

## DOĞU AKDENİZ ATMOSFERİNDE PARTİKÜL Al DEĞİŞİMİ VE KONTROL EDEN METEOROLOJİK FAKTÖRLER

*Nilgün Kubilay, Mustafa Koçak, Emin Özsoy ve A. Cemal. Saydam*  
*Deniz Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, P.K. 28, 33731, Erdemli- İÇEL*

### ÖZET

Doğu Akdeniz'in Türkiye kıyısında bulunan Erdemli (36°N, 34°E) istasyonundan, 1991, 1992, 1996, 1997 ve 1998 yıllarında toplanan atmosferik partikül (aerosol) örneklerinde gerçekleştirilen (mineral tozun atmosferde iz sürücü elementi) analizlerin sonuçları ilkbahar aylarında yüksek Al derişimleri göstermiştir. Üç boyutlu hava kütleleri yörüngeleri, dinamiksel denklemlerin yanısıra toz taşınımında içeren bölgesel bir atmosferik model sonuçları ve uzaktan algılama verileri ile birlikte incelenen ölçüm seti Kuzey Afrika çöllerinden kaynakalanan mineral tozun bölgeye özellikle geçiş mevsimlerinde taşındığını göstermiştir.

*Anahtar sözcükler: doğu Akdeniz, aerosol, mineral toz, uzun mesafeli taşınım.*

### THE VARIABILITY IN PARTICULATE AL CONCENTRATION IN THE EASTERN MEDITERRANEAN ATMOSPHERE AND CONTROLLING METEOROLOGICAL FACTORS

#### ABSTRACT

The analyses of airborne particulate (aerosol) samples collected during the years of 1991, 1992, 1996, 1997 and 1998 at Erdemli (36°N, 34°E) located on the Turkish coast of the eastern Mediterranean has shown higher Al (precursor of mineral dust) concentration in spring time period. The data, complemented by three-dimensional (3D) air mass back trajectories, modelling results and satellite observations suggest that North African desert derived particles are transported to the region during transitional seasons.

*Key words: eastern Mediterranean, aerosol, mineral dust, long-range transport.*

#### GİRİŞ

Doğu Akdeniz'i etkileyen aerosollerin en önemli bileşeni Büyük Sahra' dan taşınan mineral tozdur. Erdemli'de DBE yerleşkesinin liman mendireğinde kurulu bulunan istasyonda Ağustos 1991-Aralık 1992 ve 1996-1998 tarihleri arasında toplanan aerosol örneklerinin eser element konsantrasyonları, mineralojik kompozisyonları ve eş zamanlı hava kütlelerinin yörüngeleri, uzaktan algılama verileri ve uzun mesafeli atmosferik toz taşınım modeli sonuçları ile birlikte incelenerek Doğu Akdeniz'i etkileyen atmosferik taşınım ve bunların kaynak bölgeleri incelenmektedir (Kubilay ve Saydam, 1995; Kubilay ve diğ., 1994; 1997; 2000).

