

**T.C. ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
COĞRAFYA (FİZİKİ COĞRAFYA)  
ANABİLİM DALI**

**ÇÖL TOZLARININ TÜRKİYE'YE TAŞINIMININ BSC-DREAM8b  
TOZ TAŞINIMI TAHMİN MODELİ KULLANILARAK  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Kahraman OĞUZ

Ankara-2014

**T.C. ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
COĞRAFYA (FİZİKİ COĞRAFYA)  
ANABİLİM DALI**

**ÇÖL TOZLARININ TÜRKİYE'YE TAŞINIMININ BSC-DREAM8b  
TOZ TAŞINIMI TAHMİN MODELİ KULLANILARAK  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Kahraman OĞUZ

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK

Ankara-2014

T.C. ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
COĞRAFYA (FİZİKİ COĞRAFYA)  
ANABİLİM DALI

ÇÖL TOZLARININ TÜRKİYE'YE TAŞINIMININ BSC-DREAM8b  
TOZ TAŞINIMI TAHMİN MODELİ KULLANILARAK  
DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İhsan ÇİÇEK

Tez Jürisi Üyeleri

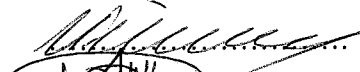
Adı ve Soyadı

İmzası

Prof. Dr. İhsan Çiçek



Prof. Dr. Ülker Ferit Hacıoğlu



Doç. Dr. Necla Türkdoğan



.....

.....

.....

.....

Tez Sınavı Tarihi .07.02.2014...

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ**  
**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Bu belge ile, bu tezdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim.(...../...../2014)

Kahraman OĞUZ

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Türkiye’de toz taşınımının gözlemlendiği iki ayrı güne ait örnek çalışmaları kapsamaktadır. Çalışmanın temel amacı, BSC-DREAM8b toz taşınımı tahmin modelinin çıktılarının ve gözlem verilerinin incelenmesi ve analiz edilmesidir. Bunun yanında, model değerlendirmesinin yapılması ve modelin farklı versiyonlarının karşılaştırması amaçlanmıştır. Ayrıca örnek toz taşınımı olaylarının meteorolojik koşulları detaylı olarak analiz edilmiştir.

Bu araştırmanın gerçekleşmesi sırasında teze danışmanlık eden değerli hocam Prof.Dr. İhsan Çiçek’e ve her zaman desteğini üzerimde hissettiğim Doç.Dr.Necla Türkoğlu’na şükranlarımı sunuyorum.

Ayrıca bana konuyu sevdiren ve bilgisini paylaşan iş arkadaşım Sn. Cihan Dündar’a, yurtdışı eğitimim süresince bana sürekli destek olan ve modeli baştan herşeyiyle anlatan Barselona Süperbilgisayar Merkezi çalışanları Prof.Dr. Jose Maria Baldasano ve Dr. Sara Basart’a, manevi desteğini hep hissettiğim eşim Esin Oğuz’a ve aileme teşekkürler ederim.

Ankara 2014

Kahraman OĞUZ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER .....	II
ŞEKİLLER VE TABLOLAR LİSTESİ .....	IV
<b>1. ÇALIŞMANIN AMACI .....</b>	<b>1</b>
<b>2. BİLİMSEL İÇERİK .....</b>	<b>2</b>
2.1 AEROSOLLER .....	2
2.1.1 Aerosol Tanımı .....	2
2.1.2 Aerosol Çeşitleri .....	6
2.1.3 Aerosollerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	7
2.1.4 Aerosol Etkileri.....	9
2.2 HAVA KALİTE MEVZUATI .....	11
2.3 MİNERAL TOZ DÖNGÜSÜ.....	14
2.3.1 Türkiye’de Mineral Tozları .....	16
2.3.2 Tozların Etkileri.....	18
2.3.3 Çöl Tozu Modelleri .....	20
<b>3. METODOLOJİ .....</b>	<b>23</b>
3.1 ÇÖL TOZU GÖZLEMLERİ.....	23
3.1.1 Yere Dayalı Gözlemler .....	23
3.1.1.1 Hava Kalite İstasyonları .....	23
3.1.1.2 AERONET İstasyonları.....	24
3.1.2 Uydu Gözlemleri .....	26
3.1.2.1 Ozon Görüntüleme Aracı (OMI) .....	27
3.1.2.2 Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) .....	27
3.1.2.3 İkinci Nesil Meteorolojik Uydu (MSG) .....	29
3.2 BSC-DREAM8b MODELİ .....	31
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>36</b>
4.1 18 Nisan 2012 Toz Taşınımı Olayı .....	36

4.2 8 Nisan 2013 Toz Taşımını Olayı .....	50
<b>5. DEĞERLENDİRMELER .....</b>	<b>60</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>62</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>68</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>69</b>

## ŞEKİLLER VE TABLOLAR LİSTESİ

### Şekillerin Listesi

Şekil 2.1. Partikül madde (PM), büyüklük, partikül numarası, kimyasal kütle bileşeni arasındaki ilişki.....	4
Şekil 2.2. Rüzgar erozyonu modellemesi.....	15
Şekil 2.3. Toz kaynaklarının küresel dağılımı.....	16
Şekil 2.4. Rüzgar erozyonuna duyarlı bölgeler.....	17
Şekil 2.5. Küresel süreçte mineral toz ve etkileri.....	19
Şekil 2.6. Yere ve zamana bağlı olarak toz süreçleri.....	21
Şekil 3.1. Türkiye’de Hava Kalite İstasyonları.....	24
Şekil 3.2. 2013 yılı itibari ile AERONET istasyonları.....	25
Şekil 3.3. Mart 24 tarihine ait MODIS-Terra geçişi.....	28
Şekil 3.4. 18 Nisan 2012 tarihi ve 00 UTC ‘ye ait MSG/RGB toz ürünü.....	30
Şekil 3.5. Olson Dünya Ekosistem ve 1-km USGS kara kullanım haritası.....	33
Şekil 3.6. Model çalışma alanı (domain).....	34
Şekil 4.1. Doğu Akdeniz Havzasında mevsimlik ortalama kum ve toz fırtınaları (SDS) olaylarının yıllık değişimleri.....	36
Şekil 4.2. 18 Nisan 2012 tarihinde ölçülen saatlik ve günlük ortalama PM10 konsantrasyonu değerleri .....	37
Şekil 4.3. OMI Ultraviyole Aerosol İndeks (UV AI) ürünleri.....	38
Şekil 4.4. NOAA-HYSPLIT modeli.....	39
Şekil 4.5. 17 Nisan (sol sütun) ve 18 Nisan (sağ sütun) tarihlerine ait 12 UTC’deki rüzgar şiddeti, 500hPa, 850hPa ve 700hPa haritaları.....	41

Şekil 4.6. 18 Nisan 2012 tarihi 00, 06, 12 ve 18 UTC'ye ait yer kartları.....	42
Şekil 4.7. 17 ve 18 Nisan tarihlerine ait MODIS, MSG satellite uydu görüntüleri ve BSC-DREAM8b modeli AOD çıktıları.....	45
Şekil 4.8. BSC-DREAM8b AOD çıktıları ve ölçülen AOD ve AE değerleri.....	46
Şekil 4.9. BSC-DREAM8b yüzey konsantrasyonu çıktıları.....	47
Şekil 4.10. BSC-DREAM8b toz emisyonu çıktıları.....	48
Şekil 4.11. Nisan 2012 olayı için Ankara, Konya, Kirsehir, Kocaeli, Burdur ve İzmir şehirlerinde BSC-DREAM8b modeli, yüzey konsantrasyonu tahminleri ve ölçülen PM10 değerleri.....	49
Şekil 4.12. 6-11 Nisan tarihleri arası Türkiyede bazı şehirlerde saatlik ölçülen PM10 değerleri.....	51
Şekil 4.13. 7-8 Nisan 2013 tarihlerine ait ortalama rüzgar hızı ve 500 hPa haritaları.....	52
Şekil 4.14. 8 Nisan 2013 tarihi 00, 06, 12 ve 18 UTC'ye ait yer kartları.....	53
Şekil 4.15. 7-8 Nisan tarihlerinde; Aqua-MODIS sensöründen görüntü ve OMI sensöründen UV Aerosol Indeks görüntüsü.....	54
Şekil 4.16. MODIS AOD ürünleri ve farklı versiyonları ile modellenen BSC-DREAM8b toz AOD çıktıları.....	55
Şekil 4.17. BSC-DREAM8b AOD çıktıları, ölçülen AOD ve AE değerleri ve geri yörünge analizi.....	56
Şekil 4.18. BSC-DREAM8b farklı versiyonlarının yüzey konsantrasyonu çıktıları.....	57
Şekil 4.19. Ankara, Kayseri, Konya ve Kırşehir şehirleri için Nisan 2013 tarihli BSC-DREAM8b yüzey konsantrasyonu değerleri ve gözlenen PM10 değerleri.....	58

## **Tabloların Listesi**

Tablo 2.1	PM10 ve PM2.5 Hava Kalite Standartlarının Karşılaştırması.....	13
Tablo 3.1	BSC-DREAM8b modelinin iki farklı versiyonunda kullanılan model versiyonu, toz kaynak sınırlaması, isteğe bağlı toz kaynakları alanları.....	35

## 1. ÇALIŞMANIN AMACI

Toz, hava veya başka bir gaz içerisinde karışım halinde bulunan çeşitli büyüklükteki katı taneciklerdir. Tozlar, tarih boyunca insan sağlığını, canlıları ve iklimi etkilemektedir. Çöl tozu ise 0,1 mm'den 10 mm'ye kadar, ortalama büyüklüğü ise 2 mm olan taneciklerdir. Çöl tozlarının sürüklenmesi, taşınımı ve çökmesi (yaş ve kuru) önemini artırarak karşımıza çıkan konulardan bir tanesidir, çünkü toz fırtınaları; fiziksel çevre ve canlılar üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. Bu nedenle çöl tozlarının taşınımının incelenmesi ve tedbirlerinin alınması önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, belirlenen örnek toz taşınımı olayları gözönüne alınarak, öncelikle toz taşınımına olanak sağlayan meteorolojik koşulları detaylı incelemek ve bununla birlikte "Barcelona Supercomputing Center Dust Regional and Atmospheric Model, BSC-DREAM8b" (Pérez vd., 2006a,b; Basart vd., 2012) toz taşınımı tahmin modelinin yanında uydu ve yere dayalı gözlemler ile çöl tozlarının Türkiye'ye etkilerini incelemek ve analiz etmektir.

Bu kapsamda, çalışmanın nihai hedefi aşağıdaki spesifik amaçların yanında belirlenen örnek olaylar ile Türkiye'yi etkileyen çöl tozu kaynaklarının analizi ve incelenmesidir:

- Çalışma bölgesini etkileyen çöl tozu kaynaklarının değerlendirilmesi amacıyla Türkiye'de gözlemlenen tozların analizinin yapılması,
- BSC-DREAM8b modelinin yere dayalı ve uydu gözlemleri ile değerlendirmesinin yapılması,
- BSC-DREAM8b modelinin çeşitli versiyonlarının (versiyon 1.0 ve versiyon 2.0) karşılaştırılması.

## **2. BİLİMSEL İÇERİK**

Çöllerden kalkan tozlar atmosferin üst tabakalarına yükselerek uzun mesafeler kat etmektedir. Göreceli olarak daha büyük olan toz parçacıkları kaynak alanlarının yakınlarında çökerken, küçük olanlar ise binlerce kilometre yol kat edebilmektedir. Kum ve toz fırtınaları, Dünya ekosistemi için büyük önem taşımaktadır. Literatürde, özellikle demir içeriği açısından zengin olan çöl tozlarının ekosistem üzerinde etkileri olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, toz taşınımı maruz kalan insanların günlük yaşamını ve bununla birlikte hava ve deniz ulaşımını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle aerosol çeşitlerinden bir tanesi olan tozların atmosferik etkilere bağlı olarak taşınımının analizi ve tahmini önem taşımaktadır.

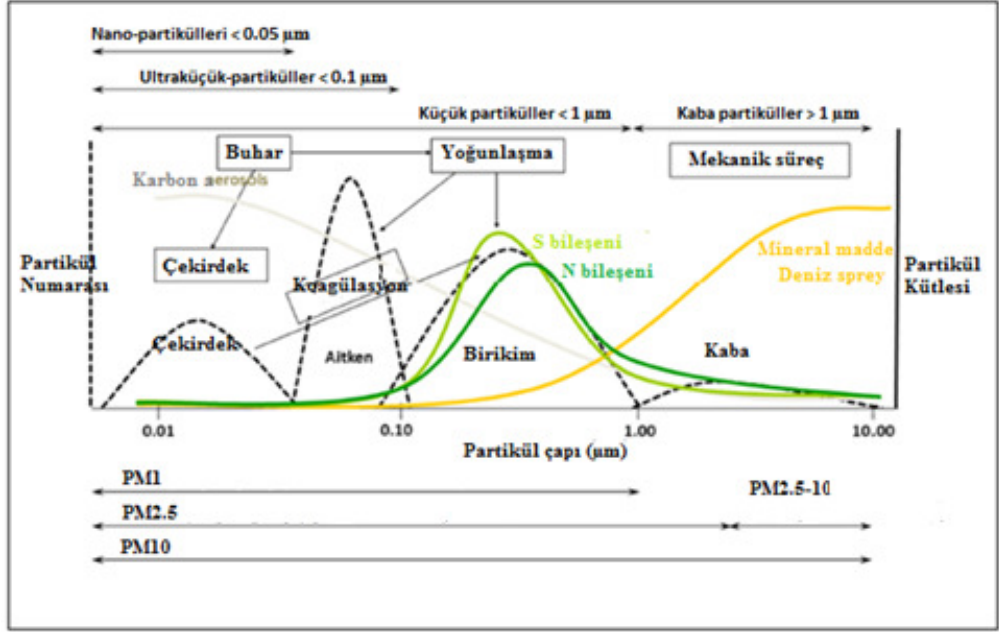
### **2.1 AEROSOLLER**

#### **2.1.1 Aerosol Tanımı**

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. Aerosol kelimesi 80 yıl öncesinden katı parçacıkların dayanıklı bir sıvı süspansiyonu olarak tanımlanmıştır (Hinds, 1999). Basitçe aerosol terimi, katı veya sıvı partiküllerin bir gaz içindeki süspansiyon haline denir. Toz, duman, sis ve pus buna örnek olarak verilebilir. Atmosferik aerosoller genellikle parçacıklar olarak kabul edilirler. Bu parçacıklar, ya doğrudan doğruya atmosfere salınım yoluyla ya da kükürt dioksit, azot oksit vb. gazların, oksidasyonu ile oluşmaktadırlar.

Oluşan bu parçacıklar birincil ve ikincil parçacıklar olarak adlandırılmaktadırlar. Atmosfere salınan partiküller doğal kaynaklı olmakla birlikte insan kaynaklı faaliyetlerden de kaynaklanmaktadır. İnsan kaynaklı faaliyetler ile oluşan partiküller öncelikle dört kaynak (yakıt yakma, endüstriyel prosesler, endüstriyel olmayan ve ulaşım kaynaklı) kategorilerini içermektedir. Diğer kaynaklar ise rüzgarın taşıdığı toz, deniz tuzu, volkanik faaliyetler ve biyokütle yanmasıdır. Doğal aerosoller küresel ölçekte insan kaynaklı olanlardan 4 ila 5 kat daha büyüktür (Seinfeld vd., 1998). Toz da doğal kaynaklı aerosollerin başında gelmektedir. Rüzgar ile bir kere havaya karıştığı zaman, uzun süre atmosferde kalabilmekte ve bu süreçte kimyasal reaksiyon ile partiküllerin büyüklük ve bileşimi değişebilmektedir. Parçacıklar iki mekanizma tarafından atmosferden ayrılırlar: dünya yüzeyine direkt (kuru) çökme ve yağış oluşumu sırasında (yaş) çökme. Kuru ve yaş çökme ile troposferde kısa süre bulunmaktadır. Partikül kaynaklarının coğrafi dağılımı son derece düzensizdir. Kimi yerlerde yoğun birikim varken, kimi yerlerde birikim azdır. Bu nedenle aerosollerin troposferik dünya üzerindeki konsantrasyon ve bileşimi de oldukça heterojendir. Atmosferik aerosol gazlarının ömrü birkaç saniyeden birkaç yüzyıla kadar olmasına karşın; troposferde parçacıkların varlığı birkaç günden birkaç haftaya kadar olmaktadır (Seinfeld vd., 1998).

Toz, duman ve sis, aerosoller için genel terimlerdir. Duman partikülleri genellikle daha küçük ve gaz fazından oluşmaktadır. Toz partikülleri ise katı parçacıklarının dağılmasıdır. Sis ise sıvı damlacıklarından oluşur. Aerosol parçacıklarının boyutu 0.01 µm ile 10 µm arasında değişmektedir (Şekil 2.1) ve genellikle dört büyüklük kategorisinden oluşmaktadır.



**Şekil 2.1** Partikül madde (PM), büyüklük, partikül numarası, kimyasal kütle bileşeni arasındaki ilişki. Aerosollerin fiziksel süreçleri kutu içerisinde belirtilmiştir. Warneck (1988) ve Harrison ve van Grieken (1998).

- Çekirdek modu: 0.001 - 0.01 µm çaplı
- Aitken modu: 0.01 - 0.1 µm çaplı
- Geniş partiküller, veya birikim modu: 0.1 - 1 µm çaplı
- Çok büyük partiküller, veya kaba partikül modu: > 1 µm çaplı

Aerodinamik çapı 10 µm'den büyük parçacıklar yüksek rüzgar ve türbülans ile yeniden askıya alınmadıkları sürece, yayıldıktan birkaç saat sonra yüzeye çökelmektedirler. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi partiküller; sayısı, yüzey ve hacim dağılımları kullanılarak dört grupta tanımlanabilirler.

1.0 µm'den daha büyük çaplı olan parçacıklar kaba mod olarak tanımlanır. Bu parçacıklar çoğunlukla mekanik işlemler ile üretilir ve doğal ve antropojenik kaynaklardan doğrudan atmosfere katılırlar. Rüzgar; toz, toprak ve biyolojik parçacıkları kaldırmakta ve çökelene kadar atmosferde askıya almaktadır. Antropojenik kaba parçacıklar, yüzey üzerinde oluşan aşınma yoluyla atmosfere karışmaktadırlar. Kaba partikül aralığına giren partiküller, büyük çaplı olmaları nedeniyle kuvvetli rüzgarların gözlendiği günler hariç, sedimentasyon ile kısa sürede yüzeye çökelmektedirler.

Çapı 0.1-1.0 µm arasında olan partiküller birikim modu olarak adlandırılırlar. Ayrıca ağırlıklı olarak ahşap, petrol, kömür, benzin ve diğer yakıtların eksik yanması yoluyla atmosfere doğrudan salınabilirler. Birikim büyüklüğü aralığı içindeki parçacıklar inorganik maddeler içermektedirler.

Çapı 0.01-0.1 µm arasında değişen aitken modu partikülleri gaz-parçacık dönüşümünün yanı sıra yanma işlemleri sırasında sıcak buharın yoğunlaşması ile oluşur. Bu parçacıklar, birikim aralığının büyümesine sebep olan düşük buhar basıncı gaz türünün yoğunlaşma çekirdeği olarak işlev görürler. Bu partiküllerin yaşam süresi kısadır. Aitken ve birikim modu parçacıkları ince parçacıklar olarak da adlandırılırlar.

Son partikül tipi olarak, çapı 0.01 µm'dan küçük partiküller ultra küçük partiküller olarak adlandırılırlar. Gaz-parçacıklarının dönüşüm süreçleri ile oluştukları düşünülmektedir. Büyüklüğü ve kütesinin çok küçük olması sebebiyle,

mevcut ölçüm teknikleriyle gözlemlenmesi mümkün değildir ve çok kısa ömürleri vardır.

### 2.1.2 Aerosol Çeşitleri

Atmosferik aerosoller direkt kaynaklardan (birincil bileşen) ve gaz-partikül dönüşümlerinden (ikincil bileşen) meydana gelir. Farklı aerosol çeşitleri farklı mikrofizik ve optik özelliği göstermektedir. Birçok uygulamada aerosoller; aerosol optik derinliği (AOD), bileşimi, tanecik boyutu ve şekilleri (saçılma albedosu, faz fonksiyonu ve asimetri faktörü) ölçülerek karakterize edilirler. Birincil partiküllerin atmosferik konsantrasyonu, kaynaklardan yayılan miktarların oranına eşittir. Birincil partiküller çeşitli büyüklüklerde yayılırlar. En yaygın olanı 1 µm'dan daha küçük çaplı (yanma kaynaklı) aerosoller ve 1 µm'dan daha büyük çaplı (toz kaynaklı) aerosollerdir.

Birincil (Primer) parçacıklar için önemli emisyon kaynağı kategorileri şöyledir:

- Başlıca sabit (nokta) kaynaklar (örneğin, kazanlar, ısıtıcılar, yakma ve buhar jeneratörleri).
- Alan kaynakları (örneğin, yangın, rüzgarla taşınan toz, petrol çıkarma işlemleri ve evsel yakıt yanması).
- Taşınır kaynaklar (örneğin, otomobil, otobüs, kamyon, tren ve uçak yakıtları).
- Tarım ve çiftçilik faaliyetleri (örneğin, gübreler, ot ilaçları, toprağın işlenmesi işlemleri ve hayvancılık amonyak emisyonları).

- Biyojenik kaynaklar (örneğin, polen parçaları ve yaprak yüzeylerinden partikül aşınma ürünleri).

Aerosoller atmosfere karıştıklarında, birincil partikül emisyonları çeşitli fiziksel ve kimyasal süreçlerle birlikte dağılım ve taşınımına tabi olurlar. Bu bileşikler farklı kimyasal reaksiyonlar ile değişik oranlarda kuru ve ıslak çökelme süreçlerine maruz kalırlar. Gaz türlerinin bazıları kimyasal dönüşümler ile bir dizi ikincil aerosollerini oluşturan parçacıklar haline dönüşür. Sülfatlar ve nitratlar en yaygın ikincil parçacıklardır. Organik karbonun bir kısmı aynı zamanda uçucu organik bileşikler içeren atmosferik reaksiyonlar vasıtası ile de oluşabilmektedir.

