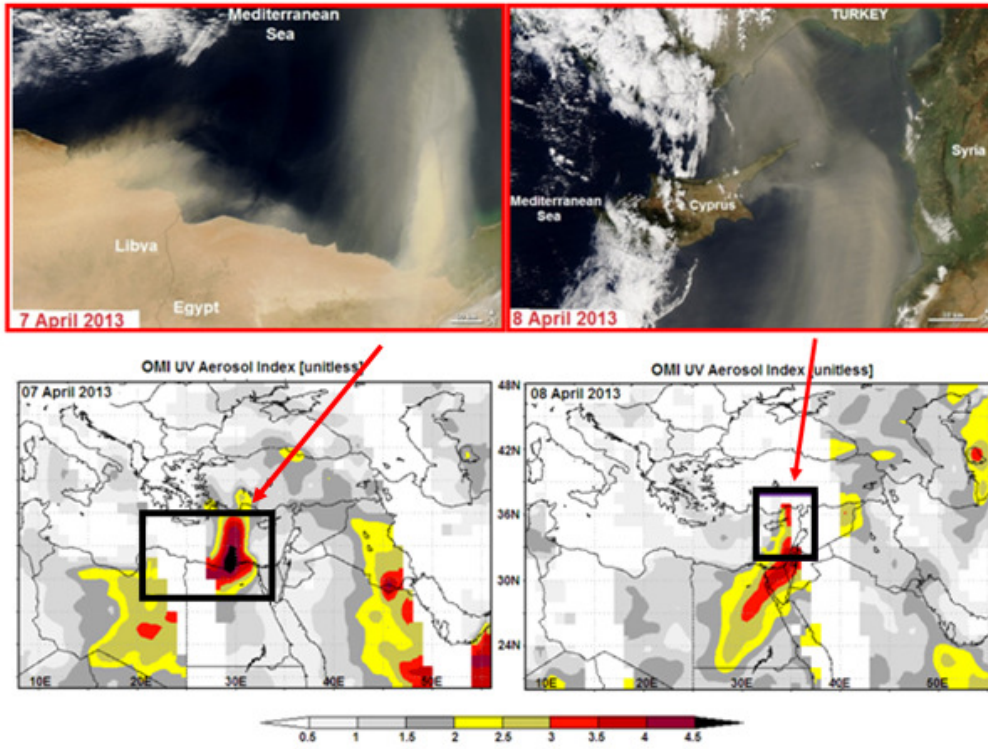
Türkiye'yi etkileyen diğer bir önemli toz taşınımı olayı ise 8 Nisan 2013 tarihinde gerçekleşmiştir. Şekil 5, Türkiye'de bu tarihte toz taşınımından en çok etkilenen dokuz istasyonun saatlik PM10 konsantrasyonu değerlerini göstermektedir. 8 Nisan 2013 tarihinde, yoğun toz taşınımı birçok istasyonda PM10 değerlerini etkilemiştir. Günlük ortalama PM10 konsantrasyonu değerleri 8 Nisan tarihinde Kayseri'de  $247 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Ankara'da  $157 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve Konya'da  $132 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür ki bu değerler de yine Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliği'nin belirlediği PM10 standartlarının oldukça üzerindedir.



Şekil 5: 6-11 Nisan 2013 tarihlerine ait bazı şehirlerde ölçülen saatlik PM10 değerleri