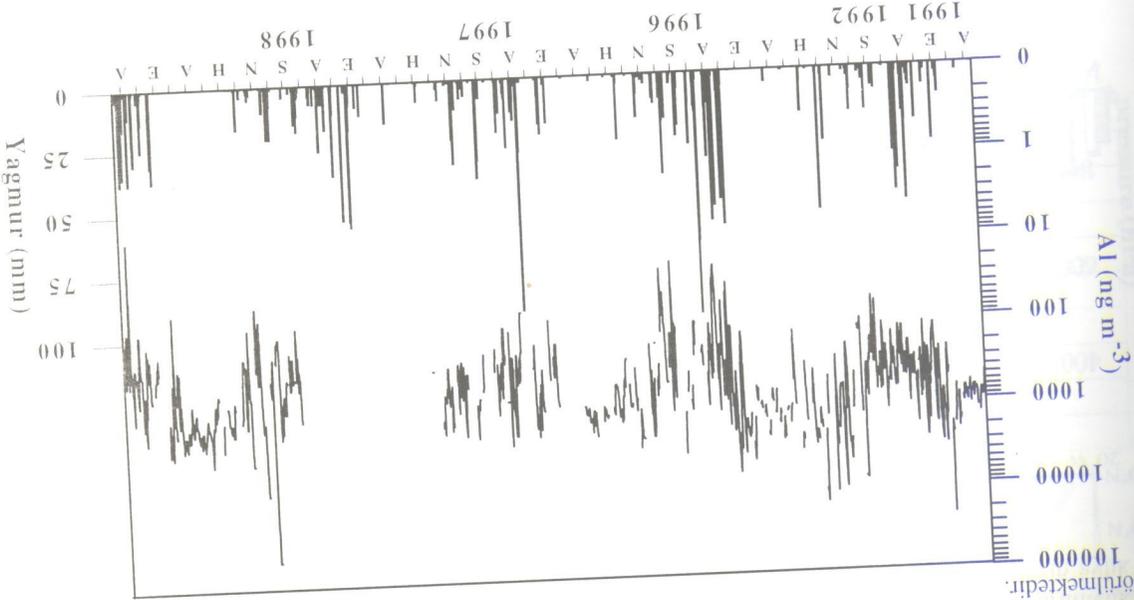
Sahra tozlarında bulunan oligo elementlerin yağmur ve deniz suyunda çözünerek mikroskopik canlılar için kullanıma hazır forma dönüştüğünü varsayarsak, bunların Doğu Akdeniz'de özellikle ilkbahar aylarında eko-sistem döngüleri üzerinde önemli ölçüde etkin olabileceği beklenir.

#### MATERYAL VE METOD

Atmosferik partikül (aerosol) örnekleri Enstitü liman mendireğinde bulunan 21 m yükseklikteki kule üzerine yerleştirilmiş olan yüksek debili pompa ile Whatman 41 (20.3 x 25.4 cm) filtre kağıtları üzerinde toplanmıştır. Toplam 739 filtre örneği toplanmış ve HF/HNO<sub>3</sub> karışımı ile özümsemek üzere çözeltiye geçirilen partikül örneklerindeki Al analizleri için GBC-906 model atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılmıştır.

Şekil 1'den görüleceği üzere yağışlar partiküllerin atmosfer kolonundan yakanarak yeryüzüne göklemesine neden oldukları için yağışlı günlerde partikül Al derişimi en düşük seviyelerine ulaşmaktadır. Yağış ile partikül Al derişimi arasındaki ilişkiyi daha açık gösterebilmek amacı ile Erdemli istasyonuna düşen klimatolojik aylık ortalama yağış miktarları Şekil 3a'da sunulmuştur.

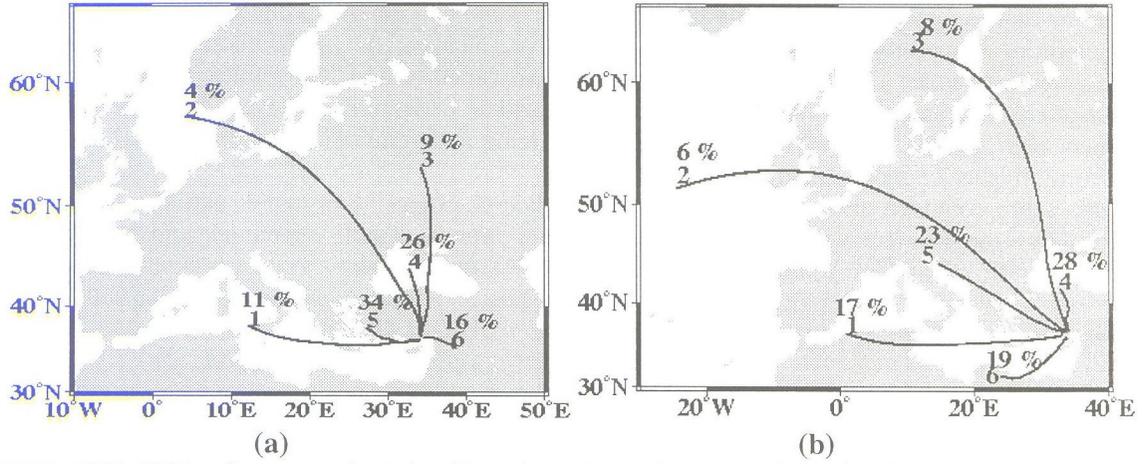
Şekil 1. Erdemli istasyonunda toplanan aerosol örneklerindeki Al derişimi ve günlük yağış miktarı.