### **2.1.3 Aerosollerin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri**

Atmosferde çok sayıda optik olay meydana gelmektedir. Hale, gökkuşağı ve serap buna örnek olarak verilebilir. Güneş ışığı atmosfere girdiği zaman absorpsiyon, yansımaya ve saçılmaya uğrar ya da herhangi bir engelle takılmaksızın yoluna devam eder. Aerosollerin optik etkileri, aerosol partiküllerinden absorblanan ve yansıtılan/saçılan ışığın bir sonucudur. Aerosol parçacıkları ışığın bir kısmını emer ve böylece ışığın yoğunluğu azalır. Aerosol optik özellikleri, bu optik olaylardan sorumludurlar.

Saçılma, atmosferde var olan parçacıklar ya da büyük gaz moleküllerinin elektromanyetik ışınla etkileşimde bulunmaları ve ışının orijinal yönünden sapıtılması sonucu meydana gelir. Elektromagnetik ışının dalga boyundan çok

daha küçük çapa sahip olan çok küçük parçacık ve moleküller Rayleigh saçılmasına sebep olmaktadır. Bu parçacıklar, küçük toz zerreciği ya da nitrojen ve oksijen molekülleridir. Rayleigh saçılması, enerjinin daha kısa dalga boylarının daha uzun dalga boylarına göre çok daha fazla saçılmasına neden olur. Rayleigh saçılması atmosferin üst kısımlarında meydana gelen baskın saçılma mekanizmasıdır. Dalga boyunun dördüncü kuvvetiyle ters orantılıdır. Kısa dalgaboyları, uzun dalga boylarından çok daha fazla etkilenmektedir.

Çapları 0,01  $\mu\text{m}$ 'den 100  $\mu\text{m}$  ve daha büyük değerlere ulaşan, askıda kalan maddelerden boyutları gelen ışınımın dalgaboyu civarında olanlar, Mie saçılmasına neden olurlar. Mie saçılması, çoğunlukla daha büyük parçacıkların daha fazla olduğu atmosferin alt tabakalarında oluşur ve hava kapalı olduğu zaman baskındır. Mie saçılmasına, 0.1 - 10  $\mu\text{m}$  arasında çapa sahip parçacıklar neden olmaktadır. Çok küçük parçacıklardan meydana gelen yansıma (0.05  $\mu\text{m}$ 'den daha küçük) Rayleigh teorisi ve moleküler yansıma teorisi ile açıklanabilir. Büyük partiküllerden meydana gelen yansıma (100  $\mu\text{m}$ 'den daha büyük çaplı) geometrik optik ile kolayca analiz edilebilir. 0.1 - 10  $\mu\text{m}$  boyutları aralığında, parçacık boyutu ve ışığın dalga boyu aynı büyüklükte olduğundan, aerosol parçacıklarının ışık ile saçılması çok karmaşık bir olgudur.

Aerosol optik özellikleri ayrıca görüş mesafesinin değişimi/belirlenmesinde önemli bir role sahiptirler ve Dünya'nın radyasyon dengesini etkilemektedirler. Aerosollerin optik özelliklerinin çalışılması için gerekli temel konulardan bir tanesi

aerosol optik derinliği (AOD) veya aerosol optik kalınlığı (AOK)'dır. Bu parametre, atmosferde aerosol miktarının bir göstergesidir.

Birçok uygulamada aerosoller; optik derinliği, bileşimi, partikül büyüklüğü ve şekli kullanılarak karakterize edilirler. Aerosoller deniz tuzu (NaCl), sülfat ( $SO_4^{2-}$ ), nitrat ( $NO_3^-$ ), element karbonu ve mineraller ( $SiO_4$ ) gibi kimyasal türler olarak bulunabilir. Aerosollerin kimyasal özelliklerine bakarak, aerosollerin kaynaklarının doğal yada antropojenik kaynaklı mı olduğunun değerlendirmesi yapılabilmektedir.

Partikül madde (PM) büyüklüklerine göre sırasıyla 10 (PM10), 2.5 (PM2.5) ve 1 (PM1)  $\mu m$  çaplı olmak üzere üç kategoriye ayrılır. Bu partiküllerin büyüklüğü, atmosferde kaldıkları süreyi belirlemektedir. Çökme ile birlikte PM10 atmosferden birkaç saat içinde ayrılırken, PM2.5 atmosferde günlerce, hatta haftalarca kalabilirler. Dolayısıyla, bu partiküller mesafelerce taşınabilmektedirler.

#### **2.1.4 Aerosollerin Etkileri**

Atmosferdeki aerosoller birçok etkiye sahiptirler. Aerosoller direkt yansıtma veya emilim yoluyla dünyanın radyasyon dengesini etkilerler. Aerosoller bulut yoğunlaşma çekirdekleri (CCN) ve buz çekirdekleri (IN) etkisi göstererek dolaylı bir şekilde bulut mikrofiziği ve ışınım özelliklerini değiştirerek de iklim sistemini etkilemektedirler. Aerosoller atmosferi ısıtarak bulut örtüsünü değiştirebilir ve kara ve deniz buzu albedolarını azaltabilirler (Flanner vd., 2007). Konuyla alakalı sayısız çalışmalara rağmen, aerosollerin etkileri, gelecekteki iklim değişikliği

projeksiyonlarında halen en büyük belirsizliklerden birisidir (Forster vd., 2007; Stevens ve Feingold, 2009).

İklim Değişikliği Hükümetlerarası Paneli (IPCC) raporunda insan faaliyetleri nedeniyle sera gazlarının ve aerosol emisyonlarının iklimi etkilemeye devam ettiği belirtilmektedir (IPCC, 2007). Çünkü, atmosferdeki aerosoller güneş ışığını uzaya tekrar yansıtırlar ve yeryüzünün absorbladığı enerji miktarını azaltırlar. Bu yolla soğumaya neden olurlar. Ama atmosferin mineral toz gibi ışığı emen partikülleri içermesi durumunda ise aerosol parçacıklarının aşağı atmosferde ısınmaya sebep olabileceği gerçeğini de göz ardı etmemek gerekir (Andreae ve Merlet, 2001). Aerosollerin ısıtıcı etkisi ile sülfat bileşeninin soğutucu etkisi arasında bir denge olduğu da ileri sürülmektedir (Jacobsson, 2001). Güneş radyasyonunu yansıtma ve absorblama olayı, aerosollerin iklime direkt etkisi olarak bilinmektedir. Atmosferin soğuma veya ısınması yansıtılan veya emilen ışık oranına bağlıdır.

Aerosoller, bulut özelliklerini etkileyerek iklim üzerinde dolaylı etkiye sahiptirler. Gerçekten de, atmosferde aerosoller olmasaydı, daha az yaygın bulutlar olacaktı. Çünkü, bulut damlacıklarının oluşumunu başlatan küçük aerosol parçacıkları olmadan bulut damlacıkları oluşturmak zordur. Atmosferdeki aerosollerin miktarsal ve yersel değişimi; bulut oluşumunu, bulut kalınlığını, yağış miktarlarını ve sıklığını değiştirebilmektedir.

Aerosollerin kentsel ortamlarda yüksek konsantrasyonları solunum yolu problemlerine de neden olmaktadır. Atmosferik aerosollerin insan sağlığı üzerine

olan etkileri, hava kalite standartlarının oluşturulmasına yol açmıştır. Sağlık üzerine olumsuz etkileri nedeniyle insanlar ve hayvanlar tarafından solunan aerosollerle ilgili birçok çalışmalar bulunmaktadır. Epidemiyolojik çalışmalarda tespit edilen sağlık sorunlarına neden olan atmosferik aerosollerin kimyasal bileşenleri ile ilgili çok fazla belirsizlikler bulunmaktadır (Atkinson vd., 2001; Kappos vd., 2004; WHO, 2005; Schwarze vd., 2006). Aerosoller, antropojenik olarak ve doğal kirlilik ile yakın şehir ortamını etkilemesine rağmen, genellikle ulusal sınırların ötesinde uzak ortamları da etkilemektedirler. Bu nedenle hem kaynağına yakın yerlerde, hem de taşınım yoluyla diğer ülkelerde olumsuz etkilere sebep olan partiküllerin, oluşturulacak toz izleme merkezi vb. gibi ilgili örgütler ve kuruluşlar tarafından izlenmesi ve referans değerler belirlenmesi gerekmektedir.

## **2.2 HAVA KALİTE MEVZUATI**

Hava kalitesi, bir veya daha fazla türün biyotik isteklerinin ya da insan ihtiyacının uygun hava koşullarının bir ölçüsü olarak tanımlanır. Hava kalitesinin düşmesi, gelişen ve gelişmekte olan ülkeleri etkileyen temel çevre ve sağlık problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Zararlı hava kirleticilerinin artan miktarı atmosfere yayılmakta ve lokal, bölgesel ve küresel ölçekli etkileri ile doğal çevreye baskı uygulamaktadır (Baldasano vd., 2003).

Çeşitli çalışmalarda sülfür dioksit, nitrojen dioksit, büyük çaplı parçacıklar (PM10), karbon monoksit, benzen, yerseviye ozonu gibi hava kirleticilerinin eşikleri ile ilgili bazı ölçekler öne sürülmüştür. Dünya Sağlık Örgütü (WMO) prensip

değerlerini, Avrupa Birliği (AB) hava kalite sınır değerlerini oluşturmuşlardır. Bunun yanında Amerika'da Çevre Koruma Ajansı (EPA) ulusal hava kalitesi standartlarını (UHKS) ve Kaliforniya Hava Araştırma Birimi ise ortam hava kalitesi standartlarını oluşturmuşlardır.

WMO'nun prensip değerleri, insan sağlığı ile ilgili referans değer olarak alınmaktadır. Bu değer PM10 ve PM2.5 standartlarını belirtmektedir. PM10 ve PM2.5'in yanında ultra-ince partiküller (0.1 µm'den küçük partiküller) için eşik sınır değeri oluşturmak için yeterli sebep olmamasına rağmen son zamanlarda önemli sayıda bilimsel çalışmada kullanılmıştır. Amerika'da PM10 ve PM2.5 standartlarını her beş yılda bir güncellenmektedir. Fakat, buna rağmen PM10 ile ilgili AB mevzuatı 24 saat için 50 µg/m<sup>3</sup> limit değeriyle Amerikan mevzuatından çok daha katıdır (Tablo 2.1).

Ulusal olarak ise; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hava kalitesi standartları ve hava kalitesinin değerlendirilmesi, "bölgeler" ve "alt bölgeler" oluşturulması ve tüm bölgelerde iyi hava kalitesinin sağlanması için alınması gerekli önlemleri kapsayan "Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" (2008) yayımlanmıştır. Bu yönetmelik; SO<sub>2</sub> , NO<sub>2</sub> , NO<sub>x</sub>, PM10 , Pb, C<sub>6</sub>, H<sub>6</sub>, CO, O<sub>3</sub> ile Arsenik, Kadmiyum, Nikel ve Benzo(a)piren için ölçümlerin yapılması, limit değerler ve değerlendirme metotlarını içermektedir. PM10 için kış döneminde 2014 yılına kadar 300 ve 200 µg/m<sup>3</sup> eşikleri baz alınmıştır. 2014 yılı içerisinde ise AB hava kalite standardı olan 50 µg/m<sup>3</sup> değerine ulaşılması hedeflenmektedir.

**Tablo 2.1.** PM10 ve PM2.5 Hava Kalite Standartlarının Karşılaştırması ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Basart, 2012)

	Ortalama Zaman	WMO	AB	EPA	TR*
PM10	1 yıl	20	40	-	40
	24 saat	50	50	150	50
PM2.5	1 yıl	10	25**	15	-
	24 saat	25	-	35	-

\* Ulusal PM10 eşikleri düzenlemesi 2014 yılından sonra uygulamaya alınacaktır.

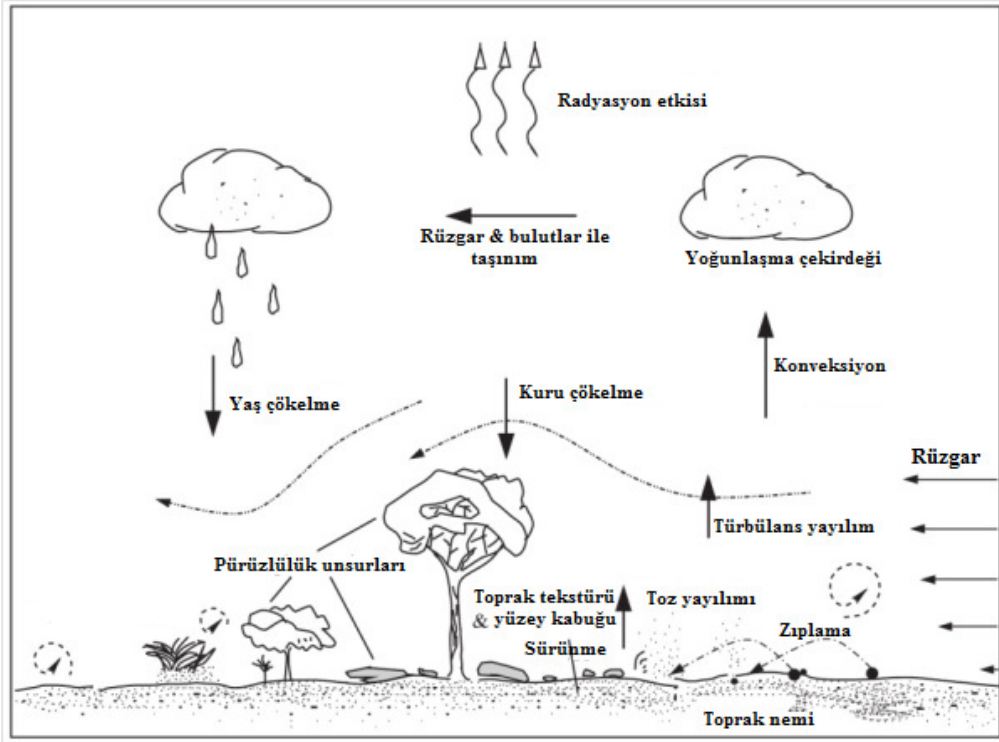
\*\* AB ülkeleri için PM2.5 değerleri 2015 yılından sonra geçerli olacaktır.

### 2.3 MİNERAL TOZ DÖNGÜSÜ

Toz döngüsü küresel ölçekte Dünya sisteminin önemli bir parçası haline gelmiştir (Tegen vd., 2004). Tozlar, rüzgar erozyonu ile bitki örtüsünün seyrek olduğu yerlerden diğer bir deyişle kurak bölgelerden türemektedir. Çukurlar atmosferik çöl tozlarının baskın kaynaklarıdır, çünkü bu bölgeler suların toprak taşıdığı yerlerdir ve rüzgar erozyonuna oldukça müsaittir (Prospero vd., 2002).

Toz, çapı 0.6 mm'den küçük toprak partikülleri olarak tanımlanabilmektedir. Uzun mesafeli taşınımına çapı 0.1 mm'den küçük partiküller dahil olmaktadır. Toz partikülleri şekli, büyüklüğü ve yoğunluğuna bağlı olarak süspansiyon, zıplama ve sürünme olarak üç şekilde taşınırlar (Şekil 2.2). İnce parçacıklar yüksek seviyelere kadar (6 - 8 km) taşınabilmektedirler ve binlerce kilometrelere kadar ilerleyebilmektedirler.

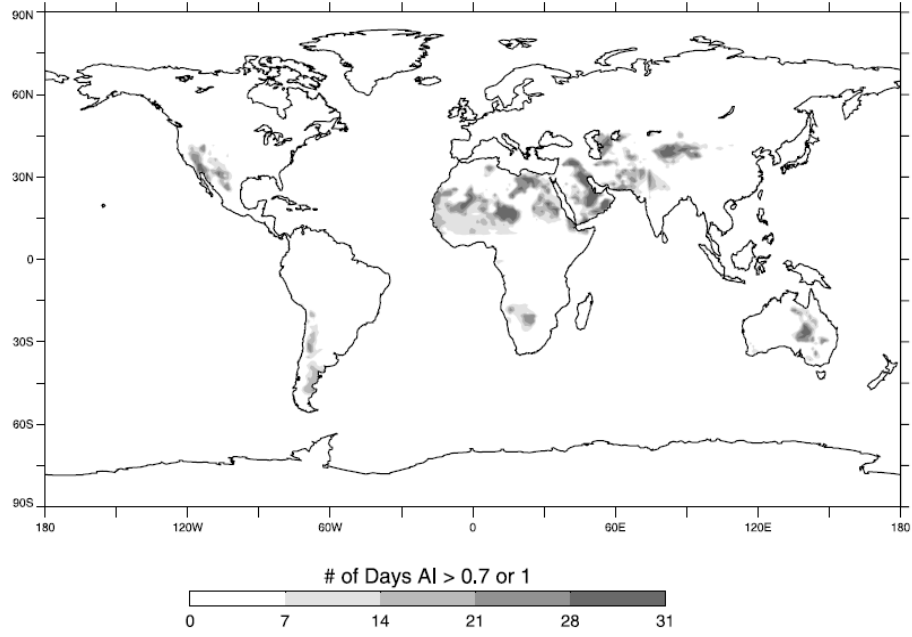
Tozlar, atmosferde egemen rüzgarlar tarafından taşınırlar ve konvektif süreçlerin yanında dikey hareketler tarafından dikey olarak da nakledilirler. Atmosferik tozlar, kuru ve yaş çökme olarak dünya yüzeyine çöklerler (Şekil 2.2). Kuru çökmede büyük partiküller küçük partiküllere göre daha hızlı çöklerler. Toz partikülleri atmosferde su damlacıkları ile birleştikten sonra yağışla birlikte çöklerler, ki buna yaş çökme denir.



**Şekil 2.2.** Rüzgar erozyonu modellenmesi: taşınım, çökme, radyasyon etkisi ve çöl tozu bulutları. Atmosferik koşullar, toprak özellikleri, kara yüzeyi karakteristiği ve kullanımı erozyon süreçleri etkileyen elemanlardır (Basart vd. 2012).

Toz kaynakları olarak bilinen kurak ve yarı kurak bölgeleri ayıran sınırlar kesin olarak çizilememekle beraber, her iki bölge de kendilerine has bazı özelliklere sahiptirler. Bu bölgelerde yıllık yağış miktarı yetersizdir. Var olan bu yetersiz yağışlar da, özellikle sıcaklık ve buna bağlı buharlaşma fazlalığı nedeniyle, büyük ölçüde kayba uğramaktadır. Bitki örtüsü ise ya yoktur, ya da son derece azdır.

Şekil 2.3 toz kaynaklarının “Total Ozone Mapping Spectrometer” (TOMS) sensöründen elde edilmiş küresel dağılımını göstermektedir ve temel kaynaklar kuzey yarımkürede bulunan çöl bölgeleri (Sahra Çölü, Asya’nın güneybatısı ve Arabistan) üzerinde görülmektedir. Bu bölgelerin dışında da küçük çaplı toz kaynak bölgeleri bulunmaktadır. Güneyyarım kürede ise toz kaynak alanları hemen hemen hiç yoktur.



**Şekil 2.3.** Toz kaynaklarının küresel dağılımı. Bu şekil TOMS sensöründen elde edilen Aerosol Index (AI) değerlerinin aylık ortalamaları ile oluşturulmuştur (Prospero vd. (2002)).

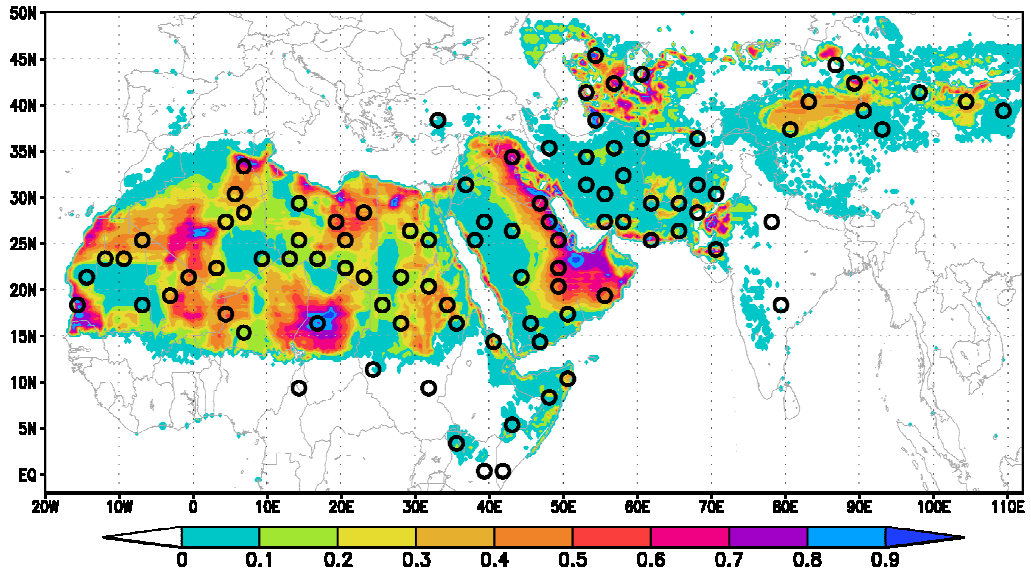
Orta Asya’da bulunan Taklamakan çölü üzerinde toz üretimi açısından oldukça geniş bölgeler bulunmaktadır. Orta Avustralya’da Eyre havzasında küçük toz kaynak bölgeleri mevcuttur. Afrika’da Makgadikgadi havzasında ve Etosha Pan üzerinde iki önemli bölge bulunmaktadır. Kuzey Amerika’da ise Great havzası üzerinde çok yüksek Aerosol Index değerli küçük bir bölge bulunmaktadır (Prospero vd., 2002; Goudie ve Middleton, 2006).

### 2.3.1 Türkiye’de Mineral Tozları

Türkiye, Akdeniz havzasının kuzeydoğusunda 36°-42° kuzey enlemleri ve 26°-45° doğu boylamlarında yer almaktadır ve coğrafi bölge olarak Asya’nın güneybatısında bulunmaktadır. Güneyinde Suriye, Arabistan ve Irak çölleri; güneybatısında Libya ve Sahra çölleri ile doğusunda İran çölleri bulunmaktadır.