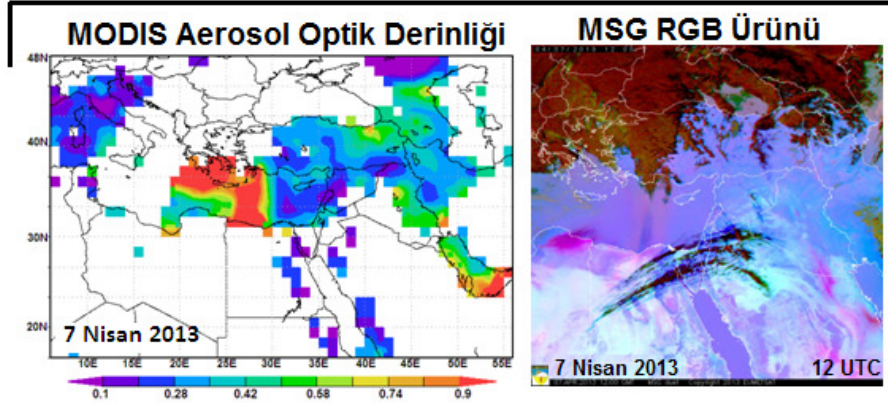
OMI-AI ve Aqua-MODIS uydusu gerçek zamanlı ürünü ile birlikte Şekil 6'da gösterilmiştir. Uydu geçişi dolayısı ile 27°D ve 40°D boylamlarında 7 ve 8 Nisan tarihinde veri bulunmamaktadır, fakat buna rağmen toz kaynakları ve geliş yönü Mısır kaynaklı olarak açıkça görülebilmektedir. OMI görüntüleri de, 3 gibi yüksek bir AI değeri ile Türkiye'ye doğru gelen bir toz taşınımını desteklemektedir. Bu toz olayında, Mısır'ın kuzeyinde bir toz hareketliliği gerçekleşmiştir ve Akdenizden Türkiye'nin güneyine ulaşmıştır. Sonrasında ise Gürcistan'a kadar ilerlemiştir.



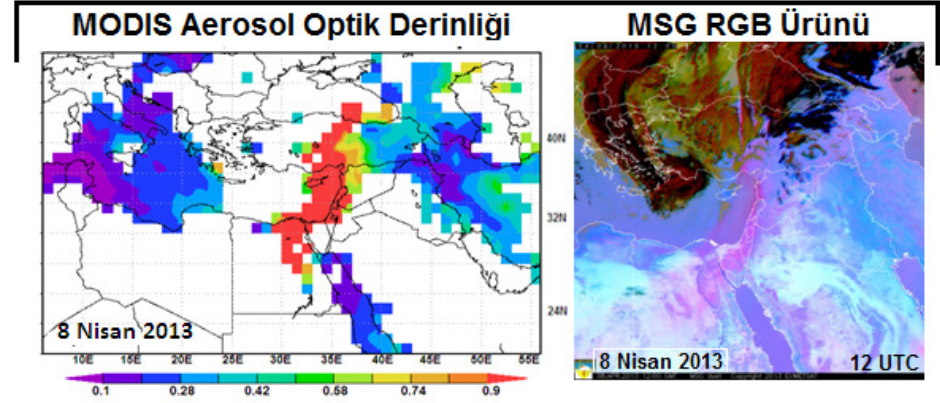
Şekil 6: 7-8 Nisan 2013 tarihlerine ait Aqua-MODIS gerçek zamanlı (üstte) ve OMI UV-AI (altta) ürünleri

Bu toz olayında, 7 Nisan tarihinde Türkiye'nin batısından kuzeydoğusuna doğru ilerleyen bir alçak basınç merkezi, Libya ve Mısır çöllerinden toz taşınımının Akdeniz yönünde ilerlemesine uygun koşul hazırlamıştır ve böylece Sahara çölündeki tozlar Türkiye'nin güneyinden ülkemize giriş yapmıştır. Toz bulutu Libya ve Mısır kıyılarından 7 Nisan tarihinde harekete geçerek sonraki gün Türkiye'nin kuzey bölgelerine kadar ilerlemiştir. 8 Nisan tarihinde ise toz bulutu kuzey yönlü olarak ilerlemiş ve Kuzey Kıbrıs'ı da süpürerek Akdeniz ve Türkiye üzerinden Gürcistan'a kadar ulaşmıştır (Şekil 6 ve 7).