Şekil 1'de Erdemli'de toplanan örneklerde gerçekleştirilen ve mineral toz konsantrasyonu ile orantılı olan Al analizlerinin sonuçları sunulmuştur. Görüleceği üzere Al konsantrasyonları gün ve mevsim bazında ani derişimler göstermektedir. Bu derişimi etkileyen en önemli faktörler yağış ve hava kütlelerinin kaynak bölgelerindeki derişimdir (Kublay ve diğ., 1994; 2000; Saydam, 1995). Atmosferik ölçümleri için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri, hava kütlelerinin belirli bir dönem içindeki geri dönüşlerini modellemektir. Yer seviyesinde örneklenen atmosferik partiküllerin içerdiği kimyasal bileşenlerin uzun mesafeli taşınımını değerlendirebilmek ve o bölgeye has ortalama hava akım yönünü karakterize edebilmek için hava kütlelerinin geri dönüşlerini hesaplamak için kullanılan istatistiksel yöntem (cluster analysis) kullanılarak gruplara ayrılmış ve Şekil 2'de sunulmuştur. Bu yöntem ile Erdemli'ye ulaşmadan önceki üç gün içerisinde birbirine benzer yol takip eden günlerin yönlerini aynı grup altında toplanarak istasyonu etkileyen hava kütleleri genellikle lokal toplandı. Erdemli istasyonuna atmosferin alt seviyelerinde ulaşan hava kütleleri genellikle lokal toplandı. Erdemli istasyonuna düşen üst seviyelerden ulaşan hava kütlelerinin Sahra Çölü'nden kaynaklandıkları kaynaklarıdır (Şekil 2a), oysa üst seviyelerden ulaşan hava kütlelerinin Sahra Çölü'nden kaynaklandıkları görülmektedir.

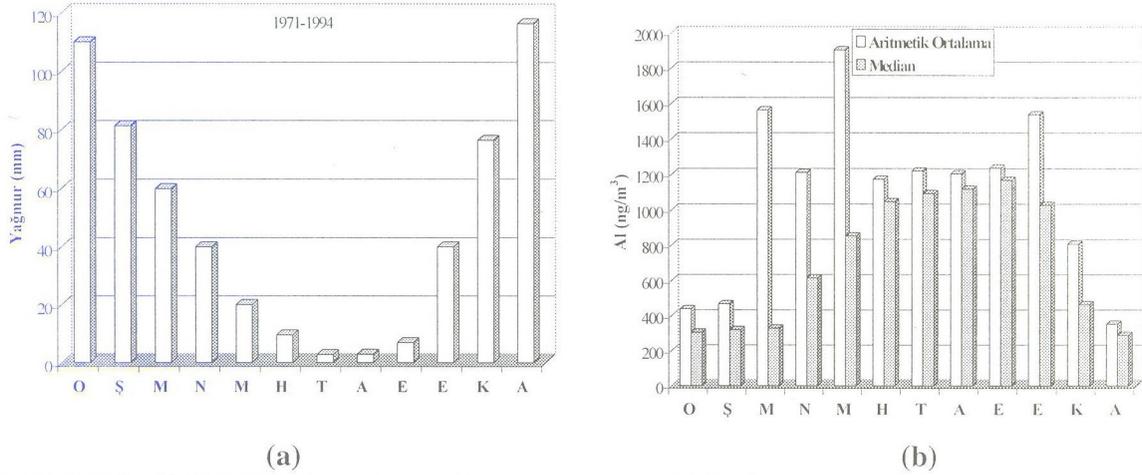
## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Erdemli istasyonunda toplanan partikül örneklerinin kompozisyonun etkileyen potansiyel kaynak bölgelerinin klimatolojik ölçekte belirlenmesi ve ölçülen Al derişimindeki derişimleri açıklayabilmek amacı ile 1989-1998 yıllarını kapsayan zaman dilimi için günlük hava kütlelerinin dönüşleri hesaplanmıştır. Ayrıca atmosferdeki partikül derişimini etkileyen diğer meteorolojik element olan günlük yerel yağış miktarları ise örneklem istasyonunun 9 km doğusundaki Erdemli Meteoroloji istasyonundan sağlanmıştır. Büyük Sahra gölünden atmosferik taşınımınla doğu Akdeniz bölgesine taşınarak partikül Al derişimi üzerinde ani derişimlere yol açan mineral toz taşınım sürecini simüle edebilmek için Nickovic ve Dobricic (1996) tarafından geliştirilen toz taşınım modeli kullanılmıştır.