Doğu Akdeniz aerosol çalışmaları açısından kompleks bir sahadır. Çünkü kurak alanlardan kalkan çöl tozları (Arabistan, Afrika ve İran çölleri) ekonomik büyüme nedeniyle insan kaynaklı (antropojenik) emisyonlar ile birlikte, incelemeyi karmaşık hale getirir. Çöller üzerinde yaygın aerosol tipi olan tozlar, rüzgar erozyonu ile birlikte kurak ve yarı kurak alanlardan (bkz Şekil 2.4) yayılan temel troposferik aerosol tipi olarak değerlendirilmektedir (Masmoudi vd., 2003).

Türkiye'yi etkileyen iki çeşit toz kaynağı bulunmaktadır: 1. Rüzgar erozyonu ile lokal toz kaynaklarından (Türkiye içerisinde) yayılan tozlar, 2. Uzak toz kaynaklarından Doğu Akdeniz'e girerek ülkemize ulaşan tozlar.



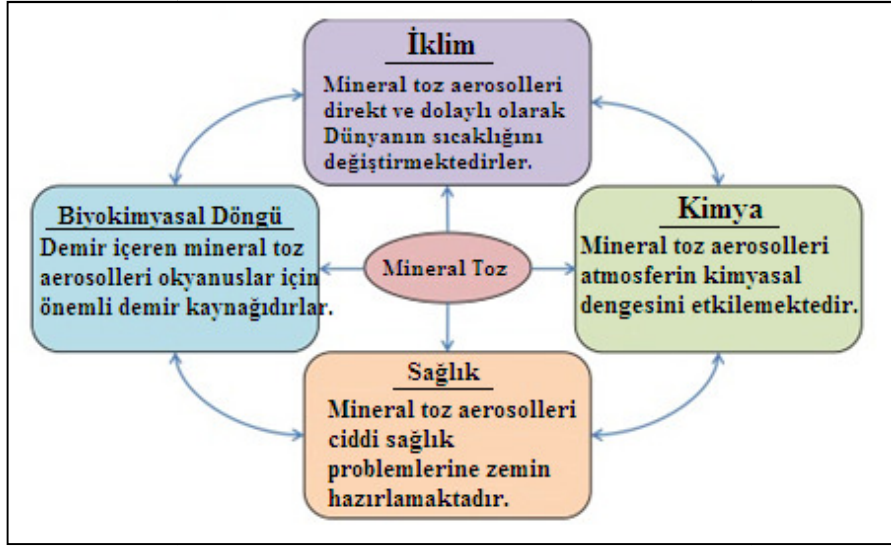
Şekil 2.4. Rüzgar erozyonuna duyarlı bölgeler (Ginoux vd., 2001)

Akdeniz havzası için yapılan çeşitli çalışmalar toz taşıyan rüzgarların çoğunluğunun batı (% 87) ya da güneybatı (% 61) bileşenli olduğunu göstermiştir (örneğin Kuzey Afrika'dan (Dayan vd., 1991)). Toz kaynaklarından Doğu Akdeniz'e

taşınan tozlar yılın dönemlerine göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin; bahar döneminde Sahra çölünün kuzeyinden, yaz döneminde Sahra çölünün kuzeydoğusundan ve güz döneminde Orta Doğu üzerinden taşınan tozlar etkindir (Alpert vd., 1990; Dayan, 1986; Israelevich vd., 2002, 2003; Kubilay vd., 2000; Pey vd., 2012). Yaz ve sonbahar dönemlerinde toz taşınımı yüksek seviyelerde (deniz seviyesinden ~3000 m) gerçekleşirken, alçak seviyelerde kuzeyden gelen şehir ve endüstriyel aerosoller etkili olmaktadır (Kubilay vd., 2003). Doğu Akdeniz'e taşınan Sahra tozlarının birincil kaynağı Cezayir, Libya ve batı Mısır'ın kurak bölgeleridir.

### **2.3.2 Tozların Etkileri**

Mineral toz aerosolleri, iklim ve sağlık üzerine önemli etkilere sahiptir (Şekil 2.5). Mineral tozlar atmosfer gazlarından farklı optik özelliğe sahiptirler ve güneş radyasyonunu yansıtır ve absorbe ederler (Pérez vd., 2006a). Bu yolla Dünya'nın radyasyon bütçesini ve sıcaklık dengesini etkilerler. Mineral tozları, atmosferik döngüyü, bulut tohumlama (CCN) ve buz çekirdekleri (IN) oluşturarak da dolaylı olarak etkilerler (Yin vd., 2002). Bunun yanında tozlar ultraviyole (UV) radyasyonu değiştirerek fotoliz oranları ve ozon kimyasını da etkilemektedirler (Martet vd., 2009).



Şekil 2.5. Küresel süreçte mineral toz ve etkileri (Yin vd., 2002)

Çöl tozlarının çökmesi okyanus ve karasal ekosistemlerin biyokimyasal döngüsünü de etkilemektedirler (Mahowald vd., 2009). Mineral toz aerosolleri okyanuslar için önemli demir kaynağıdır ve yılın belli dönemlerinde alg patlamalarına neden olmaktadır. Atmosferik demir bütçesinin %95'i çöl tozlarından sağlanmaktadır (Duggen vd., 2007). Yaklaşık olarak 450 Teragram ( $450 \cdot 10^{12}$  gram) çöl tozu yıllık olarak okyanus sularına karışmaktadır (Mahowald vd., 2009).

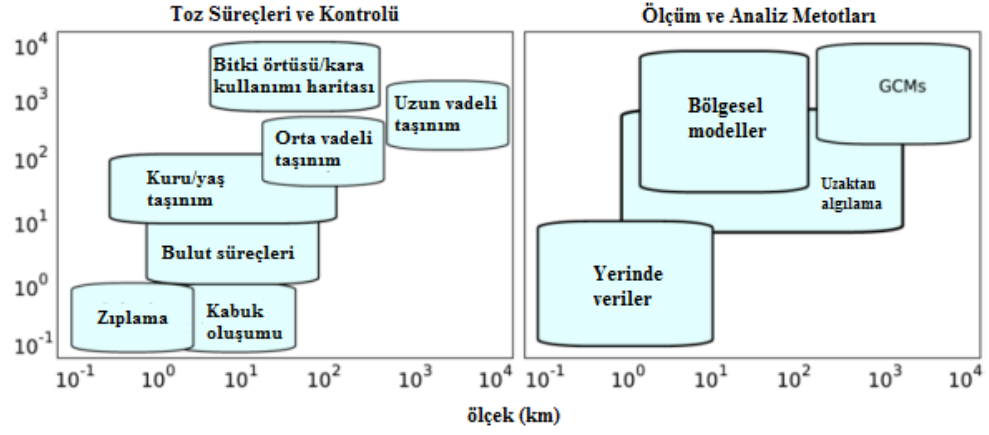
Çeşitli fiziksel ve kimyasal faktörler mineral toz toksisitesinden sorumludur (Fubini ve Otero Areàn, 1999). Dahası, tozların sürüklenme, ulaşım ve birikimi çöl alanlarında ve çevresinde canlılar üzerinde çeşitli sağlık sorunları oluşturmaktadır (WHO, 2005). Ayrıca yarı-kurak Sahra bölgelerinde ölümcül menenjit salgın hastalıkları gibi sağlık riskleri ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir (Schwarze vd., 2006).

### 2.3.3 Çöl Tozu Modelleri

Tozun iklim ve evre üzerine olan etkileri (IPCC, 2007) atmosferik toz döngüsünü tahmin etmeyi ve anlamayı zorunlu kılmıştır. 1990 yılından bu yana çeşitli bölgesel ve küresel modeller geliştirilmiştir. İklim çalışmalarına odaklanan çoğu modelleme çalışmaları, aerosol konsantrasyonu tahmini için önemli bilgiler sağlamıştır. Bölgesel ölçekli modeller meteorolojiyi ve süreçleri daha iyi temsil etmekte ve yüksek çözünürlüklü veri seti sağlamaktadırlar.

Toz üretimi mekansal ve zamansal ölçekte son derece değişken, çok karmaşık bir süreçtir (toprak nem içeriği, yüzey örtüsü ve yüzey atmosferik türbülans türü). Toz modelleri için toz süreçlerini ve döngüsünü iyi anlamak ve tozun yüzey PM konsantrasyonlarına etkisini doğru bir biçimde analiz etmek gereklidir. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi toz süreçleri yere ve zamana bağlı olarak beş basamak üzerine kuruludur. Toz modelleri yüzeydeki toz ve kumun atmosfere karışımını çeşitli algoritmalar ile tahmin etmektedir. Sonrasında ise model meteorolojik parametrelere bağlı olarak taşınımın hangi vadede (uzun, orta ya da kısa vadeli) olduğunu ve taşınımın türünü (kuru veya yaş) belirler. Taşınımın bitiminde ise tozun ökeleceği yeri ve miktarını tahmin eder. Toz modeli çıktılarının doğrulaması ise uzaktan algılama teknikleriyle ve ölçüm istasyonlarının verileri ile yapılabilir.

Toz kaynak bölgeleri açısından çok önemli noktalar olan Sahra ve Asya bölgelerinde toz döngüsünü anlamak için küresel toz modellerinin yanında çeşitli bölgesel modeller geliştirilmiştir. Küresel modellere göre bölgesel modeller bir dizi



Şekil 2.6. Yere ve zamana bağlı olarak toz süreçleri (Basart vd., 2012)

avantajlar sağlamaktadır. Bu ise bölgesel modelleri daha cazip kılmaktadır. Bölgesel modeller bireysel toz salınımlarının simülasyonları ve temsili için oldukça uygundurlar.

Şekil 2.6’da gösterildiği gibi, mineral tozlar atmosferden kuru ve ıslak çökme yoluyla ayrılırlar. Kuru çökme yüzeye yakın meteorolojik durumlar, mineral tozların kimyasal özellikleri ve yüzey özelliklerine bağlıdır. Partiküllerin birikim hızını hesaplamak için yaygın olarak kullanılan model, Slinn (1982) tarafından önerilmiştir. Büyük parçacıkların uzun mesafelere taşınımı kuru çökme süreçleri bilgileri kullanarak modellenemezler (Grini ve Zender, 2004). Bunun için modele ek işlemler yaptırılması gerekmektedir. Yıllar süren araştırmalar sonucunda toz taşınımı tahmini için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Navy Aerosol Analizi ve Tahmin Sistemi (Westphal vd., 2009) ve Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi Aerosol Tahmini (Morcrette vd., 2009) küresel modellerinin yanında, BSC-DREAM8b (Nickovic vd., 2001; Pérez vd., 2006a, b; Basart vd., 2012), SKIRON (Nickovic ve Dobricic, 1996; Kallos vd., 1997; Nickovic vd., 1997), CHIMERE-DUST (Menut, 2008; Schmechtig

vd., 2011), MOCAGE (Martet ve Peuch, 2009), Çin Birleşik Atmosfer Kimyası Toz Modeli (Zhou vd., 2008) ve NMMB/BSCDust (Pérez vd., 2011) gibi çeşitli bölgesel modeller de bulunmaktadır.

Her bir model toz döngüsünü ve tozun iklim sistemindeki yerini anlamak için ayrı ayrı öneme sahiptir. Bu yüzden, bu modellerin değerlendirilmesinin yapılması toz emisyonunun ve taşınımının temsili açısından önemlidir (Todd vd., 2008). Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için aerosol özelliklerinin yerden ve uzaydan ölçümü kullanılmaktadır. Tüm bu uzaktan algılama ölçümleri yalnızca atmosferik sütuna değil, tüm aerosol bileşenleri temsili için de son derece iyi entegre edilmiştir (Pérez vd., 2006b).

### 3. METODOLOJİ

Bu bölümde, metodoloji ve çalışmada kullanılan gözlemlerin ve modelin detayları hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada, yere dayalı gözlemler, uydu gözlemleri ve BSC-DREAM8b toz taşınım tahmin modeli kullanılmıştır.

#### 3.1 ÇÖL TOZU GÖZLEMLERİ

##### 3.1.1 Yere Dayalı Gözlemler

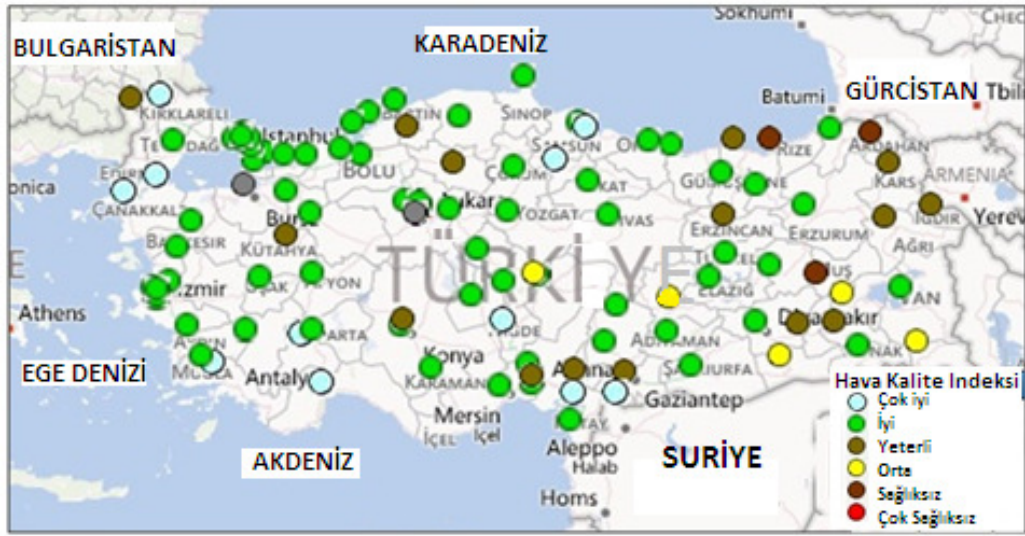
Aerosoller zamana bağlı olarak difüzyon, koagülasyon ve nemlenme gibi süreçleri nedeniyle değişkenlik gösterirler. Çeşitli kaynaklarla ve lokal adveksiyonlar ile birleşen bu süreçler, iklimi, çevreyi ve toplum sağlığını etkileyen dinamik atmosferin bileşenlerini oluştururlar (IPCC, 2007).

Yere dayalı aerosol gözlemleri, küresel bir veri kaynağı değildirler, fakat güneş radyasyonunun açısız ve spektral ölçümleri ile aerosol optik derinliği (AOD) hakkında kesintisiz olarak çok detaylı bilgi verirler. Yere dayalı PM10 konsantrasyonu verilerinin ölçümünü sağlayan hava kalite istasyonları da aynı şekilde sürekli ölçüm sağlamaktadırlar. Bu istasyonlar küresel ve bölgesel olarak kirleticilerle ilgili önemli veriler sağlamaktadırlar.

##### 3.1.1.1 *Hava Kalite İstasyonları*

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yönetilen hava kalite gözlem ağları 81'i şehir merkezinde olmak üzere 122 adet istasyonu kapsamaktadır. Bu

istasyonların konumları, harita üzerinde Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Ölçülen hava kalite parametreleri PM<sub>10</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> olup bunların yanında sıcaklık, rüzgar yönü ve şiddeti gibi meteorolojik parametreler de ölçülmektedir. Ölçüm yapan bu istasyon sayılarının 2014 yılında 209 istasyona ulaşması planlanmaktadır.

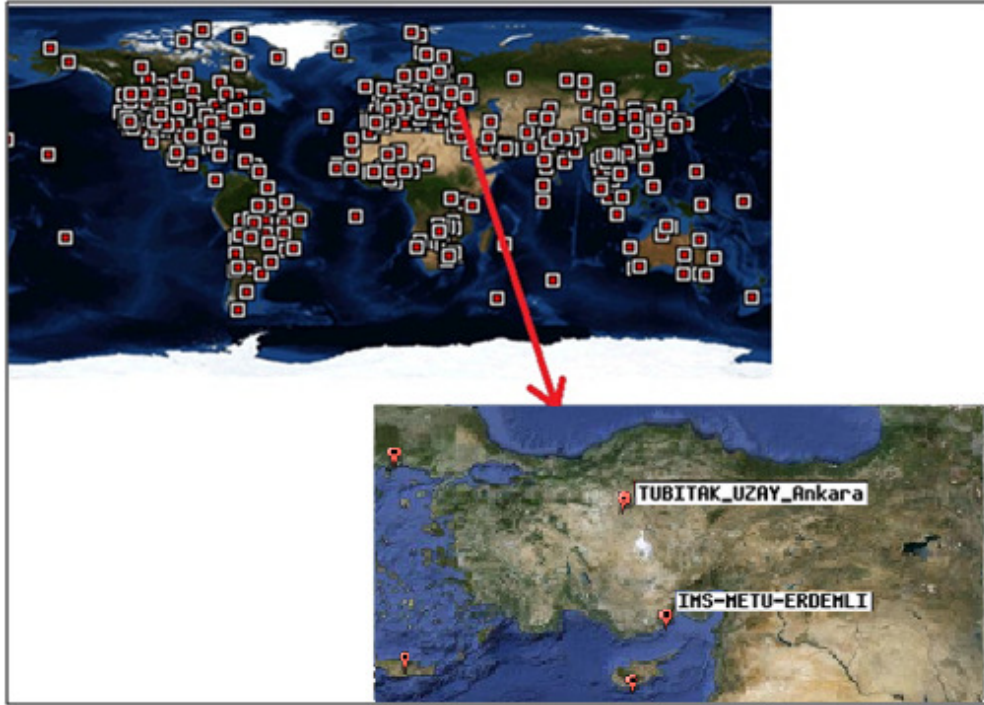


Şekil 3.1 Türkiye'de Hava Kalite İstasyonları (kaynak: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı)

### 3.1.1.2 AERONET İstasyonları

AERONET (AErosol RObotic NETwork, Holben vd., 1998) küresel olarak yayılmış aerosol ölçüm ağı olup, NASA tarafından kurulmuştur. Bu enstrüman, otomatik güneş ve gökyüzü tarama radyometresidir ve çeşitli dalga boylarında (özellikle 0.34, 0.38, 0.44, 0.50, 0.67, 0.87, 0.94, and 1.02  $\mu\text{m}$ ) ölçüm yapmaktadır (Şekil 3.2). Sadece gündüz veri sağlamaktadırlar, çünkü direkt veya saçılan güneş radyasyonunun ölçümüne dayanmaktadırlar. Her bant yaklaşık 0.010 mikron

genişliğe sahiptir. Aerosol optik derinliği ölçümleri güneş ölçümleri ile yapılabilmektedir. Bunun yanında ölçüm yeri sütununda aerosol boyutu dağılımları, albedo kırılma indeksi gibi diğer aerosol optik özellikleri de sağlanmaktadır (Holben vd., 1998). İstasyon ağı, sürekli olarak uzun vadeli ve kolay erişilebilir bir aerosol optik özelliği veritabanı sağlar. Bu veriler bilimsel aerosol çalışmaları için kullanılabilir yüksek kalitede bilgiler sağlarlar.



Şekil 3.2 2013 yılı itibari ile AERONET istasyonları (Kaynak: NASA)

Aerosol optik derinliği (AOD), AERONET istasyonunda  $\lambda$  dalga boyunda ölçülen standart bir parametredir (Holben vd., 1998). AOD spektral bağımlılığı özellikle saçılma miktarı ile açıklanır ve klasik Angström denklemi ile ifade edilebilir ( $AOD(\lambda) \sim \lambda^{-AE}$ ) (Angström, 1929). Angström katsayısı (AE) baskın büyüklükteki atmosferik parçacıklarının güneş spektrumunda iyi bir göstergesidir.

Deniz aerosollerinin baskın olduğu (AOD<0.15) temiz atmosferin tersine, yüksek AOD değeri biyokütle yakıtı, toz kütleli veya şehir kirliliğinden kaynaklanan bulanık atmosferi ifade eder (Dubovik vd., 2002). AE katsayısındaki dalgalanmalar ise, aerosol boyut dağılımı varyasyonlarını yansıtmaktadır. AE katsayısının maksimum değeri (4 'e eşit) moleküler sönme'yi gösterir. Sıfıra yakın değeri ise (AOD dalga boyu bağlılığı olmayan) büyük çaplı aerosoller (çöl tozu) ifade ederken, AE'nin 1.5'den büyük değeri küçük çaplı aerosoller (sis ve şehir aerosoller) ifade eder.

Bu çalışmada, kalite kontrolü yapılmış (Seviye 1.5) 440-870 nm dalga boyu aralığındaki direkt güneş verileri kullanılmıştır ve aerosol optik derinliği ölçümleri model çıktısı verileri ile kıyaslanmıştır.

### **3.1.2 Uydu Gözlemleri**

Uydu aerosol ürünleri genellikle toz kaynak alanları ve tipik toz taşınım paternlerinin tespiti için kullanılmaktadır. Tozun etkilerini doğru tahmin etmek için taşınım yüksekliklerinin ve paternlerinin belirlenmesi gereklidir. Ozon İzleme Aracı (OMI), Orta Çözünürlüklü Spektro-radiometre Görüntüleme (MODIS) ve Meteosat (MSG) gibi çok çeşitli uydular tarafından ölçülebilir ve toz aerosollerinin görüntülenmesi yapılabilir. Bu gözlemler tozun yatay dağıtımı ve taşınımı hakkında yararlı bilgiler sağlayabilir (Wang vd., 2012). Yere dayalı gözlemlerin yanında, modellenen toz AOD çıktıları uydu görüntüleri ile de karşılaştırılmıştır.

### **3.1.2.1 Ozon Görüntüleme Aracı (OMI)**

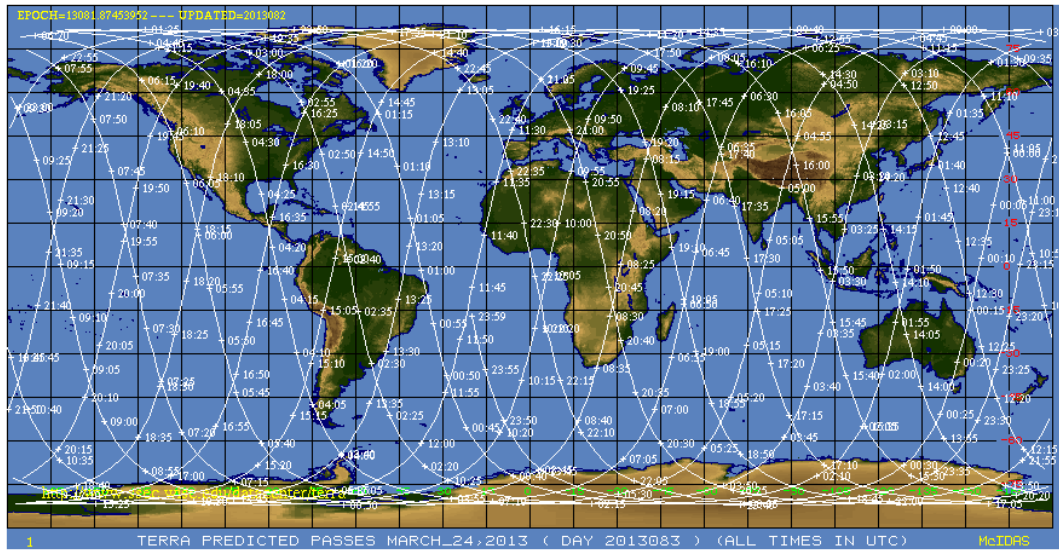
OMI uydusu TOMS uydusunun devamıdır. Duman, toz, ve sülfat gibi türleri ayırmakla birlikte toplam ozon, ozon kimyası, aerosol ve iklim ile ilgili diğer atmosferik parametreleri de ölçmektedir.