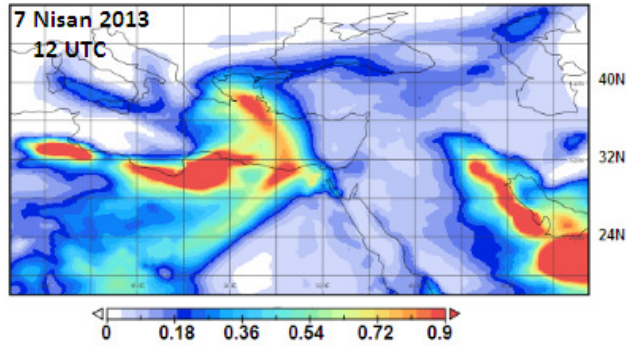
7 NİSAN 2013



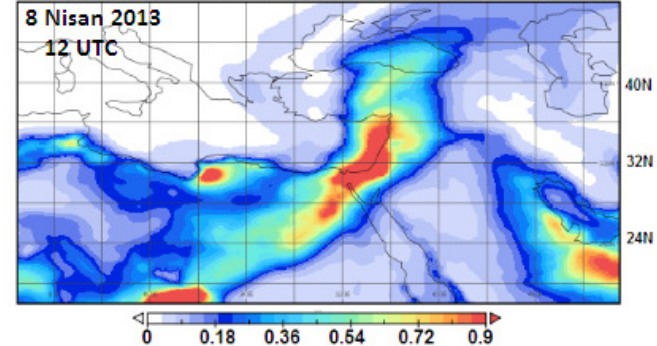
8 NİSAN 2013



BSC-DREAM8b Modeli AOD Toz Ürünü



BSC-DREAM8b Modeli AOD Toz Ürünü



Şekil 7: 7 Nisan 2013(solda) ve 8 Nisan 2013 (sağda) tarihlerine ait MODIS, MSG uydu görüntüleri ve BSC-DREAM8b modeli çıktısı

Modellenen toz aerosol optik derinliği Kuzey Afrika ve Doğu Akdeniz de yüksek değerler vermektedir. En yüksek AOD değeri 0,5 den büyük değer ile Suriye ve Mısır üzerinde görülmektedir. Şekil 7 modellenen toz AOD değerlerinin, 8 Nisan tarihinde Akdeniz'in batısından doğusuna doğru ilerleyen toz taşınımının uydu görüntüleri ile çok iyi eşleştiğini göstermektedir.

#### **KAYNAKLAR**

- [1] **Basart S. et al.**, *Development and evaluation of the BSC-DREAM8b dust regional model over Northern Africa, the Mediterranean and the Middle East*, Tellus B 2012.
- [2] **Dündar C., Oguz K., Güllü G.**, *Doğu Akdeniz Havzasında Kum ve Toz Fırtınalarının İncelenmesi*, 10.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2013
- [3] **Levy R.C., Remer L.A., Klediman R.G., Mattoo S., Ichoku J., Kahn R., and Eck T.F.**, *Global evaluation of the Collection 5 MODIS dark-target aerosol products over land*, Atmos. Chem. Phys., 2010.
- [4] **Nickovic S., Kallos G., Papadopoulos A., and Kakaliagou O.**, *A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere*, J. Geophys. Res., 2001.
- [5] **Prospero J., Ginoux P., Torres O., Nicholson S., Gill T.**, *Environmental Characterization of Global Sources of Atmospheric Soil Dust Identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Absorbing Aerosol Product*, American Geophysical Union, 2002.
- [6] **Torres O., P. K. Bhartia, J. R. Herman, Z. Ahmad, and J. Gleason**, *Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation*, Theoretical basis. J. Geophys. Res., 1998.
- [7] **Wang H., et al**, *A-Train satellite measurements of dust aerosol distributions over northern China*, J Quant Spectrosc Radiat Transfer, 2012.