Şekil 2. 1989-1998 yılları arasında Erdemli'ye ulaşan hava kütlelerinin kaynak bölgeleri. (a) 900 hPa; (b) 700 hPa.

Yirmi dört yıllık (1971-994) aylık ortalama yağış miktarlarından görüleceği üzere haziran, temmuz, ağustos ve eylül ayları hemen hemen hiç yağış almamaktadır. En çok yağış alan aylar Akdeniz ikliminin kış ayları olarak tabir edilen ocak, şubat ve aralık olup daha sonra geçiş mevsimi ayları olarak kabul edilen mart, nisan, mayıs, ekim ve kasım aylarıdır. Aylık ortalama yağış miktarı ile partikül Al arasındaki ilişkiyi gösterebilmek amacı ile aylık partikül Al derişimleri Şekil 3b'de sunulmuştur. Şekilde aritmetik ortalamanın yanısıra median veya ortanca değerlerinin verilmesinin nedeni günlük Al derişimi dağılımında (bknz. Şekil 1) görülen ekstrem ölçümlerden aritmetik ortalamanın etkilenmesi durumlarında bu ekstrem değerlerden etkilenmeyen median değerlerin aylık ortalamayı daha gerçekçi olarak temsil etmesindedir.



Şekil 3. Erdemli istasyonunda meteorolojik parametre ve partiküllerin zaman serisi. (a) Aylık yağış ortalaması (mm); (b) Aylık partikül Al derişimi ( $\text{ng} / \text{m}^3$ ).