OMI Aerosol İndeks (AI) ürünü, ultraviyole (UV) radyasyonunun atmosferdeki aerosollerden ne kadarının yansıtıldığının bir ölçümüdür. Bu algoritma, aerosol partikülünden saçılan UV radyasyonun yoğunluğuna dayanmaktadır. AI ürünü, absorblanan ve yansıtılan aerosolleri ayırt edebilmektedir. UV radyasyonunun sis ve çöl tozu tarafından absorblanmasının ölçüm bilgilerini sağlamaktadır. AI pozitif değerleri UV absorblayan aerosollerle alakalıdır ve bunlar temelde mineral toz, duman ve volkanik aerosollerdir. Negatif değerler ise absorblamanın olmadığı (sülfat, deniz tuzu partikülleri) hem doğal hem de antropojenik kaynakları temsil etmektedir.

### **3.1.2.2 Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (The Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)**

MODIS, 1999 yılında NASA tarafından fırlatılmış, yer küreye göre sabit yörüngesi olan bir sistemdir. MODIS üzerine Terra uydusu üzerine yerleştirilmiştir. 2012 yılına ise Aqua uydusu yerleştirilmiştir. Bu sistem, 36 farklı bant bölgesinde 0,4 -14,4 mikron dalga boyunda çalışmaktadır ve farklı seçicilikte (2 bantta, 250m, 5 bantta, 500m seçicilik) özelliklere sahiptir. Dünya üzerinden geçişleri ile tüm dünyayı görüntülerler. Onboard Terra'da MODIS dünyayı sabah görürken (Şekil

3.3), Aqua MODIS yörüngesi dünyayı öğleden sonra görmektedir. Yeryüzü üzerinde büyük ölçekli küresel dinamik hareketlerin ölçümlerini (bulut kapallığı, radyasyon bütçesi, aşağı atmosferde okyanus ve kara yüzeylerinde oluşan süreçleri) verecek şekilde tasarlanmıştır. Uydu panelinde yer alan üç kalibratör (solar difüz ve kararsızlık monitörü, spektral radyometrik kalibrasyon sistemi, siyah cisim) uçuş sırasında kalibrasyon olanağı sağlar.



**Şekil 3.3.** 24 Mart 2013 tarihine ait MODIS-Terra geçişi (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov>).

MODIS aerosol algoritması, iki bağımsız algorithmandan (biri kara üzeri, diğeri okyanüs üzeri) oluşmaktadır. Ancak, kara üzerinde algoritması sadece zemin yansımada (koyu bitki örtüsü üzerinde) kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

MODIS aerosol ürünleri sadece bulutsuz bölgeler için oluşturulmuştur (Levy vd., 2010). Bu çalışmada, günlük “AOD/MODIS-Terra Collection 5.1” ve “Aqua-MODIS gerçek renk” ürünleri kullanılmıştır.

### 3.1.2.3 *İkinci Nesil Meteorolojik Uyduları (MSG)*

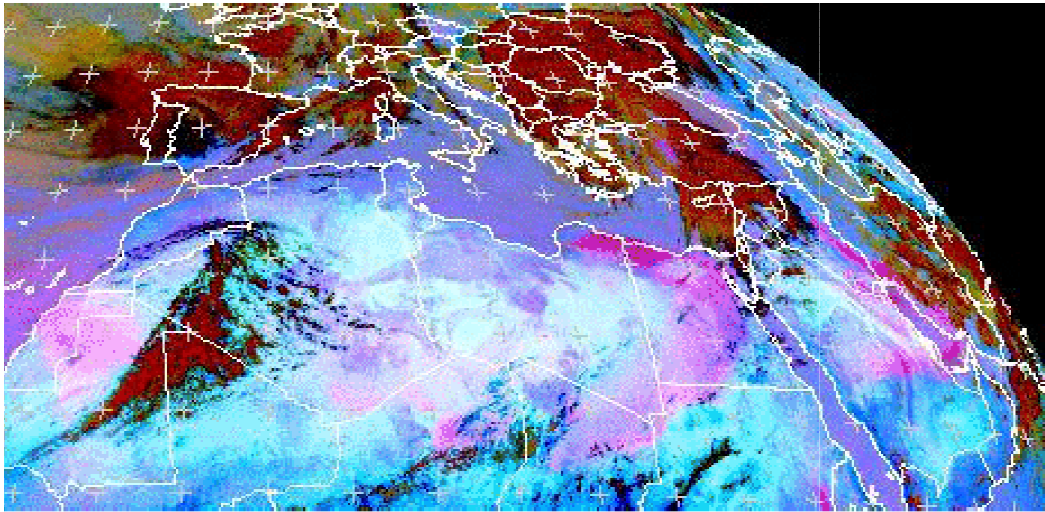
Meteosat 2 (MSG) uydusunun kurulumu 28 Ağustos 2012 tarihinde gerçekleşmiştir ve bu sayede gerçek zamanlı model değerlendirmesi için önemli bir fırsat elde edilmiştir. Çünkü uydu, yörüngeyi özel avantajlarını ve geometrik, radyometrik ve yüksek çözünürlüklü radyometre spektroskopik özelliklerini birleştirmektedir. MSG uydusu Avrupa Uzay Ajansı ile Avrupa Organizasyonunun ortak bir çalışmasıdır. Daha detaylı tasarımı ve daha yüksek performansı ile ilk nesil METEOSAT hava yerdurağan uydu serisinin başarısını takip eder.

MSG uydusu iklim ve araştırma için önemli verilerin sağlanmasına ek olarak, kullanıcı ihtiyaçlarına yanıt olarak tasarlanmıştır. Daha çok kısa vadeli tahmin ve sayısal hava tahmini için oluşturulmuştur. Uydu tam disk görüntüsü (Avrupa, Afrika ve Orta Doğu'nun tümünü içeren alanda) hızlı gelişen olayların izlenmesini sağlamaktadır ve yüksek çözünürlüklü görünür kanalda 3 km'den 1 km'ye kadar uzaysal çözünürlüğü bulunmaktadır. Uydu her 15 dakikada bir ürün sağlamaktadır. Şiddetli yağmur, sis ve yıkıcı fırtınalara yol açabilen yoğun hava olaylarının gözleminde ve tahmininde hava tahmincilerle yardımcı olur.

EUMETSAT MSG toz ürünü görünür ve kızılötesi görüntüleyici (SEVIRI) kanalına dayalı Kırmızı-Yeşil-Mavi (Red-Green-Blue, RGB) kanallarından elde edilen ürünlerin kompozitidir. Bu hem gündüz hem de gece boyunca çöller üzerinde toz fırtınaları evrimini izlemek için tasarlanmıştır.

RGB birleşimi, tozun yayılımı ve çöl yüzeyleri arasındaki kızılötesi (IR) farkını göstermektedir. Ayrıca, gündüz boyunca sıcak çöl yüzeyleri ve soğuk toz bulutu arasındaki sıcaklık farkını vermektedir. RGB birleşimi şu MSG IR kanalları kullanılarak oluşturulmaktadır: IR12.0-IR10.8 (kırmızı), IR10.8-IR8.7 (yeşil) ve IR10.8 (mavi).

Toz kümesi bu RGB birleşiminde pembe ve morumsu kırmızı renk olarak görünür. 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 görünürler. Şekil 3.4 'de görüldüğü gibi RGB ürününde toz olaylar taşınımı ve yayılımı çok iyi gözlemlenebilmektedir.



**Şekil 3.4.** 18 Nisan 2012 tarihi ve 00 UTC 'ye ait MSG/RGB toz ürünü (kaynak: EUMETSAT).

### 3.2 BSC-DREAM8b MODELİ

Toz Bölgesel Atmosferik Modeli (DREAM; Nickovic vd., 2001) aşınmış çöl bölgelerinde tozların atmosferik yaşam döngüsünü tahmin etmektedir ve Eta/NCEP (Çevre Tahmini Ulusal Merkezi) modelinin bir bileşeni olarak geliştirilmiştir. Model Euler tipi kısmi diferansiyel denklemini çözer ve tabanında Eta/NCEP atmosferik modelini çalıştırır. Barselona Süperbilgisayar Merkezi Yerbilimleri Departmanı modelin geliştirilmiş versiyonu olan BSC-DREAM8b v2.0 'yi (Pérez vd., 2006a,b; Basart vd., 2012) operasyonel olarak çalıştırmaktadır. Aynı zamanda Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde başlangıç ve sınır koşulları Türkiye'ye uyarlı halde olan TSMS/BSC-DREAM8b toz modeli operasyonel çalıştırılmaktadır.

DREAM (Nickovic vd. 2001) modelinin temel özellikleri şunlardır:

- Viskoz alt katmanı (Janjic, 1994) dahil edilmiş toz üretim şeması (Shao vd. 1993).
- Toz üretiminde toprak ıslaklık etkileri (Fécan vd. 1999).
- Kuru çökelme (Giorgi, 1986) ve bulut altı birikimi.
- Eta/NCEP modelinde tanımlanan diğer sayısal gibiyatay ve dikey adveksiyon, türbülans ve yan difüzyon (Janjic, 1994).

BSC-DREAM8b (Pérez vd. 2006a, b)'e eklenen ve v1.0 olarak adlandırılan modeldeki gelişmeler şunlardır:

- 0.1 ve 10 µm aralığında 0.1-10 µm tane büyüklüğü aralığında 8 sınıf belirlenmiştir (0.15, 0.25, 0.45, 0.78, 1.3, 2.2, 3.8, ve 7.1 µm) (Tegen ve Lacis, 1996).
- Toz-radyasyon etkileşimi hesaba katılmıştır. Tozlar yüzeyde ve atmosferin üst seviyesinde radyasyon akısını ve sıcaklık profilini etkiler (Perez vd., 2006b).
- Çöl tozu kaynaklarını etkileyen grid noktaları, 1-km çözünürlüklü USGS ‘ye ait kurak ve yarı kurak alanlar veri seti ve 4 km çözünürlüklü FAO ‘ya ait küresel bitki örtüsü verileri (Şekil 3.5a) kullanılarak tanımlanmıştır.

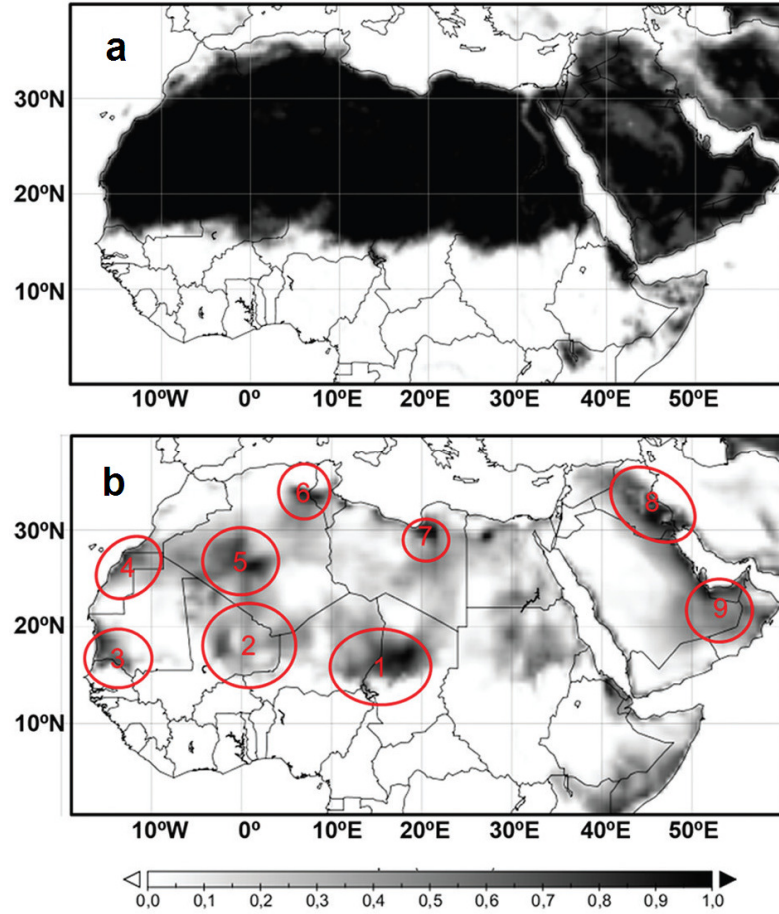
Modelin son gelişmiş hali olan BSC-DREAM8b v2.0 modeli’nde (Basart vd., 2012) tanımlananlar ise şunlardır:

- Modelleme çalışmaları “tercihli” olarak tanımlanan toz kaynaklarının toz yüklemesindeki gerçekliği ve başarı oranını artırdığını göstermektedir. İsteğe bağlı kaynak alanları topoğrafik yaklaşıma bağlı ve G fonksiyonuna (Şekil 3.5b) dayalı olarak modelin emisyon şemasına eklenmiştir. Ginoux vd. (2001) tarafından tanımlanan modeldeki G katsayısı şöyledir:

$$G_i = \left( \frac{z_{\max} - z_i}{z_{\max} - z_{\min}} \right)^5$$

ve bu formül  $z_i$  yüksekliğindeki  $i$  gridindeki birikmiş alüvyon sedimentinin olasılığı olarak tanımlanabilir.  $z_{\max}$  ve  $z_{\min}$   $10^\circ \times 10^\circ$  topoğrafyada maksimum ve minimum yüksekliği göstermektedir.

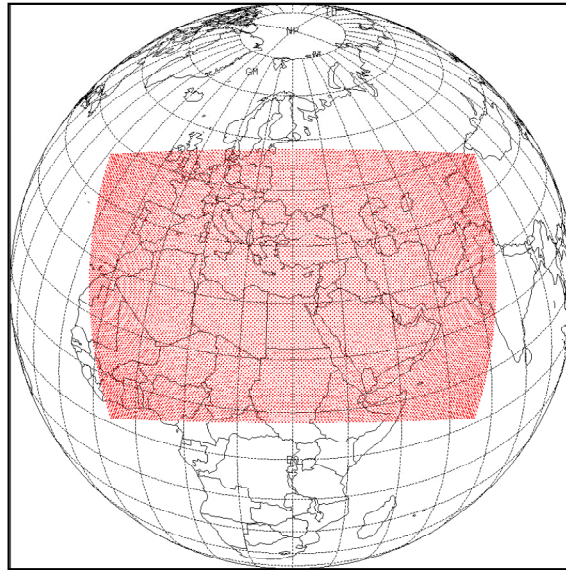
- Kuru ve ıslak çökme şemaları toz taşınımını daha iyi temsil amacıyla güncellenmiştir. Yeni kuru çökme şeması Zhang vd. (2001) 'e dayanmaktadır ve Brown difüzyonunu, duraksamayı ve impaksiyonu hesaba katmaktadır.



**Şekil 3.5.** Panel a, Olson Dünya Ekosistem ve 1-km USGS kara kullanım haritası (a). Panel b, gri skala ile gösterilmiş Ginoux vd. (2001) 'un kaynak alanlarının bölgesel dağılımı. Kırmızı daireler Basart vd. (2012) da belirtilen toz emisyonu kaynakları: (1) Bodélé , (2) Mali, (3) Moritanya, (4) Batı Morocco, (5) Cezayir-Adrar, (6) Kuzey Cezayir ve Tunus, (7) Libya Çölü, (8) An-Nafud Çölü ve (9) Rub ' Al Khali Çölü.

Bu çalışmada, Kuzey Afrika, Ortadoğu ve Güney Avrupa üzerinde model simülasyonu (8°-58°K and 10°-70°D, bkz. Şekil 3.6) değerlendirilmiş ve tartışılmıştır. Model çalışması birinci örnek çalışma için 10-21 Nisan 2012 tarihlerini

kapsayan 11 günlük zaman aralığını, ikinci örnek çalışma için 28 Mart-11 Nisan 2013 tarihlerini kapsayan 13 günlük zaman aralığını içermektedir. Toz konsantrasyonu başlangıç durumu bir önceki model çalışmasının 24 saatlik tahmini ile tanımlanmıştır. Sadece başlangıçta model konsantrasyonu sıfıra ayarlanmıştır ki bu da “soğuk başlama” olarak adlandırılmaktadır. Yani soğuk başlama ilk çalışma için 10 Nisan 2012’ye, ikinci çalışma için 28 Mart 2013’e ayarlanmıştır. 00:00 UTC ‘de başlayan 6 saat aralıklı Çevre Tahmini Ulusal Merkezi Tahminleri (NCEP)  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  çözünürlükte başlangıç ve sınır koşulu olarak kullanılmıştır. Model yatay çözünürlüğü ise  $1/3^{\circ}$  ye, dikey çözünürlüğü ise 24 ETA-Seviyesi olarak adlandırılan ve yaklaşık olarak 15 km ‘ye denk gelen bir çözünürlüğe ayarlanmıştır.



**Şekil 3.6.** Model çalışma alanı (domain).

NCEP’den çekilen gridli girdi verileri jeopotansiyel yükseklik, sıcaklık, rüzgar ve nemlilik verilerini içermektedir. Bu verileri kullanan model ileriye yönelik yüzey konsantrasyonu, toz optik derinliği, toz yükleme, kuru ve yaş çökelme çıktılarını sağlamaktadır.

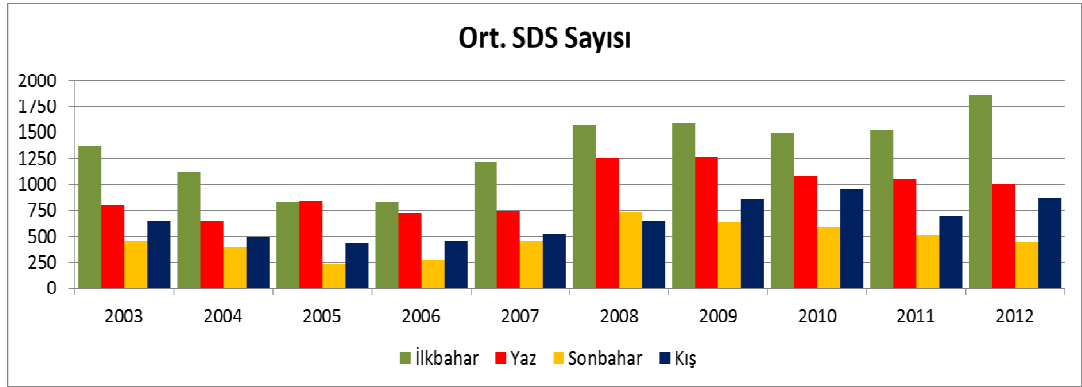
Türkiye’deki çöl tozlarını ayrıntılı olarak incelemek amacıyla, model çalışması farklı toz kaynakları belirlenerek değerlendirilmiştir (BSC-DREAM8b modelinin versiyon 1 ve versiyon 2 ‘si ile). Burada bazı test çalışmaları yapılarak Türkiye’deki toz kaynakları önce hariç tutulmuştur, sonrasında ise dahil edilmiştir (Tablo 3.1). Bunun amacı, modelin iki versiyonunun Türkiye üzerindeki davranışını görmek, lokal toz kaynaklarının Türkiye’ye katkılarını değerlendirmek ve Türkiye için uygun versiyonu belirlemektir.

**Tablo 3.1.** BSC-DREAM8b modelinin iki farklı versiyonunda kullanılan model versiyonu, alt alanı, toz kaynak sınırlaması, isteğe bağlı toz kaynakları alanları. Altındaki kod G01: Ginoux vd. (2001) referansını göstermektedir.

Kısa adı	Model versiyonu	Toz kaynak sınırlaması	İsteğe bağlı kaynak alanları
v1_35	Versiyon1.0	8° < enlem < 35 °K	Yok
v1_42	Versiyon1.0	8° < enlem < 42 °K	
v2_35	Versiyon2.0	8° < enlem < 35 °K	Var (G01)
v2_42	Versiyon2.0	8° < enlem < 42 °K	

#### 4. BULGULAR

Örnek olaylar olarak, Türkiye’de yoğun toz taşınımının gözlemlendiği olaylar belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Burada dikkat çeken önemli bir olay, gerçekleşen ve incelenen her iki örnek çalışmanın da ilkbahar 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 salınımları maksimum düzeydedir (Basart, 2012). Yine, Doğu Akdeniz Havzasında yaşanan kum ve toz fırtına sayılarının mevsimlik dağılımı üzerinde yapılan bir çalışmada, ilkbahar mevsiminde yaşanan toz olaylarının sayısının diğer mevsimlere göre daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 4.1). İlkbahar mevsimini sırasıyla, yaz, kış ve sonbahar mevsimleri takip etmiştir (Dündar, Oğuz ve Güllü, 2013).



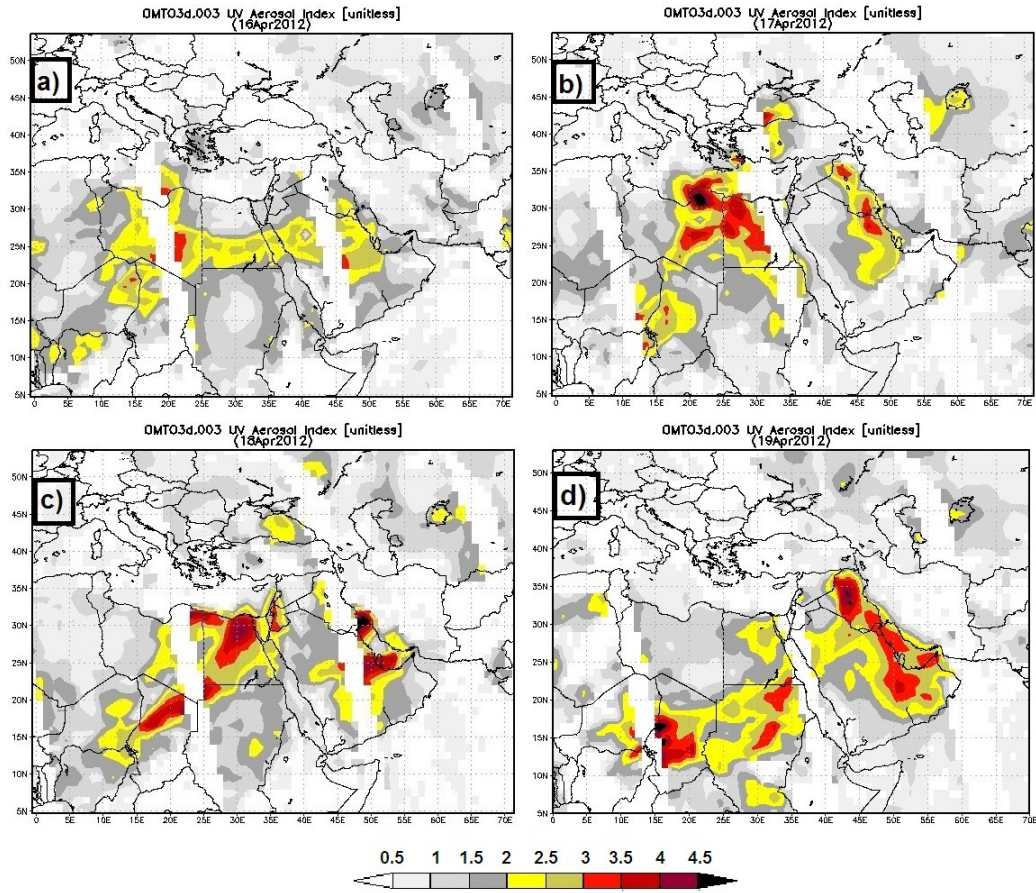
**Şekil 4.1.** Doğu Akdeniz Havzasında mevsimlik ortalama kum ve toz fırtınaları (SDS) olaylarının yıllık değişimleri (Dündar vd., 2013)

##### 4.1 18 Nisan 2012 Toz Taşınımı Olayı

Çalışmada, yere dayalı ve uydu gözlemleri ile toz salınımının açıkça gözlemlendiği



Uydu gözlemleri ile görselleştirilen aerosol ürünleri; bize aerosol yoğunluğu hakkında genel fikir vermekle birlikte, aerosollerin dağılımları hakkında da bilgi sağlarlar. Şekil 4.3, 16-19 Nisan tarihlerindeki günlük OMI Aerosol İndeks (AI) değerlerini göstermektedir. Toz taşınımı Cezayir ve Libya üzerinden Türkiye'nin batı ve orta bölgelerine 17 Nisan 2012 (AI~2.5) tarihinde ulaşmıştır ve sonraki gün doğuya doğru ilerlemiştir. 18 Nisan tarihinde, OMI uydusu İç Anadolu bölgesinde yüksek AI değeri (AI~2.5) göstermektedir.

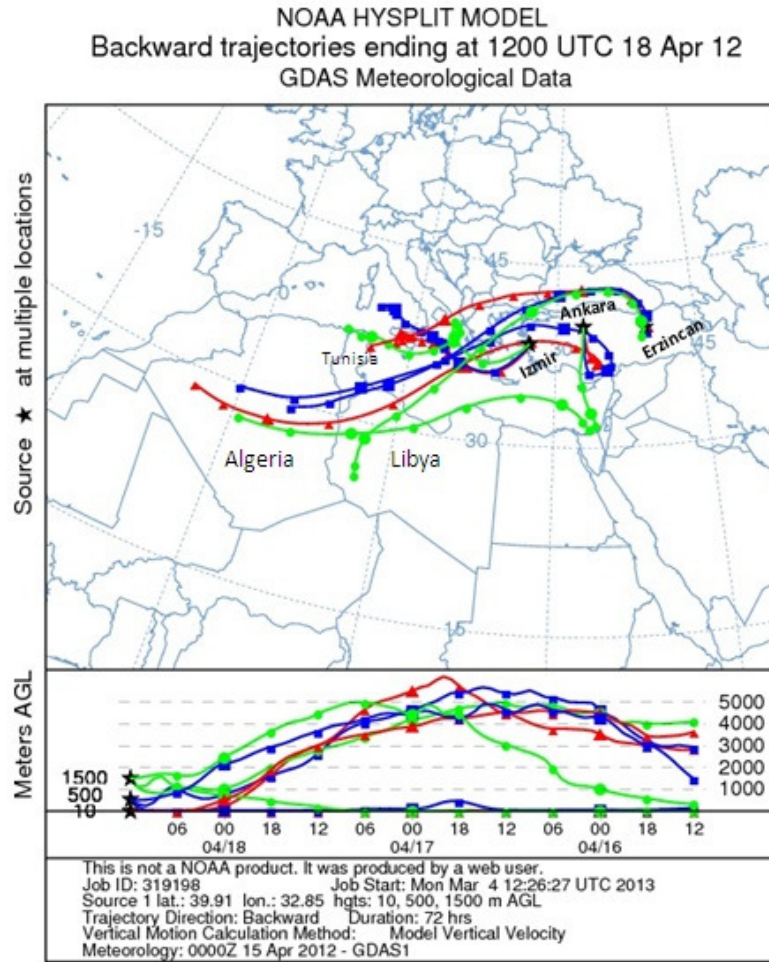


**Şekil 4.3.** OMI Ultraviyole Aerosol İndeks (UV AI) ürünleri (a) Nisan 16, 2012 , (b) Nisan 17, 2012 , (c) Nisan 18, 2012 , (d) Nisan 19, 2012

18 Nisan tarihinde İzmir'i etkileyen hava kütleleri Tunus'dan ve Erzincan'ı etkileyen hava kütleleri Libya, Cezayir ve Tunus üzerinden iken; Ankarayı etkileyen

hava kütlesi lokal (10 ve 500 m. yüksekliklerinde 30 saat öncesine kadar) ve Cezayir kaynaklıdır (Şekil 4.4). 18 Nisan öğle saatlerinde başlayan aerosol artışı güneybatılı ve aynı zamanda lokal (Türkiye içerisinde) aerosol içeriklidir.

Bazı şehirlerde gözlemlenen aerosollerin orjinlerini tespit etmek amacıyla Ulusal Deniz ve Atmosfer Yönetimi (NOAA) tarafından geliştirilen HYSPLIT modeli kullanılarak 18 Nisan 2012 tarihi itibari ile 3 farklı seviyede 3 günlük geri yörünge incelenmiştir. Çalışma alanını etkileyen hava kütlelerinin daha iyi temsil edilmesi için zaman olarak ise 12UTC zamanı seçilmiştir.

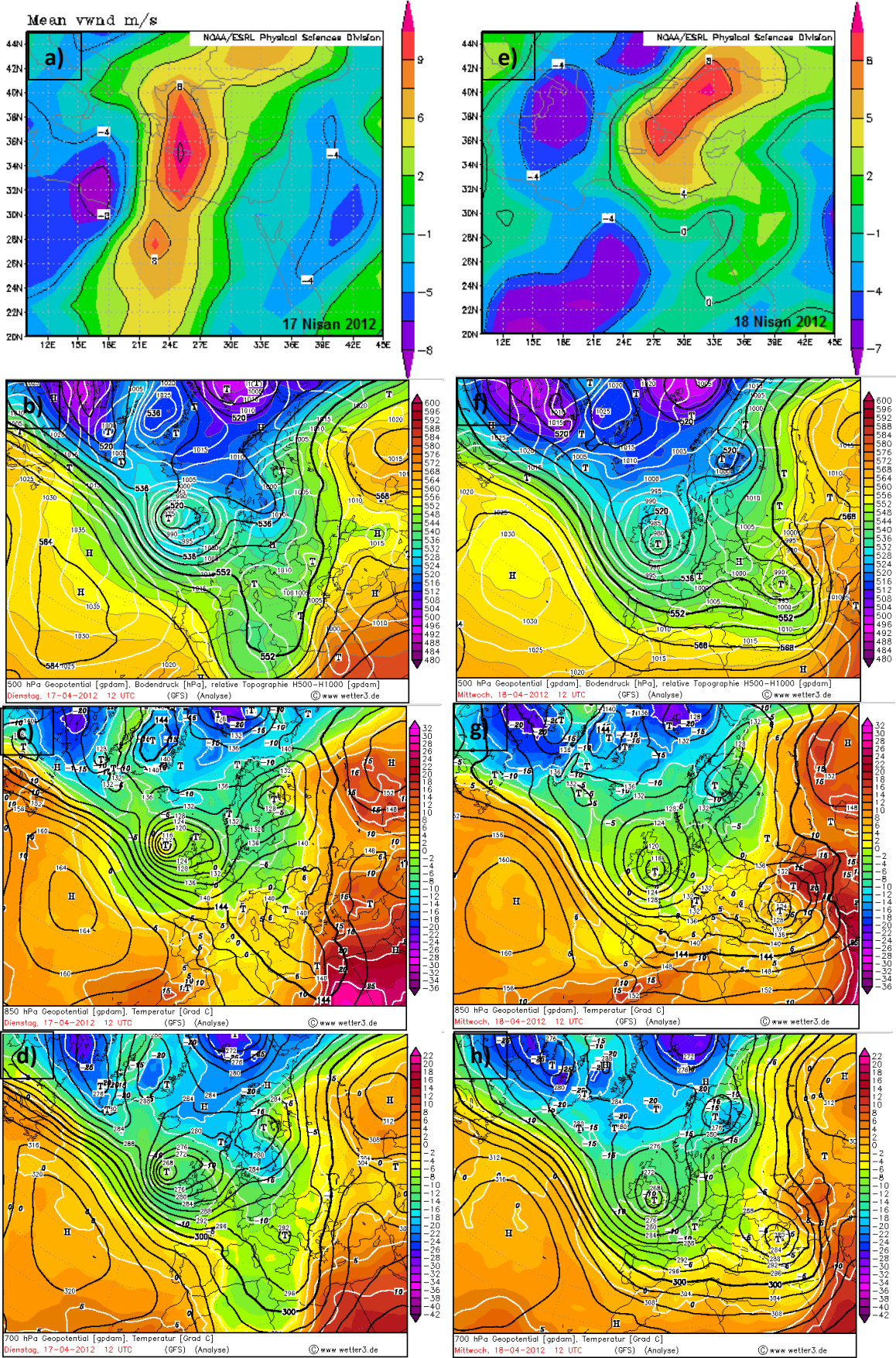


Şekil 4.4. NOAA-HYSPLIT modeli ile 18 Nisan 2012 tarihi 12 UTC de Izmir, Ankara ve Erzurum şehirlerinde biten hava kütlesi geri yörüngesi.

NOAA tarafından üretilen NCEP/NCAR analiz verileri kullanılarak Türkiye’de toz taşınımının gözlemlendiği gün boyunca meteorolojik koşullar incelenmiştir (Şekil 4.5). Sahra siklonları genellikle yukarı atmosferde yoğun kuzey-güney odaklı olukların oluşumu ile başlar ve olası etkisi özellikle ilkbahar ayında gözlemlenen sıcaklık gradyanları ile artan soğuk hava adveksiyonu ile ilişkilidir (Barkan vd., 2005).

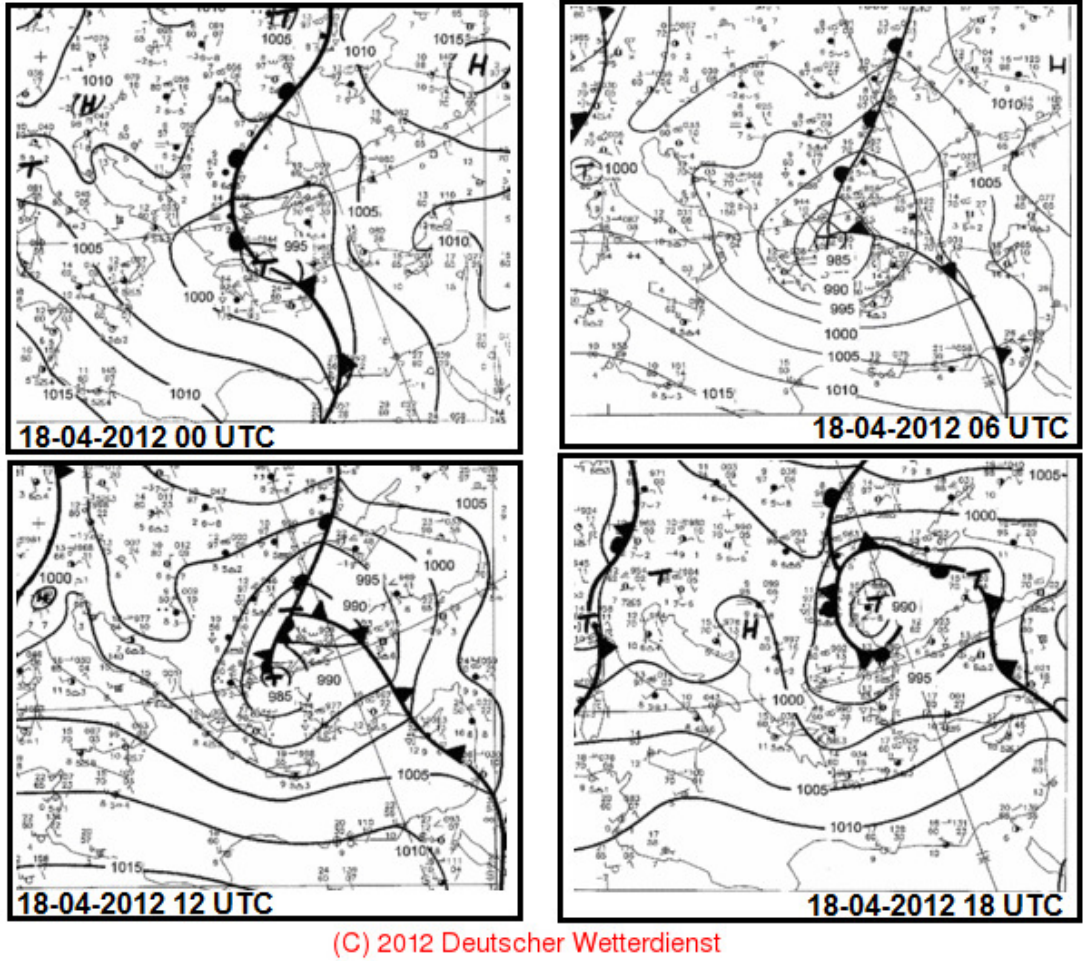
17 Nisan 2012 tarihinde 12:00 UTC’de rüzgar bilgilerine baktığımızda; Ege denizi üzerinde 9 m/s’yi geçen (Şekil 4.5a) güneyli rüzgarlar bulunmaktadır. İtalya’nın güneyinde bulunan 1000 hPa’lık (Şekil 4.5b) alçak basınç merkezi siklonik dönüş yaparak Türkiye’nin batısına doğru uzanan rüzgarlara neden olmaktadır. 500 hPa haritasında (Şekil 4.5b) 560 dam’lık kontur Türkiye’nin batısında Yunanistan üzerinde uzanmaktadır. 850 hPa’da (Şekil 4.5c) İtalya merkezli 140 dam’lık alçak merkez, 700 hPa’da (Şekil 4.5d) yine Hırvatistan merkezli 292 dam’lık alçak merkez bulunmaktadır.

18 Nisan 2012 tarihinde 12:00 UTC’de 990 hPa değerli alçak basınç merkezleri Türkiye’nin kuzeybatısına ve Karadeniz’in batısına yerleşmiştir (Şekil 4.5f). 850 hPa haritasında (Şekil 4.5g) Kuzey Ege Denizi ve Bulgaristan üzerinde 128 dam’lık alçak merkez, 700 hPa haritasında (Şekil 4.5h) yine Kuzey Ege Denizi ve Bulgaristan üzerinde 284 dam’lık alçak merkez bulunmaktadır. Yine bu tarihte 12:00 UTC’de rüzgar bilgilerine göre; Türkiye’nin iç bölgelerinde hızı 25 m/s ‘ye varan rüzgarlar gözlemlendi. Türkiye’nin iç bölgelerinde güneybatılı ve ortalama rüzgar hızı 8 m/s olan meteorolojik hadiseler yaşandı ki bu olaylar aynı zamanda lokal toz kaynaklarından toz yüklenmesi için uygun şartlar idi (Şekil 4.5e).



Şekil 4.5. 17 Nisan (sol sütun) ve 18 Nisan (sağ sütun) tarihlerine ait 12 UTC'deki rüzgar şiddeti, 500hPa, 850hPa ve 700hPa haritaları

18 Nisan 2012 tarihi 00 UTC'de Türkiye'nin batısında bir alçak basınç sistemi görülmektedir. Bu sistemin ilerleyen saatlerde siklonik olarak dönüşüyle birlikte, Akdeniz'den Türkiye'ye hava akımlarını getirdiği görülmektedir (Şekil 4.6). 18 UTC itibari ile de bu alçak basınç sisteminin Karadeniz üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. 18 Nisan 2012 tarihi 00, 06, 12 ve 18 UTC'ye ait yer kartları

Meteorolojik koşulların analizinden sonra, çöl tozu kaynaklarının Türkiye'ye taşınımının incelenmesi amacı ile BSC-DREAM8b modeli çalıştırılıp, çıktıları incelenmiş ve yere dayalı ve uydu aerosol ürünleri ile karşılaştırılıp detaylı olarak

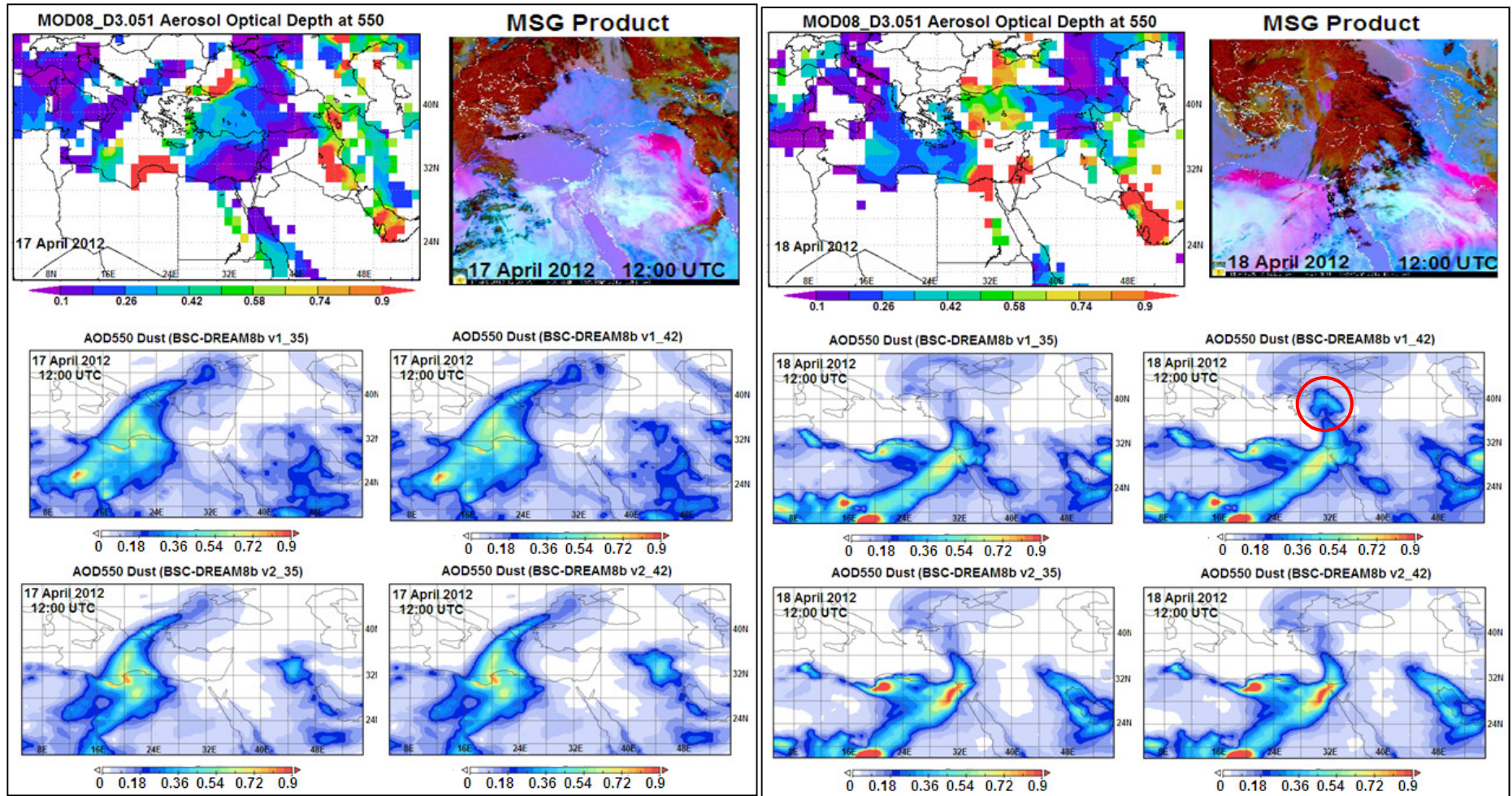
yorumlanmıştır. Modelin Kuzey Afrika ve Türkiye'deki tahmin kapasitesi farklı test çalışmaları ile tartışılmıştır.

17 Nisan tarihinde Sahra çölünde (Libya üzerinde) yoğun bir toz salınımı başlamıştır ve Kuzey Afrika'dan Akdeniz'i geçerek Türkiye'nin batısına doğru ilerlemiştir. Uydu gözlemleri ile uyuşma gösteren modelin toz optik derinliği (AOD) çıktılarından da görüldüğü üzere, 17 Nisan tarihinde Karadeniz'e kadar ilerlemiştir (Şekil 4.7). Modellenen toz AOD'i, özellikle versiyon 1 de, gözlenen yüksek AOD değerini yakalayamasa bile toz taşınımının Karadeniz'e ulaşımını göstermektedir. Libya'nın güneybatısındaki toz kaynakları, versiyon 2'de isteğe bağlı toz kaynakları yaklaşımı nedeni ile kısıtlanmıştır. Bu yüzden, modelin versiyon 1'i versiyon 2'sine göre bu alanda daha yüksek değer vermektedir ve bununla bağlantılı olarak da Karadeniz'de daha iyi sonuç elde edilmektedir.