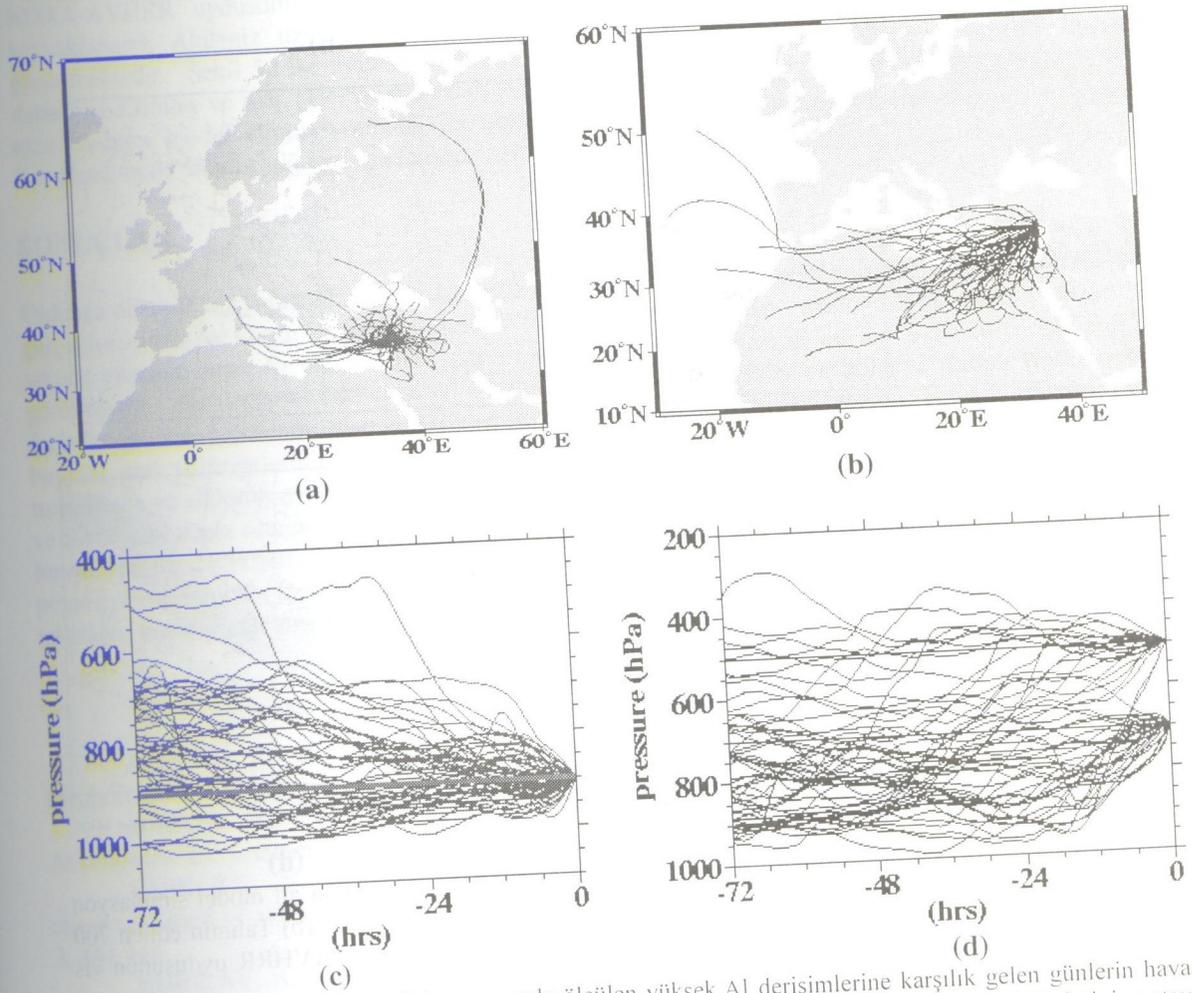
Yağış almayan aylar da (haziran, temmuz, ağustos ve eylül) partikül Al derişiminin aritmetik ortalaması ve median değerlerinin birbirine çok yakın olması bu aylar da Al derişiminin zaman içerisinde çok fazla değişmediğinin bir göstergesidir. Ocak, şubat ve aralık aylarında en düşük ortalama partikül Al derişiminin gözlenmesi bu ayların en fazla yağışı alması dolayısı ile atmosferdeki

partikül  
mart, r  
aldıkları  
değişim  
Afrika  
Küçük  
mineral  
elemen  
duyarlı  
koşullar  
kaynak  
göstern  
göstern

70°N  
60°N  
50°N  
40°N  
30°N  
20°N  
20°W  
400  
600  
800  
1000  
pressure (hPa)