18 Nisan tarihinde toz bulutu doğu yönünde Türkiye'ye doğru ilerlemiştir (bkz Şekil 4.7). Modellenen toz optik derinliği Kuzey Afrika üzerinde yüksek değerler vermektedir. En yüksek toz konsantrasyonu ( $AOD > 0.5$ ) Kuzey Libya ve Mısır üzerinde görülmektedir. Şekil 4.7'den görüldüğü üzere, modelin v2.0'si bu bölgelerde uydu görüntüleri ile daha iyi uyuşma sağlamaktadır. Türkiye'ye uzak toz kaynaklarından giren tozu gösteren v1\_35 ve v2\_35 ile modellenen AOD değerleri, Türkiye üzerinde yaklaşık olarak aynı değerleri ( $\sim 0.15$ ) vermektedir. Aynı şekilde, v2\_42 çıktıları da Türkiye içerisindeki lokal toz kaynaklarını içermesine rağmen yaklaşık değerlere sahiptir. Fakat, v1\_42'e baktığımızda, Türkiye içerisinde oldukça farklı değerler görülmektedir, ki bu değerler uydu görüntüleri ile daha iyi uyuşma

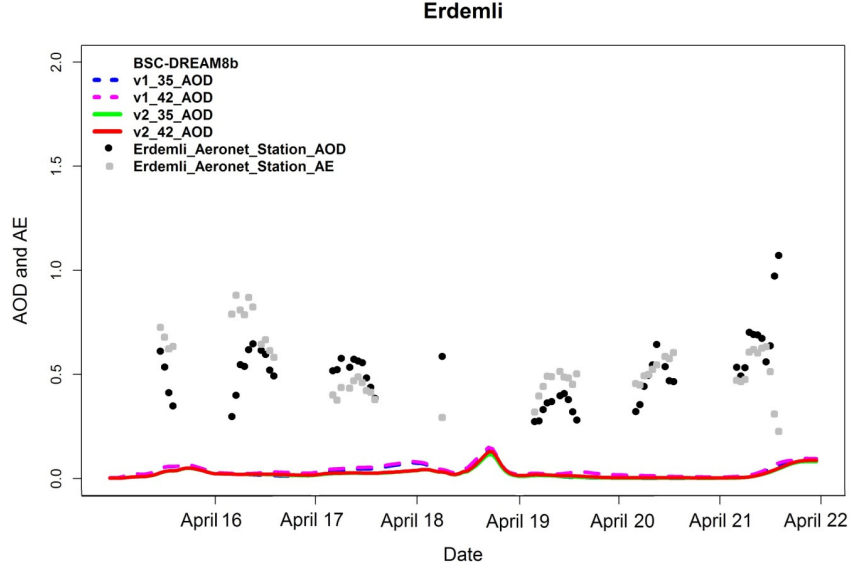
sağlamaktadır. Örneğin, İç Anadolu Bölgesinde v1\_42 de 0.4 den büyük AOD değerleri görülürken, diğerleri 0.15 civarı değerler vermektedir. V1\_42 ve v1\_35 arasındaki bu büyük farklılıklar bize İç Anadolu Bölgesindeki lokal toz kaynaklarının katkılarını göstermektedir. Dahası, isteğe bağlı toz kaynakları bölgeleri içeren v2\_35 ve v2\_42 çıktıları Türkiye içerisinde fazla farklılıklar göstermemektedir (Şekil 4.7).

Modelin tüm AOD çıktıları, 17 Nisan tarihinde özellikle Karadeniz, Libya'nın kuzeyi ve Irak'ın doğusunda; 18 Nisan tarihinde ise İran körfezi ve Libya'nın kuzeyinde uydu görüntüleri ile iyi uyuma göstermektedir (bkz Şekil 4.7). Modellenen toz AOD'i 17 Nisan'da ve özellikle etkisini yoğun olarak gösterdiği 18 Nisan'da Türkiye üzerinde yüksek değerler ( $>0.3$ ) göstermektedir.



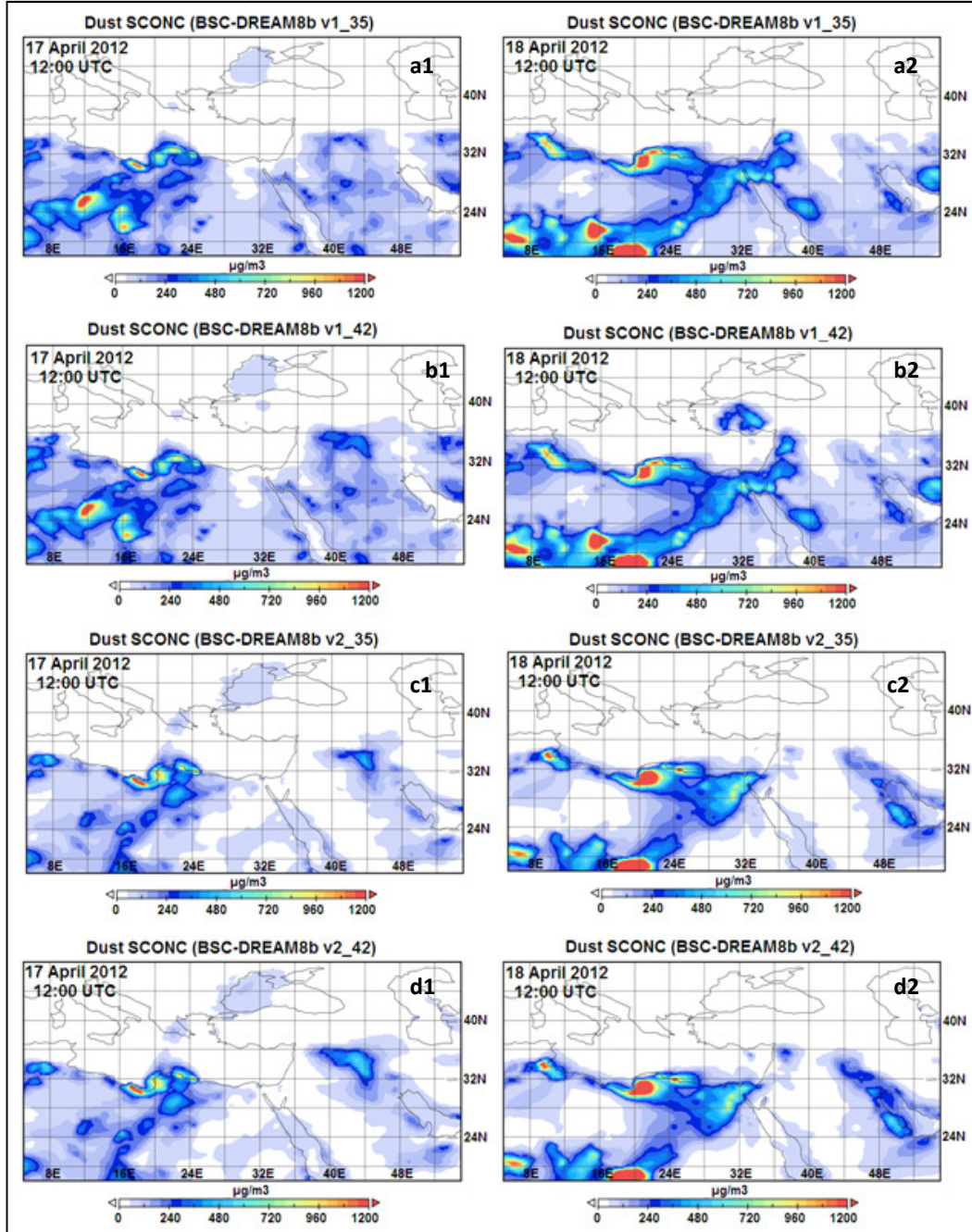
**Şekil 4.7** En üstte; 17 ve 18 Nisan tarihlerine ait MODIS ve MSG satellite uydu görüntüleri; Orta ve en altta; (versiyon 1 and versiyon 2, sırasıyla), 17-18 Nisan 12UTC tarihlerine ait BSC-DREAM8b modeli AOD çıktıları (a) v1\_35, (b)v1\_42, (c) v2\_35, (d) v2\_42

Toz partüküllerinin varlığı aynı zamanda Erdemli'de bulunan güneş fotometresi ile de desteklenmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. BSC-DREAM8b AOD çıktıları ve ölçülen AOD ve AE değerleri

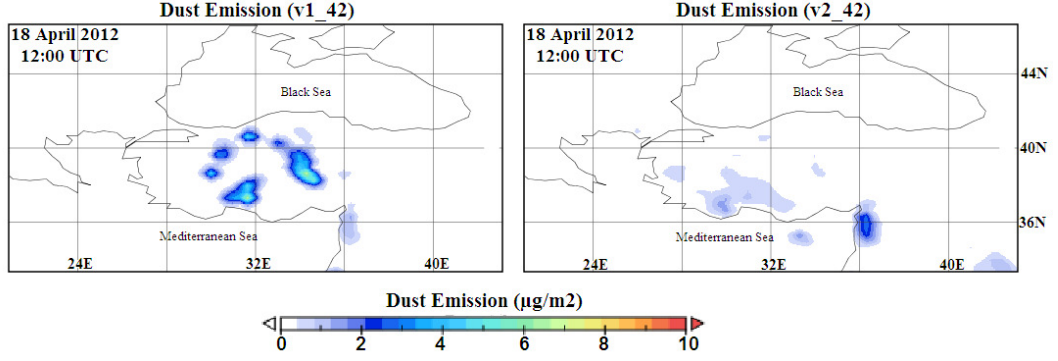
Genellikle, toz aerosollerinin varlığını gösteren Angstrom değerindeki (AE) düşüş, modellenen AOD değerindeki bir artışı takip eder (Dubovik vd., 2002). 18 Nisan'daki gözlem değerlerindeki eksikliğe rağmen, toz partüküllerinin varlığı dolayısı ile Erdemli'deki AE değeri öğle saatlerine kadar azalır, sonrasında ise artmaya başlamaktadır. Aynı zamanda modellenen AOD değeri 18 Nisan tarihinde tozun varlığını göstermektedir (Şekil 4.8). Modellenen ve gözlemlenen değerlerdeki farklılıklar Erdemli AERONET ölçüm istasyonunun çevresinde diğer aerosol partüküllerinin varlığını ifade etmektedir (Kubilay, 2003). Burada ölçülen AOD değeri deniz tuzu, duman ve antropojenik kirlilikten kaynaklanan aerosolleri de değere katarken, modellenen AOD değeri sadece toz aerosollerini içermektedir.



**Şekil 4.9.** BSC-DREAM8b yüzey konsantrasyonu; sol sütun 17 Nisan ve sağ sütun 18 Nisan 12 UTC; (a1, a2) v1\_35 , (b1, b2) v1\_42 , (c1, c2) v2\_35 , (d1, d2) v2\_42

Modellenen yüzey konsantrasyonu çıktıları (Şekil 4.9) incelendiğinde, AOD çıktılarında olduğu gibi modelin tüm versiyonları Cezayir, Libya ve Mısır üzerinde benzer davranış göstermektedir. Fakat, model test çalışmaları için uygulanan toz

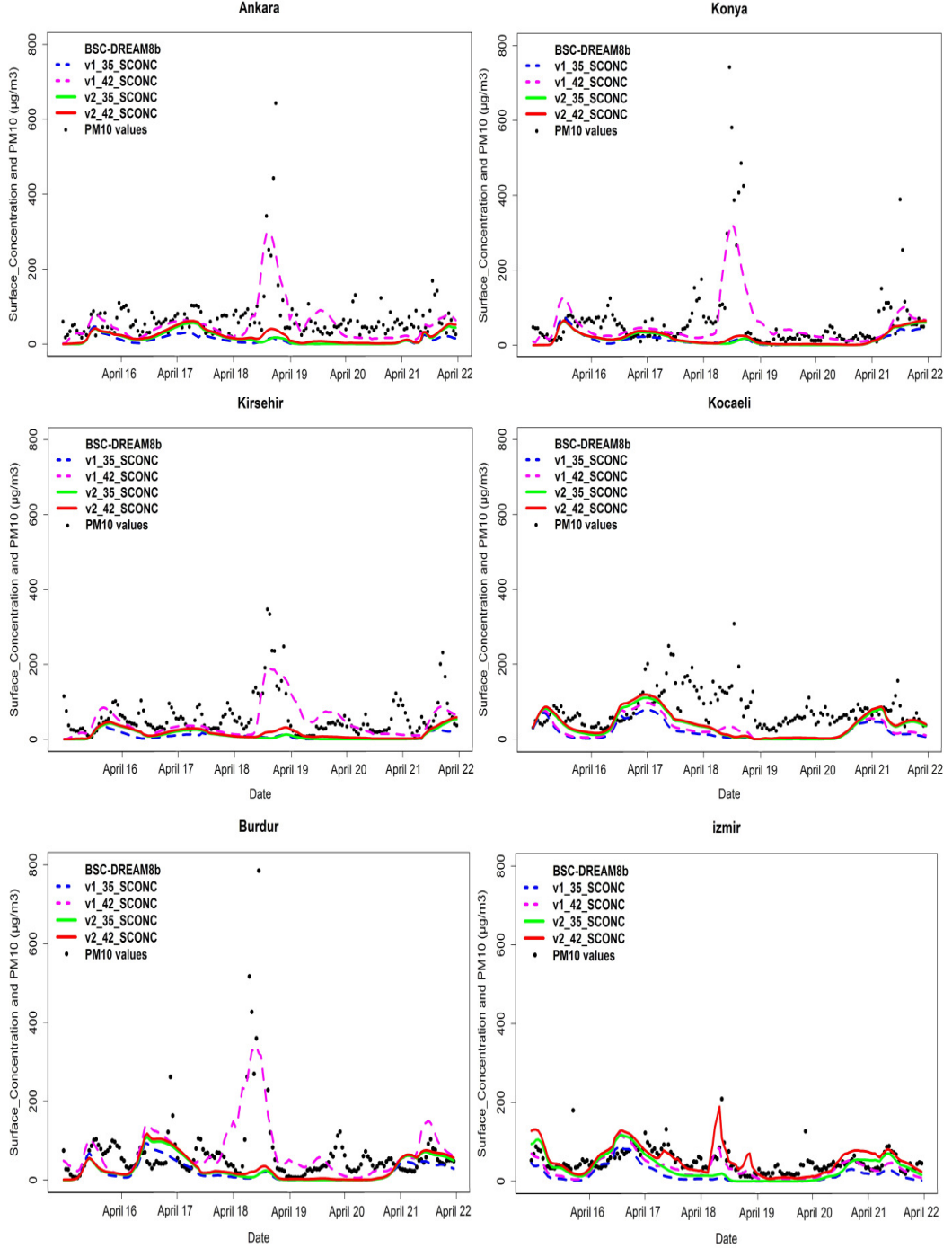
kaynaklarının kısıtlanması dolayısı ile Türkiye üzerinde toz kaynakları modelin farklı versiyonları ile birlikte bazı farklılıklar görülmektedir.



**Şekil 4.10.** 18 Nisan 2012 ve 12UTC tarihi için BSC-DREAM8b Toz emisyonu (sırasıyla v1\_42 ve v2\_42)

V2\_42'deki yüzey konsantrasyonu ve AOD değerlerinin, v1\_42'ye göre daha düşük değerde olmasının sebebi de aynı zamanda budur. V1\_42'deki toz emisyonu ( $< 6 \mu\text{g}/\text{m}^2$ ) değerinin, v2\_42'den ( $1 \mu\text{g}/\text{m}^2$  civarı) çok daha fazla olduğu model çıktıları ile görülmüştür. Şekil 4.10'dan görüleceği üzere, Türkiye içerisindeki toz emisyonları modelin her iki versiyonu arasında farklılık göstermektedir. Versiyon 1'de, tüm emisyonlar maksimum  $7 \mu\text{g}/\text{m}^2$  değerine ulaşırken ve İç Anadolu Bölgesi'nde yoğunlaşırken, versiyon 2'de emisyonlar Türkiye'nin güneybatı bölgesinde yoğunlaşıp maksimum değeri  $2 \mu\text{g}/\text{m}^2$  'ın altındadır. Bu farklılıklar, tamamen versiyon 2'de tanımlanan topoğrafik isteğe bağlı toz bölgeleri nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Türkiye içerisinde  $10^\circ \times 10^\circ$  topoğrafya göz önüne alınarak hesaplanan maksimum ve minimum yükseklik değerlerindeki farklılıklar değerler çok yüksektir. Bu yüksek değer de G katsayısında düşük değere sebep olup, aynı

şekilde Türkiye içerisindeki toz kaynakları emisyonlarında kısıtlamaya sebep olmaktadır.



**Şekil 4.11.** Nisan 2012 olayı için Ankara, Konya, Kirsehir, Kocaeli, Burdur ve İzmir şehirlerinde BSC-DREAM8b modeli, yüzey konsantrasyonu tahminleri ve ölçülen PM10 değerleri.

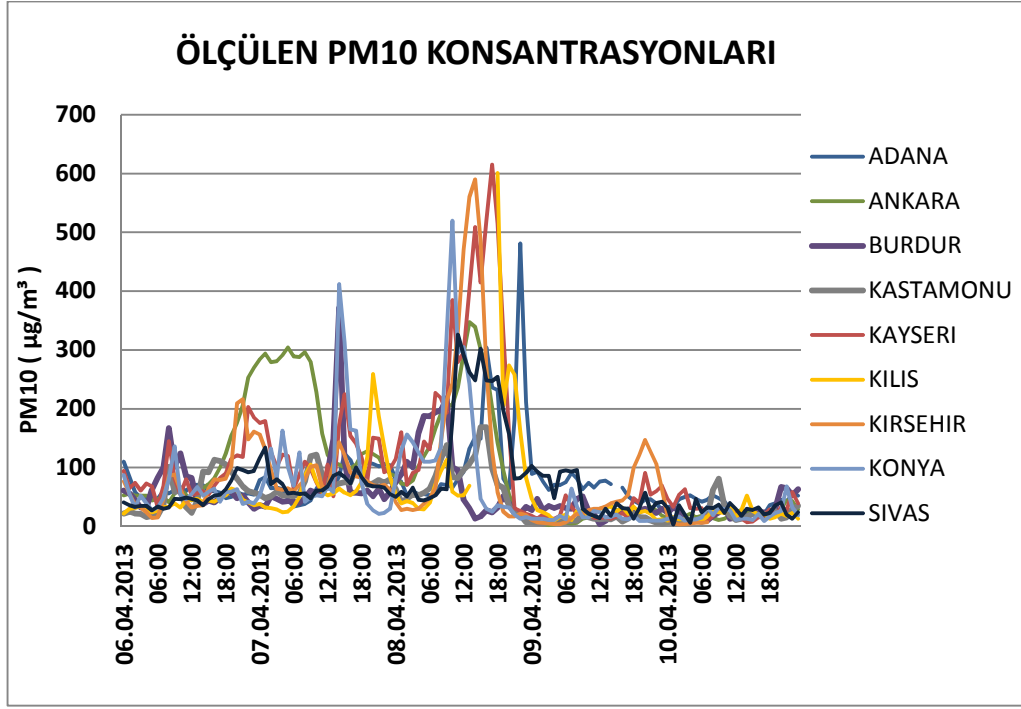
Sonuçlardan da görüleceği üzere, bazı şehirlere ait v2\_42 çıktı değerleri aynı neden dolayısı ile diğer çıktılara göre daha düşük değerlere sahiptir. V1\_42 ise, maksimum konsantrasyon değerlerini aşmasına rağmen, diğer çıktılara göre ölçüm değerlerini çok iyi yakalamaktadır. Diğer bir önemli olay ise, İç Anadolu Bölgesi'nde v1\_42 çıktılarının v1\_35'e göre; v2\_42 çıktılarının ise v2\_35'e göre daha yüksek yüzey konsantrasyonu değerleri vermesidir. Bu ise, 35°K ve 42°K enlemleri arasında (Türkiye içerisinde) toz kaynaklarının varlığının bir kanıtıdır. Kocaeliye bakıldığında ise, tüm çıktı değerleri genellikle gözlemlenen PM10 değerlerinin antropojenik kirlilik nedeniyle altında kaldığı görülmektedir. İzmir'deki bir önemli olay ise, 18 Nisan tarihinde v2\_42 oldukça iyi sonuç verip PM10 değerlerini çok iyi yakalamaktadır (Şekil 4.11). Bu tamamen farklı model versiyonlarındaki emisyon akıları ile alakalıdır.

Sonuç olarak, model çıktıları ve gözlemler göstermektedir ki, PM konsantrasyonlarını etkileyen bu toz taşınımı olayı hem Türkiye dışından ülkemize taşınan toz kaynaklı, hemde Türkiye içerisinde gelen toz kaynaklıdır.

## **4.2 8 Nisan 2013 Toz Taşınımı Olayı**

Türkiye'yi etkileyen diğer bir önemli toz taşınımı olayı ise 2013 yılı nisan ayında gerçekleşmiştir. Şekil 4.12, Türkiye'de toz taşınımından en çok etkilenen dokuz istasyonun saatlik PM10 konsantrasyonu değerlerini göstermektedir. 8 Nisan tarihinde, yoğun toz taşınımı direkt olarak 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 Dünya Sağlık Örgütü ve Avrupa Birliğinin belirlediği PM10 standartlarının oldukça üzerinde değerlerdir.

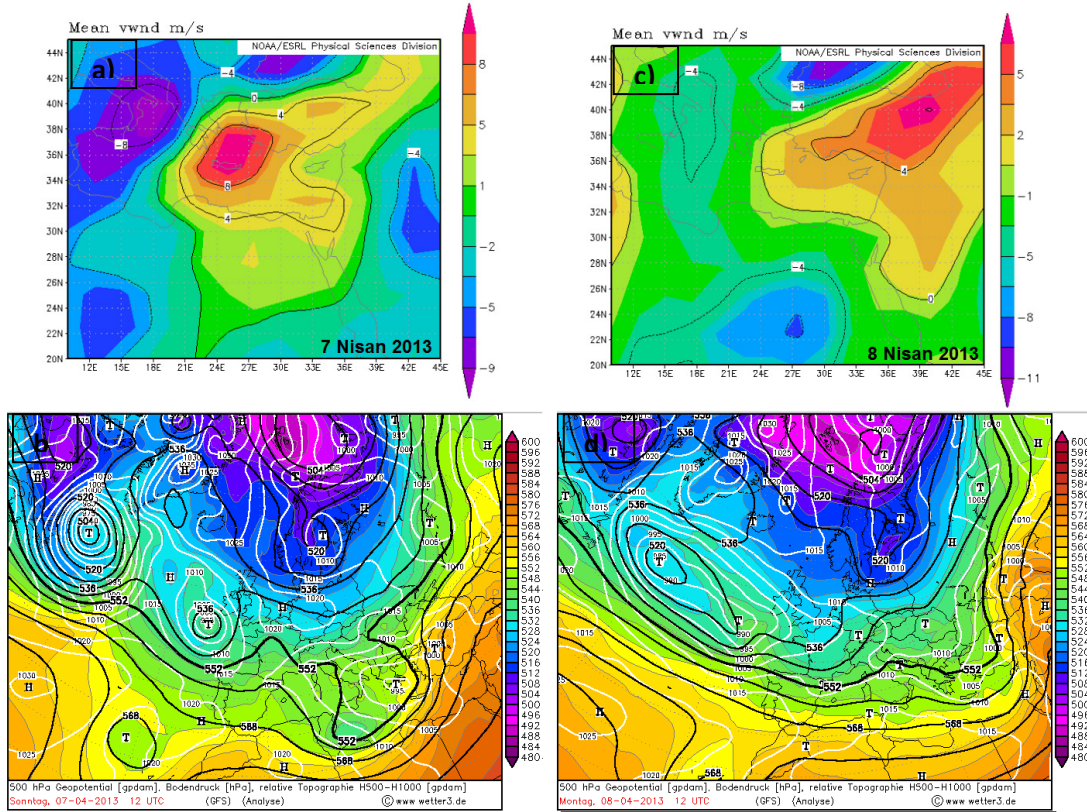


Şekil 4.12. 6-11 Nisan 2013 tarihleri arası Türkiye’de bazı şehirlerde saatlik ölçülen PM10 değerleri

Bu olayda, Sahra çölündeki tozlar Türkiye’nin güneyinden ülkemize giriş yapmıştır. Toz taşınımının gözlemlendiği günler için meteorolojik koşullar Şekil 5.11’de gösterilmiştir.

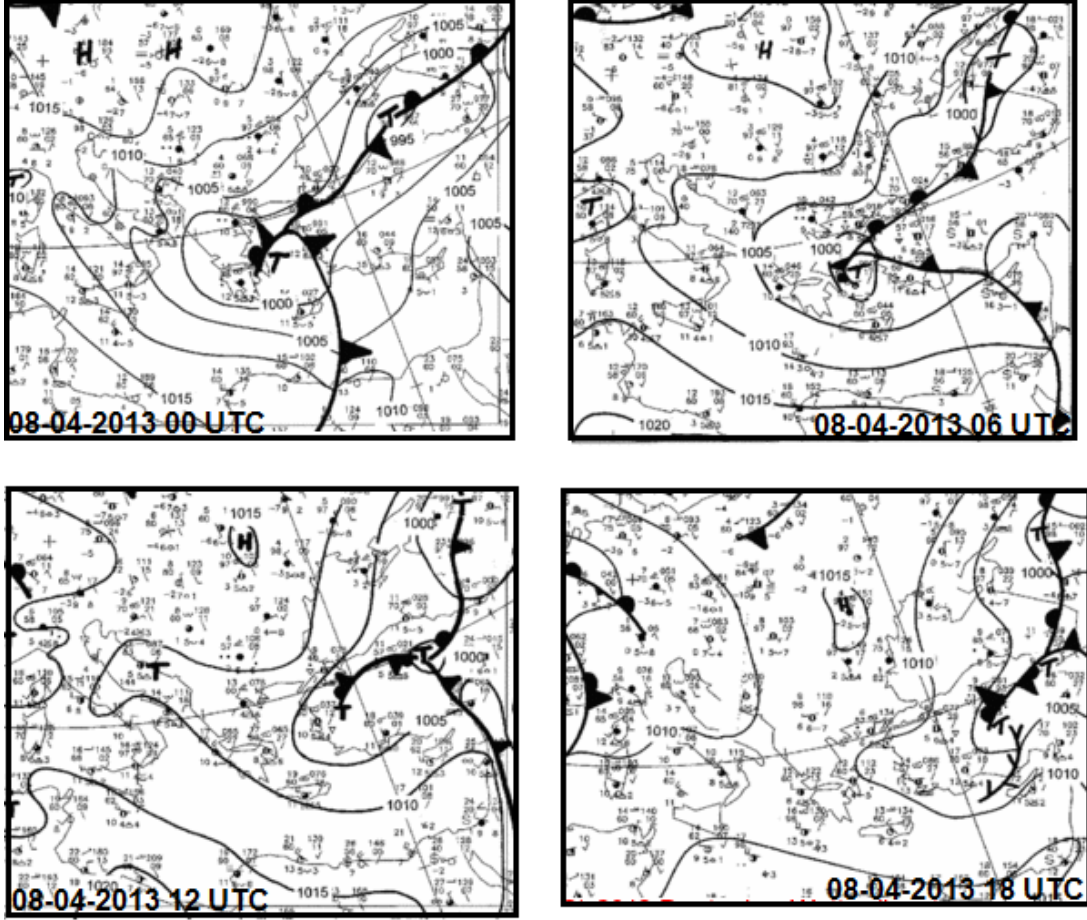
7 Nisan 2013 tarihinde 12:00 UTC’de Yunanistan üzerinde 990 hPa’lık alçak basınç merkezi bulunmaktadır (Şekil 4.13b). Yine Yunanistan’ın güneyinde Ege Denizi üzerinde günlük ortalama hızı 8 m/s’nin üzerinde olan güneyli kuvvetli rüzgarlar gözlemlenmiştir (Şekil 4.13a). 8 Nisan 2013 tarihinde 12:00 UTC’de ise

Gürcistan üzerinde 1000 hPa'lık bir alçak basınç merkezi (Şekil 4.13d) ve Türkiye'nin kuzeybatı kesiminde günlük ortalama hızı 6 m/s'yi aşan rüzgarlar (Şekil 4.13c) görülmektedir. Türkiye'nin batısından kuzeydoğusuna doğru ilerleyen bu alçak basınç merkezi, Kuzey Afrika'dan Akdeniz yönünde toz taşınımının ilerlemesine uygun koşul hazırlamıştır.



Şekil 4.13. 7-8 Nisan 2013 tarihlerine ait ortalama rüzgar şiddeti ve 500 hPa haritaları

Sinoptik kartlar da 8 Nisan 2013 tarihi 00 UTC'de Türkiye'nin batısında bir alçak basınç sistemi göstermektedir. Bu alçak basınç sistemi, siklonik dönüşle birlikte İç Anadolu Bölgesine yerleşmiştir ve Akdeniz'den Türkiye'ye hava akımlarının gelmesine neden olmuştur (Şekil 4.14).

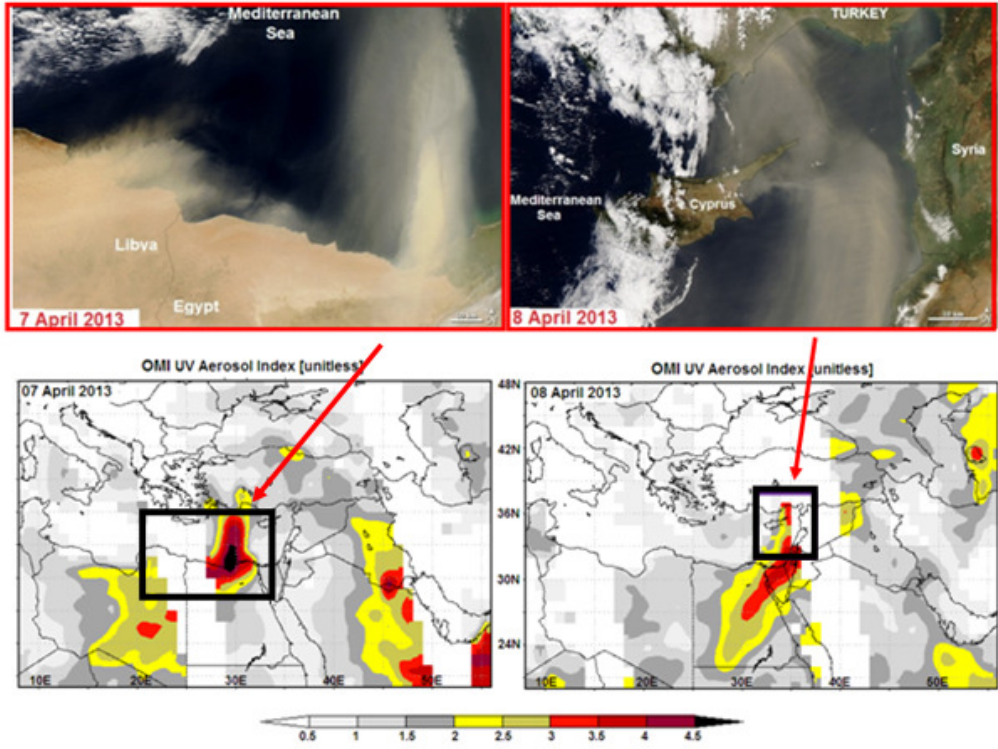


(C) 2012 Deutscher Wetterdienst

Şekil 4.14 8 Nisan 2013 tarihi 00, 06, 12 ve 18 UTC'ye ait yer kartları

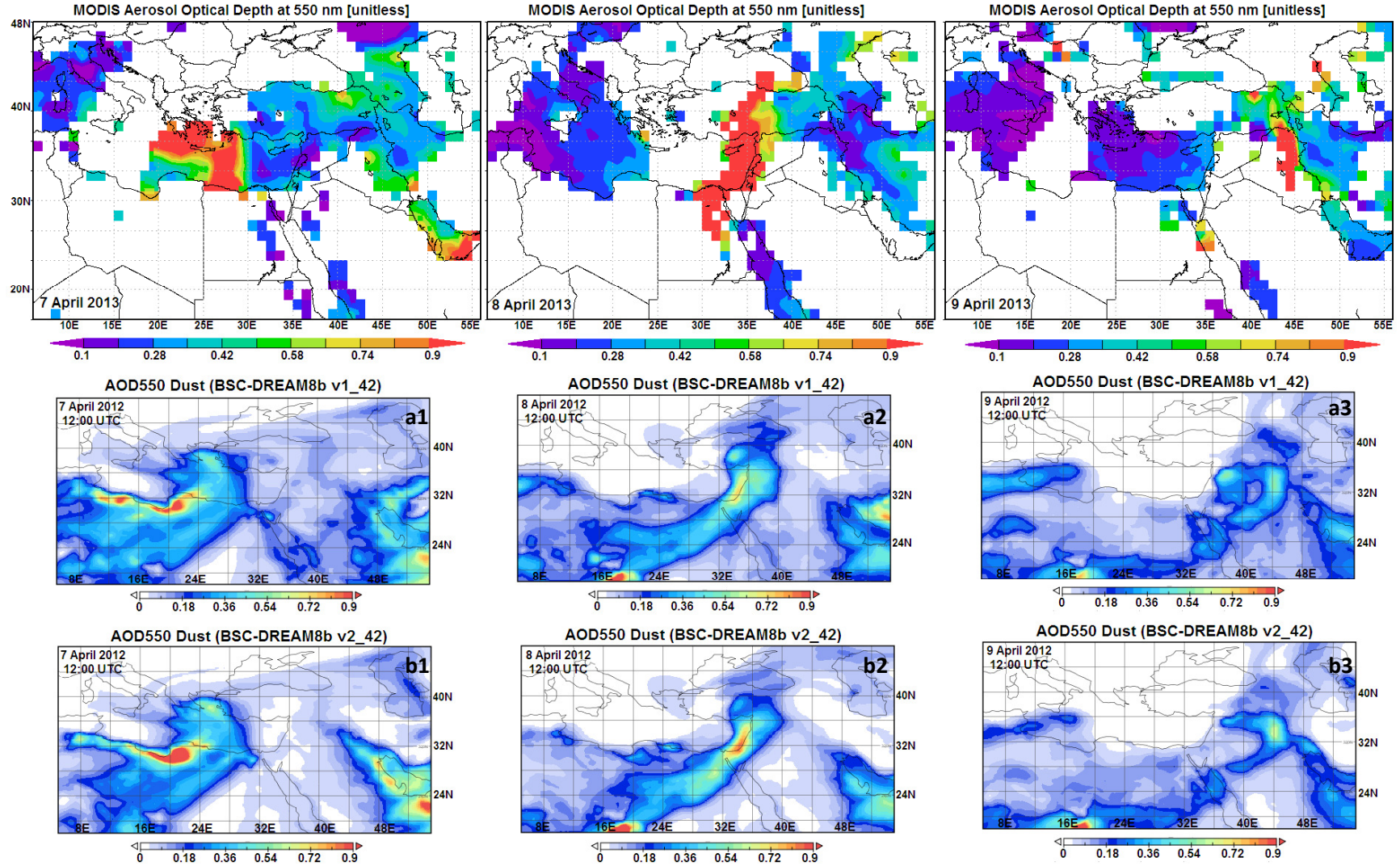
Bu meteorolojik koşulların etkisi ile de, toz bulutu Libya ve Mısır üzerinden kuzey yönlü olarak ilerlemiş, Kuzey Kıbrıs'ı süpürerek Akdeniz'i geçmiştir. 8 Nisan tarihinde ise Türkiye'ye ulaşmıştır (Şekil 4.15).

OMI-AI çıktıları da, Aqua-MODIS uydusu ürünü ile birlikte Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Uydu geçişi dolayısı ile 40D boylamlarında 8 Nisan tarihinde veri bulunmamaktadır, fakat buna rağmen toz kaynağı ve geliş yönü 7 ve 8 Nisan tarihlerinde Mısır kaynaklı olarak açıkça görülebilmektedir. OMI AI görüntüleri de 3 gibi yüksek bir değer ile Türkiye'ye doğru gelen bir toz taşınımını desteklemektedir.



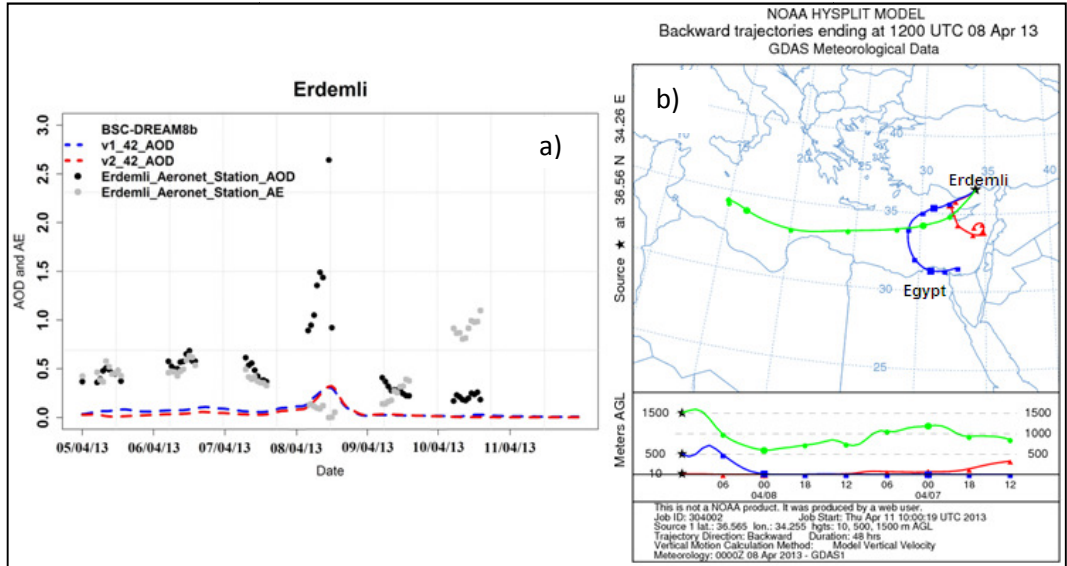
**Şekil 4.15.** 7-8 Nisan tarihlerinde; Aqua-MODIS sensöründen görüntü (üstte) ve OMI sensöründen UV Aerosol İndeks (altta) görüntüsü.

Bu toz olayında, Mısır'ın kuzeyinde bir toz hareketliliği gerçekleşip, Akdeniz'den Türkiye'nin güneyine ulaşarak 8 Nisan tarihinde Gürcistan'a kadar ilerlemiştir. Modellenen toz optik derinliği (AOD) 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 5.13 bize v2\_42 ile modellenen toz AOD değerlerinin, 8 Nisan'da Akdeniz'in batısından doğusuna doğru ilerleyen toz taşınımını çok iyi yakaladığını göstermektedir. Fakat, Türkiye'nin iç bölgelerinde güneyden kuzeye doğru uzanan bölgede gözlenen yüksek AOD değerleri ( $> 0.9$ ), Türkiye içerisindeki toz kaynaklarını kısıtlamayan v1\_42 ile çok daha iyi yakalandığı görülmektedir (Şekil 4.16).



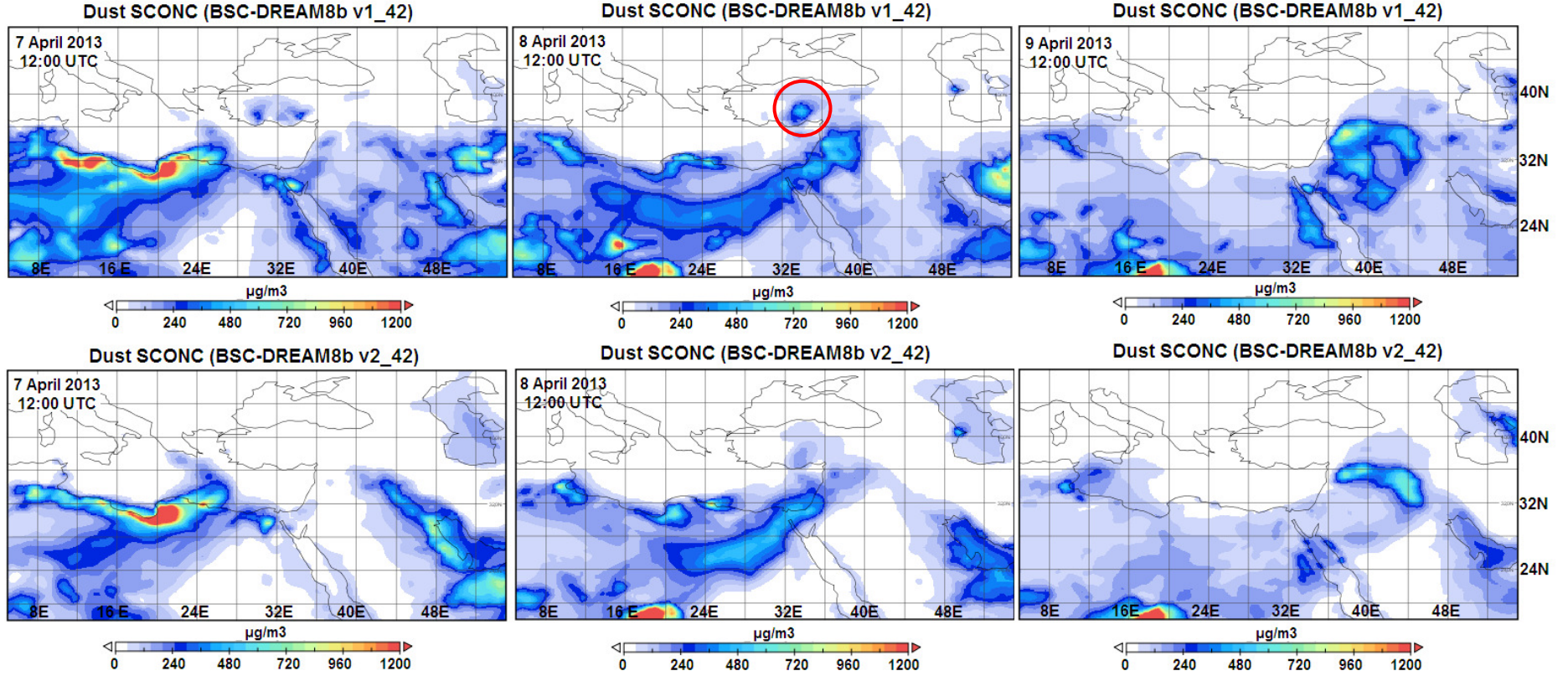
**Şekil 4.16.** MODIS AOD ürünleri (en üst) ve farklı versiyonları ile modellenen BSC-DREAM8b toz AOD çıktıları; 12UTC 7 Nisan (a1,b1), 8 Nisan (a2,b2) and 9 Nisan (a3,b3)

Erdemli AERONET istasyonundaki günlük AOD ve Angstrom katsayısının (AE) ölçümleri, model AOD tahminleri ile birlikte aynı grafikte verilmiştir (Şekil 4.17a). Gözlenen AOD değerleri 8 Nisan saat 12 UTC'de maksimum değer göstermektedir ki bu da bölgede toz partiküllerinin varlığını ifade eder. Yine aynı şekilde AE değerindeki düşük değer (<0.5), o gün oradaki toz partiküllerinin varlığını desteklemektedir. Dahası, modellenen değerler de mineral tozlarının varlığını göstermektedir. Modellenen ve gözlemlenen değerler arasındaki farklılıklar bölgedeki diğer aerosollerin varlığıyla alakalıdır.