Şekil 4. İ  
kütlelerin  
düzlemde  
düzlemde  
(d)700 ve

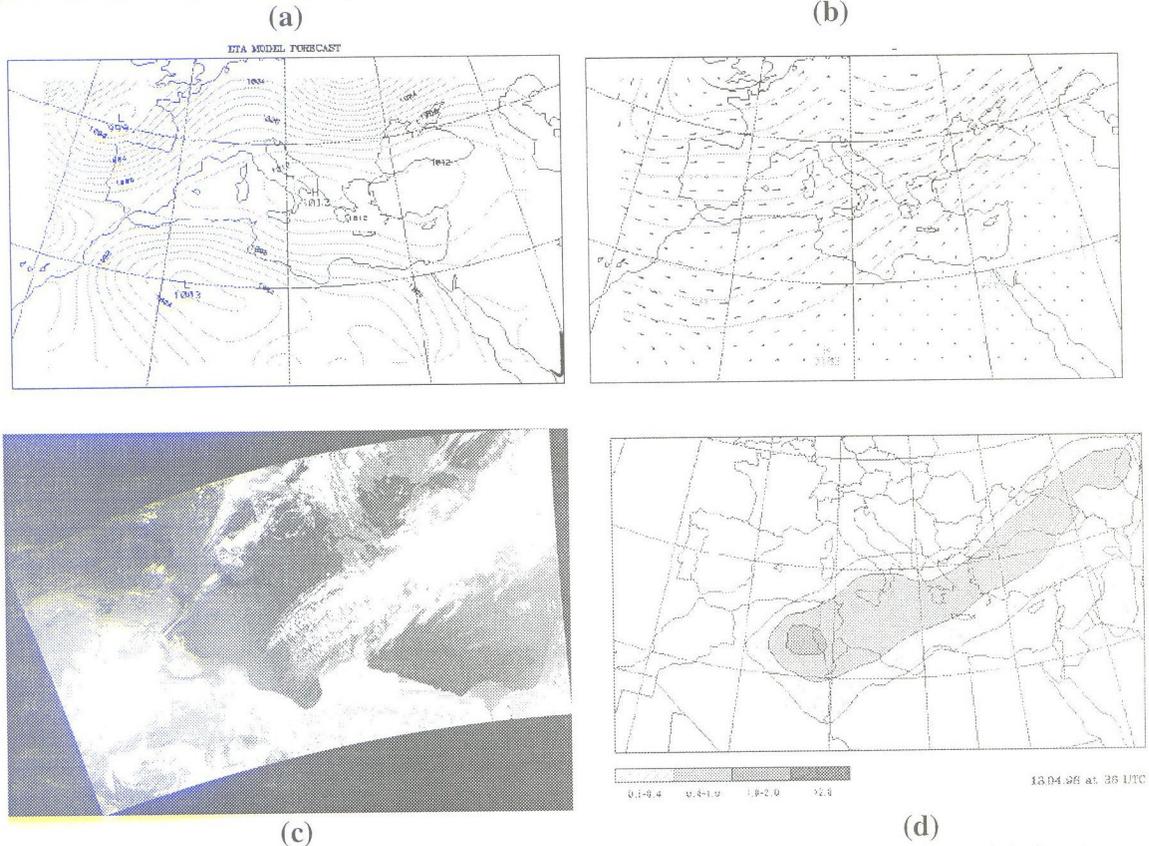
partiküllerin yıkanmasıdır. Aylık aritmetik ortalama ve median değerlerin arasında en büyük fark mart, nisan ve mayıs aylarında gözlenmektedir. Bu ayların kış aylarına nisbeten daha az yağış aldıkları (bkz. Şekil 3b) göz önünde tutulursa partikül Al derişiminin bu aylar içerisindeki zamansal değişimini etkileyen tek unsurun yağışlar olmadığı anlaşılır. Akdeniz'in güney ve güneydoğu sınırları Afrika kıtasındaki Sahra Çölü ile Asya kıtasındaki Suudi Arabistan ve Suriye çölleri ile kuşatılmıştır. Küçük ve kapalı bir havza olması nedeni ile Akdeniz, komşusu olan ve mineral toz açısından (ki bu mineral tozun atmosferdeki en iyi izsürücü elementleri Al, Si, Fe ve Ca gibi toprak kaynaklı elementlerdir) son derece zengin bu kaynaklardan atmosferik taşınım ile aktarılan toz girdisine oldukça duyarlıdır (Ganor, 1994; Moulin ve diğ., 1998; Kubilay ve diğ., 2000). Bölgedeki klimatolojik koşullar da hava kütlelerinin sistematik olarak özellikle ilkbahar aylarında kuzey Afrika üzerinden kaynaklanan ve beraberinde mineral toz taşıma kapasitesine sahip olan Saharav siklonlarının geçişini göstermektedir (Alpert ve diğ., 1990). Bu çalışmada Al derişimi atmosferik mineral toz yükünün göstergesi olarak kullanılmıştır. İlkbahar aylarında ölçülen  $1000 \text{ ng m}^{-3}$  Al derişimi, doğu Akdeniz