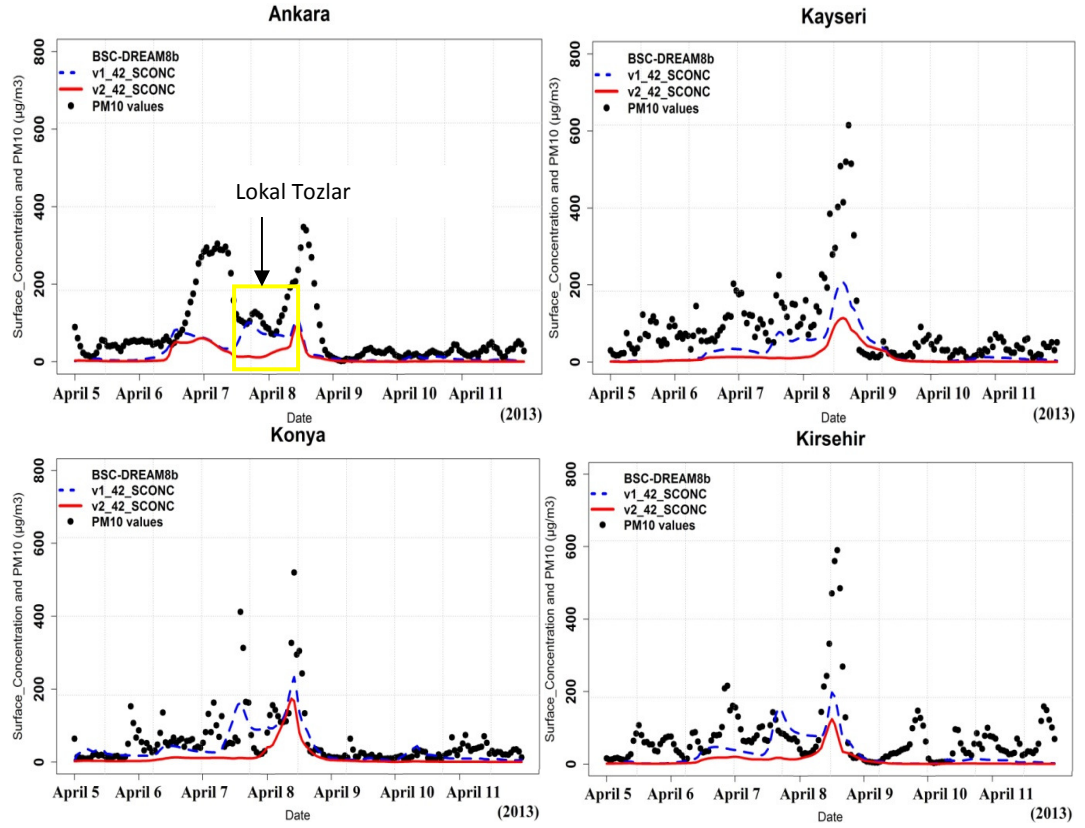
**Şekil 4.17** (a) BSC-DREAM8b AOD çıktıları (550nm de) ve ölçülen AOD ve AE değerleri, (b) NOAA-HYSPLIT modeli ile Erdemli'de son bulan geri yönlü hava kütlelerini gösteren harita

Türkiye'nin güneyine ulaşan hava kütlelerinin kaynağını incelemek için 10, 500 ve 1500 m. seviyelerinde 8 Nisan 12UTC ye ait HYSPLIT modeli geri yörüngeli olarak 72 saate kadar çalıştırılmıştır (Şekil 4.17b). Erdemli'ye 1500m. seviyesinden gelen hava kütleleri batı Akdeniz üzerinden iken; 10 ve 500m. seviyelerinde varan tüm hava kütleleri Doğu Akdeniz bölgesinden (özellikle Mısır) gelmektedir.



**Şekil 4.18.** 12 UTC 'de BSC-DREAM8b farklı versiyonlarının yüzey konsantrasyonu çıktıları; 7 Nisan (sol sütun), 8 Nisan (orta sütun) and 9 Nisan (sağ sütun)

Modellenen yüzey toz konsantrasyonu çıktıları, AOD çıktılarında olduğu gibi maksimum değerlerini Kuzey Afrika üzerinde vermektedir (bkz Şekil 4.18). v2\_42 maksimum yüzey konsantrasyonu değerini İç Anadolu'nun güneyi ve Akdeniz bölgesinde  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değerinin altında verirken; v1\_42,  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  den daha yüksek değer vermektedir. Bu v1\_42'nin bu bölgelerde lokal toz katkılarını daha iyi yakaladığını göstermektedir.



**Şekil 4.19** Ankara, Kayseri, Konya ve Kirsehir şehirleri için Nisan 2013 tarihli BSC-DREAM8b yüzey konsantrasyonu değerleri ve gözlenen PM10 değerleri

Bazı şehirleri için yüzey konsantrasyonu çıktı değerleri Şekil 4.19 da gösterilmiştir. Her iki model versiyonu da 8 Nisan tarihinde oldukça yüksek ( $< 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) değerler vermektedir. Türkiye dışından gelen tozların etkisi nedeni ile,

iki model versiyonu bazı peryodlarda aynı trendi göstermektedir, fakat modelin versiyon 1'i versiyon 2'ye göre (lokal kaynaklı tozların etkisi nedeniyle) hava kalite istasyonlarında ölçülen değerleri daha iyi yakalamaktadır. Örneğin; versiyon 1 ile gözlem değerlerinin 7 ve 8 Nisan tarihlerinde Ankara, Kayseri, Konya ve Kırşehir'de iyi yakalandığı görülmektedir (Şekil 4.19).

## 5. DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmanın temel amacı, çöl tozlarının Türkiye'ye etkilerinin iki örnek çalışma ile ele alınması ve BSC-DREAM8b modelinin toz tahmini etkinliğinin değişik versiyonları ile değerlendirilmesidir. Bu nedenle, Türkiye'deki toz kaynaklarını da çöl tozları ile beraber incelemek amacıyla, modelin farklı versiyonları ile değişik toz kaynakları ele alınarak 4 farklı çeşit model test çalışması yapılmıştır. Yoğun toz taşınımının gözlemlendiği 15-22 Nisan 2012 ve 7-11 Nisan 2013 tarihlerini kapsayan aralıkta model çalıştırılıp, elde edilen çıktılar AERONET direkt güneş gözlemleri, uydu gözlemleri ve hava kalite istasyonları ile karşılaştırması yapılmıştır. Taşınan çöl tozları, aynı zamanda Türkiye içerisindeki lokal toz kaynakları da göz önüne alınarak detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Bu kapsamda, BSC-DREAM8b v1.0 ve en son güncellenmiş hali olan BSC-DREAM8b v2.0 modeli birlikte analiz edilmiştir. Modelin versiyon 1'i çeşitli nedenler dolayısı ile gözlenen PM10 değerlerini özellikle İç Anadolu bölgesinde sık sık aşmaktadır. Fakat bu aşmalara rağmen, şu an Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde operasyonel olarak çalışmakta olan modelin bu versiyonu (v1.0) toz konsantrasyonundaki gözlemlenen artış ve azalışı çok iyi yakalamaktadır.

Zhang vd. (2001)'a dayanan yeni kuru ve yağ çökeltme şemasının yanında, modelin versiyon 2'si topoğrafik isteğe bağlı toz bölgelerini de içermektedir. Ginoux vd. (2001)'a dayanan topoğrafik isteğe bağlı toz bölgeleri özellikle Kuzey Afrika toz kaynakları için çok iyi sonuçlar vermektedir. Fakat modelin bu versiyonu, Türkiye

içerisindeki  $10^{\circ} \times 10^{\circ}$  topoğrafyada hesaplanan (G katsayısı) maksimum ve minimum yükseklik farklarındaki fazlalık nedeniyle Türkiye içerisinde ve özellikle İç Anadolu'da toz üretimini (kalkışını) kısıtlamaktadır. Bu nedenle, modelin 2. versiyonundan elde edilen çıktı değerleri ölçüm değerlerinin fazlasıyla altında kalmaktadır ve bu değerleri yakalayamamaktadır.

Elde edilen ve aynı zamanda model çalışması ile desteklenen sonuçlar bize lokal toz kaynaklarının Türkiye'de önemli etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle son yıllarda lokal kaynaklı toz fırtınaları Türkiye'de sık görülmeye başlanmıştır.

Tüm bu nedenler dolayısı ile modeldeki topoğrafik isteğe bağlı toz bölgeleri üzerinde çalışılması gerekmektedir. Yüksek çözünürlüklü çalışmalar lokal karakterli tozların yakalanabilmesi amacı ile gereklidir. Özellikle Türkiye üzerinde versiyon 2 deki G katsayısı tekrardan ele alınmalıdır. Bu yüzden, model dinamiğine girilerek bu katsayı Türkiye içerisinde daha dar alandaki topoğrafyada ve yüksek çözünürlükle, örneğin; 1 km çözünürlüklü  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  'yi kapsayan topoğrafyada hesaplanması daha tutarlı sonuçların elde edilmesini sağlayabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Alpert, P., Neeman, B.U., Shay-El, Y.,(1990), Intermonthly variability of cyclone tracks in the Mediterranean, *Journal of Climate* 3, 1471–1478.
- Andreae, M. O. and Merlet, P.,(2001), Emission of trace gases and aerosols from biomass burning.
- Angström, A.,(1929), On the Atmospheric Transmission of Sun Radiation and on Dust in the Air, *Geografiska Annaler*, 11, 156-166, doi:10.2307/519399.
- Atkinson, R. W. Et.al.,(2001), Acute Effects of Particulate Air Pollution on Respiratory Admissions: Results from APHEA 2 Project. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 164(10): 1860-1866.
- Baldasano, J. M., E. Valera and P. Jimenez,(2003), Air quality data from large cities. *Sci. Total Environ.* 307(1-3): 141-165.
- Barkan, J. Et.al.,(2005), Synoptics of dust transportation day from Africa toward Italy and central Europe, *J. Geophys. Res.*, 110,D07208, doi:10.1029/2004JD005222.
- Basart, S. Et al.,(2012), Development and evaluation of the BSC-DREAM8b dust regional model over Northern Africa, the Mediterranean and the Middle East, *Tellus B*, 64, 18539, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.18539>.
- Dayan, U.,(1986), Climatology of back trajectories from Israel based on synoptic analysis. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25, 591–595.
- Dayan, U. Et al.,(1991), Dust intrusion events into the Mediterranean basin. *Journal of Applied Meteorology* 30, 1185–1199.
- Dubovik, O. Et al.,(2002), Variability of Absorption and Optical Properties of Key Aerosol Types Observed in Worldwide Locations, *Atmos. Sci.*, 59, 590-608.
- Duggen, S. Et al.,(2007), Subduction zone volcanic ash can fertilize the surface ocean and stimulate phytoplankton growth: Evidence from biogeochemical experiments and satellite data. *Geophys Res Lett* 34:L01612, doi:10.1029/2006GL027522.
- Dündar C, Oğuz K, Güllü G,(2013), Doğu Akdeniz Havzasında Kum ve Toz Fırtınalarının (SDS) İncelenmesi, 10.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

- Fecan, F., Marticorena, B. and Bergametti, G.,(1999), Parametrization of the increase of the aeolian erosion threshold wind friction velocity due to soil moisture for arid and semi-arid areas. *Ann. Geophys.* 17, 149-157.
- Flanner, M. G., Zender, C. S., Randerson, J. T., and Rasch, P. J.: Present-day climate forcing and response from black carbon in snow, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 112, D11, doi:10.1029/2006jd008003, 2007.
- Forster, P., Et al.,(2007), Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing, in: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L., Cambridge University Press, New York.
- Fubini, B., Otero Areàn, C.,(1999), Chemical aspects of the toxicity of inhaled mineral dust. *Chem. Soc. Rev.* 28, 373-381.
- Ginoux, P., Et al.,(2001),Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model, *J. Geophys. Res.*, 106, 20255-20274  
10.1029/2000JD000053.
- Goudie, A. S. and N. J. Middleton,(2006), *Desert Dust in the Global System*, Springer Berlin Heidelberg.
- Giorgi, F., (1986), A Particle Dry-Deposition Parameterization for Use in Tracer Transport Models, *J. Geophys. Res.*, 91, 9794-9806.
- Grini, A., and Zender, C. S.,(2004), Roles of saltation, sandblasting, and wind speed variability on mineral dust aerosol size distribution during the Puerto Rican Dust Experiment (PRIDE), *J. Geophys. Res.*, 109, D07202.
- Harrison, R.M., van Grieken, R.E.,(1998), *Atmospheric particles.IUPAC series on analytical and physical chemistry of environmental system.* J. Buffle and H.P. van Leeuwen. John Wiley & Sons, 610 pp.
- Hinds, William C.,(1999), *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*, 1999.
- Holben, B. N.,(1998), AERONET: A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization, *Rem. Sens. Environ.*, 66, 1-16.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate change 2007: The physical Science Basis*, Cambridge University Press, U.K., 2007.

- Israelevich, P.L. Et al., (2002), Desert aerosol transport in the Mediterranean region as inferred from the TOMS aerosol index. *Journal of Geophysical Research* 107 (D21), 4572, doi:10.1029/2001JD002011.
- Israelevich, P.L., Eta l.,(2003), Annual variations of physical properties of desert dust over Israel. *Journal of Geophysical Research* 108 (D13), 4381, doi:10.1029/2002JD003163.
- Jacobsson, Neil.C.,(2001), Behavioral Activation Treatment for Depression: Returning to contextual roots.
- Janjic, Z. I.,(1994), The Step-mountain Eta Coordinate Model: Further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes, *Mon. Weather Rev.*, 122, 927– 945.
- Kallos, G. Et al.,(1997), The regional weather forecasting system SKIRON: an overview. In: *Proceedings of the Proceedings of the Symposium on Regional Weather Prediction on Parallel Computer Environment*, University of Athens, Greece.
- Kappos, A. D. Et al.,(2004), Health effects of particles in ambient air, *Hygiene and Environ. Health* 207(4): 399-407.
- Kubilay, N. Et al.,(2000), An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment* 34 (8), 1293–1303.
- Kubilay, N., Cokacar, T., Oguz, T.,(2003), Optical properties of mineral dust outbreaks over the northeastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research* 108 (D21), 4666, doi:10.1029/2003JD003798.
- Levy, R.C. Et al.,(2010), Global evaluation of the Collection 5 MODIS dark-target aerosol products over land, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 10399–10420.
- Mahowald NM, Et al.,(2009), Atmospheric iron deposition: Global distribution, variability, and human perturbations. *Annu Rev Mar Sci* 1:245–278.
- Martet, M., and Peuch, V.H.,(2009), Aerosol modelling in MOCAGE and operational dust forecasting at Météo-France, *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci.* 7, 012008.
- Masmoudi M, Et al.,(2003), Spatial and temporal variability of aerosol: size distribution and optical properties. *Atmos Res* 2003;66:1–19.

- Menut, L.,(2008), Sensitivity of hourly Saharan dust emissions to NCEP and ECMWF modeled wind speed. *J. Geophys. Res.* 113, D16201.
- Morcrette, J. J. Et al.,(2009), Aerosol analysis and forecast in the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Integrated Forecast System: Forward modeling. *J. Geophys. Res.* 114, D06206, doi:10.1029/2008JD011235.
- Nickovic, S., and Dobricic, S.,(1996), A model for long-range transport of desert dust, *Monthly weather review*, 124, 2537-2544.
- Nickovic, S. Et al.,(1997), Production and long-range transport of desert dust in the Mediterranean region: Eta model simulation. In: *Proceedings of the Proceedings of the 22nd NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Applications*, Clermont-Ferrand, France.
- 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.
- Perez, C. Et al.,(2011), Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/BSC-Dust model – Part 1: Model description, annual simulations and evaluation.
- Pey,J. Et. Al.,(2012), African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001–2011: PM10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology.
- Prospero, J. M. Et al.,(2002), Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the nimbus 7 total ozone mapping spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product, *Rev. Geophys.*, 40(1), doi:10.1029/2000RG000095.
- Schmechtig, C. Et al.,(2011), Simulation of the mineral dust content over Western Africa from the event to the annual scale with the CHIMEREDUST model. *Atmos. Chem. Phys.* 11, 7185-7207.
- Schwarze, P. E. Et al.,(2006), Particulate matter properties and health effects: consistency of epidemiological and toxicological studies, *Human & Experimental Toxicology* 25(10): 559-579.

- Seinfeld , John H., Pandis, Spyros N.,(1998), Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change.
- Shao, Y., Raupach, M. R. and Findlater, P. A.,(1993), Effect of saltation bombardment on the entrainment of dust by wind. *J. Geophys. Res.* 98, 12719-12726.
- Slinn, W. G. N.,(1982), Predictions for particle deposition to vegetative canopies, *Atmos. Environ.*, 16, 1785-1794.
- Stevens, B. and Feingold, G.,(2009), Untangling aerosol effects on clouds and precipitation in a buffered system, *Nature*, 461, 607– 613, doi:10.1038/nature08281.
- Tegen, I., and Lacis, A. A.,(1996), Modeling of particle size distribution and its influence on the radiative properties of mineral dust aerosol, 101, 19237-19244.
- Tegen, I. Et al.,(2004), Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission, *J. Geophys. Res. Lett.*, 31, doi:10.1029/2003GL019216.
- Todd, M. C.,(2008), Quantifying uncertainty in estimates of mineral dust flux: An intercomparison of model performance over the Bodélé Depression, northern Chad, *J. Geophys. Res.*, 113.
- WHO. 2005. “WHO air quality guidelines global update 2005”. Bonn, Germany, World Health Organization.
- Wang H, et al.,(2012), A-Train satellite measurements of dust aerosol distributions over northern China. *J Quant Spectrosc Radiat Transfer*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jqsrt.2012.08.011>.
- Warneck, P.,(1998), Chemistry of the natural atmosphere. International Geophysics Series. Wiley & Sons, 41.Academy Press, 757 pp.
- Westphal, D. L. Et al.,(2009), Operational aerosol and dust storm forecasting. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 7, 012007.
- Yin, Y. Et al.,(2002), Interactions of mineral dust particles and clouds: Effects on precipitation and cloud optical properties, *Journal of Geophysical Research*, VOL. 107, NO. D23, 4724, doi:10.1029/2001JD001544.
- Zhang, L. Et al.,(2001), A size-segregated particle dry deposition scheme for an atmospheric aerosol module, *Atmos. Environ.*, 35, 549-560.

Zhou, C. H. Et al.,(2008), Development and evaluation of an operational SDS forecasting system for East Asia: CUACE/Dust. Atmos. Chem. Phys. 8, 787–798.

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, uydu ve yere dayalı gözlemlerin yanında Barcelona Süperbilgisayar Merkezi tarafından geliştirilen ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünde operasyonel olarak çalışan BSC-DREAM8b toz taşınımı tahmin modelinin çeşitli versiyonlarını kullanarak çöl tozlarının Türkiye'ye taşınımını ve yerel toz katkılarını incelemektir. Bu temel amaç ile birlikte, bazı test çalışmaları yapılarak Türkiye için model versiyonlarının etkinlikleri analiz edilmiştir.

Bu kapsamda, çalışma dönemi olarak yoğun toz olayının gözlemlendiği tarihler incelenmiştir. Bunun için öncelikle OMI sensörünün Aerosol Index ürünü ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından işletilen Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının PM10 verileri incelenip 18 Nisan 2012 ve 8 Nisan 2013 tarihlerine odaklanılmıştır. BSC-DREAM8b modelinin çeşitli versiyonları kullanılarak Aerosol Optik Derinliği ve Yüzey Konsantrasyon tahminleri alınmıştır. Bu tahminler MODIS, MSG uydu ürünleri ve PM10 ölçümleri ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, toz taşınımı olayı detaylı bir şekilde analiz edildikten sonra, Türkiye içerisinde yerel toz kaynaklarının varlığı tespit edilip, yerel kaynaklardan kalkan tozların BSC-DREAM8 v1.0 tarafından diğer versiyona göre daha iyi yakalandığı görülmüştür.

## **ANALYSIS OF THE DESERT DUST TRANSPORT OVER TURKEY**

### **ABSTRACT**

The main aim of this study is to analyse the desert dust transport and local dust contributions in Turkey by using the BSC-DREAM8b model which is developed at Barcelona Supercomputing Center and runs at Turkish State Meteorological Service besides satellite and ground-based observations. With this main aim, efficiency of the model versions were analysed with some test experiments.

In this context, the study periods were selected when the dust outbreak occurred. Therefore, the study was focused on the dates of 18 April 2012 and 8 April 2013 by investigating Aerosol Index product from OMI sensor and PM10 concentrations from air quality stations which were controlled by the Ministry of Environment and Urban Planning in Turkey. After the backtrajectory were investigated as well as meteorological conditions, Aerosol Optical Depth and Surface Concentration outputs were obtained by using different versions of the BSC-DREAM8b model.

As a result, after dust transport events were analysed, the existence of local dust sources were detected and it was observed that dusts emitted from these sources were caught by BSC-DREAM8b v1.0.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kahraman OĞUZ  
Doğum Yeri : Nevşehir  
Doğum Tarihi : 27.03.1988  
Yabancı Diller : İngilizce (iyi), Almanca (orta)

### Eğitim Durumu

Lise : Yabancı Dil Ağırlıklı Avanos Lisesi (2006)  
Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği (2011)  
(Leibniz Hannover Üniversitesi, Erasmus Programı (1 yıl))  
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Fiziki  
Coğrafya Anabilim Dalı (2014)

### Çalıştığı Kurumlar

Türksoy Enerji Mühendislik ve Danışmanlık Hizmetleri Ltd. Şti (2011-2011)  
Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı (2011 - )

### Kurslar ve Yayınlar

- İstanbul Avrupa Yakası Su Yönetimi Projesi, MMG Ödüllü (2009)
- Alman Askeri Havacılık Okulu, Meteorolojik Danışmanlık Stajı, Almanya (2010)
- Kalite Yönetim Sistemleri, İç Tetkik Eğitimi, TSE (2012)
- Meteoroloji, Toz Fırtınaları, Çölleşme ile Mücadele Çalıştayı, İstanbul (2013)
- Toz Taşınımı Tahmini Eğitimi, Barselona Süperbilgisayar Merkezi, İspanya (2013)
- Dündar, C., **Oğuz, K.**, Dokuyucu, K., Bacanlı, H., 2011, Kısa Süreli Rüzgar Enerjisi Tahmini, VI.Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri
- Dündar, C., **Oğuz, K.**, Güllü, G., 2013, Doğu Akdeniz Havzasında Kum ve Toz Fırtınalarının (SDS) İncelenmesi, 10.Ulusal Çevre Müh. Kongresi, Hacettepe Ankara
- **Oğuz, K.**, Dündar, C., Pekin, A., Uzaktan Algılama Verileri ile Toz Taşınımı Analizi, I. Meteorolojik Uzaktan Algılama Çalıştayı, Antalya, 2013