Şekil 4. İlkbahar aylarında Erdemli istasyonunda ölçülen yüksek Al derişimlerine karşılık gelen günlerin hava kütlelerinin üç günlük geri yörüngeleri. (a)900 hPa basınç seviyesinde Erdemli'ye ulaşan hava kütlelerinin yatay düzlemdeki yörüngeleri; (b)700 ve 500 hPa basınç seviyelerinde Erdemli'ye ulaşan hava kütlelerinin yatay düzlemdeki yörüngeleri; (c)900 hPa basınç seviyesinde Erdemli'ye ulaşan hava kütlelerinin dikey hareketleri; (d)700 ve 500 hPa Basınç seviyelerinde Erdemli'ye ulaşan hava kütlelerinin dikey hareketleri.

atmosferinde Sahra çöl tozlarının varlığını gösteren kimyasal izleyicinin eşik değeri olarak kabul edilmiştir. Bu günlerde Erdemli istasyonuna 900 hPa basınç seviyesinde ulaşan hava kütlelerinin yörüngelerinin hemen hemen tamamı Afrika dışındaki kaynakları göstermektedir (Şekil 4a). Aynı günlerde atmosferin daha üst seviyelerinde (700 ve 500 hPa) Erdemli'ye ulaşan hava kütlelerinin tamamı ise Kuzey Afrika'dan kaynaklanmaktadır (Şekil 4b)

Aynı hava kütlelerinin dikey yöndeki hareketleri incelendiğinde 900 hPa basınç seviyesinde Erdemli'ye ulaşan hava kütlelerinin alçalarak (antisiklonik) hareket ettiği gözlemlenirken 700 ve 500 hPa'da Erdemli'ye ulaşan hava kütlelerinin yükselerek (siklonik) hareket ettiği görülmüştür (bknz. Şekil 4c ve 4d). Ayrıca Erdemli'ye yüksek seviyelerde ulaşan bu hava kütlelerinin Afrika üzerinde iken yere yakın seviyelerde olmaları bu hava kütlelerinin yerden çöl tozu kaparak yükselmiş olduklarını göstermektedir. Bu tip hareketler, atmosferde cephelerin varlığını göstermektedir. Atmosferik cephelerin bulunduğu bölgelerde yağışların ve dikey yöndeki hareketlerin artması beklenir. Bu da atmosferin üst tabakalarında uzun mesafeli taşınan mineral tozun yağış ve kuru çökme mekanizmaları ile yer yüzeyine çökmesine neden olmaktadır.



**Şekil 5.** 14 Nisan 1998 Erdemli istasyonunda gözlenen mineral toz taşınımına ait model simulasyon sonuçları ve uydu fotoğrafı. (a) Tahmin edilen deniz seviyesi basınç dağılımı, (b) Tahmin edilen 700 hPa atmosfer seviyesindeki rüzgarlar ve eşdeğer basınç eğrileri, (c) NOAA-AVHRR uydusunun vis kanalından alınan resim, (d) Tahmin edilen toz dağılımı

Burada sunulan örnekleme süresi içerisinde mart, nisan ve mayıs aylarında toplam 164 örnek toplanmış ve Al analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu örneklerin 64'nün Al derişimlerinin median değeri  $1412 \text{ ng m}^{-3}$  olup aritmetik ortalama değeri yaklaşık iki mislidir ( $3422 \text{ ng m}^{-3}$ ). Kalan 100 örneğin

median değeri  $300 \text{ ng m}^{-3}$  olup aritmetik ortalama değeri  $325 \text{ ng m}^{-3}$  tür ve kış ayları ortalamasına çok yakındır.

Erdemli'de olduğu gibi kıyı bölgelerinde bulunan örnekleme istasyonlarından elde edilen veriler tek bir noktayı temsil ettikleri için sonuçların tüm basen ölçeğine yayılması hatalıdır. Bu nedenle atmosfer yolu ile denizler üzerine taşınan ve deniz yüzeyine çöken materyalin (uzun mesafeli taşınan çöl tozunda olduğu gibi) bölgesel etki alanlarının belirlenmesi amacı ile sayısal modelleme ve uydu gözlemleri kullanılmalıdır.

14 Nisan 1998 tarihinde Erdemli istasyonunda yüksek Al derişimi gözlenmiş ( $7554 \text{ ng m}^{-3}$ ) ve hava kütlelerinin yörüngeleri kontrol edilerek bölgeye Sahra çölünden mineral toz taşındığı anlaşılmıştır. Model simülasyonu ile 14 Nisan 1998 saat 12:00 için tahmin edilen deniz seviyesindeki basınç dağılımı Afrika üzerinde alçak basınç merkezinin varlığını doğrulamaktadır (Şekil 5a). Ayrıca serbest troposferde ( $700 \text{ hPa}$ ) batı Afrika üzerindeki rüzgarların orta Akdeniz üzerinden geçerek Karadeniz'e doğru estiği ve atmosfer yolu ile adı geçen denizler üzerine çöl tozu taşımaya elverişli bir meteorolojik yapı gösterdiği model tahmin sonuçlarında görülmüştür (Şekil 5b). 14 Nisan 1998 saat 12:00 da NOAA-AVHRR uydusunun görünür kanalından kaydedilen resim (Şekil 5c) Afrika üzerinden kaynaklanarak Akdeniz uzeinden geçen siklonik yapının su bulutunu ve taşıdığı mineral tozu göstermektedir. Şekil 5d ise model ile tahmin edilen toz bulutu dağılımını göstermektedir. Ayrıca daha önce Kubılay ve Ark. (1995) tarafından yer ölçümleri ile gösterilmiş olan Karadeniz'e Sahra çölü tozu taşınımı model simülasyonunda da görülmektedir. Bu ise yalnız Doğu Akdeniz in değil Karadeniz in de Sahra Çölü tozlarına maruz kaldığının işaretidir.

## SONUÇLAR

Oldukça dinamik bir yapısı olan doğu Akdeniz atmosferinde zaman serisi partikül Al derişimi ölçümü gerçekleştirilmiş ve kontrol eden meteorolojik faktörler incelenmiştir. Atmosferdeki mineral tozun iz sürücü elementi olan Al elementinin gün ve mevsim bazında önemli ve ani değişimler gösterdiği görülmüştür. Bu değişimi etkileyen en önemli parametreler yağışlar ve bölgeye Sahra siklonu ile darbeler (episod) biçiminde taşınan Afrika çölünden kaynaklanan mineral tozdur. Hava kütlelerinin üç boyutlu geri yörüngelerinin yardımı ile Sahara çöl tozunun doğu Akdeniz'e taşınımının serbest troposferde ve siklonik geçişler esnasında olduğu gösterilmiştir. Bu tozlar Al elementinin yanısıra Fe ve fosfat gibi deniz ortamındaki birincil üretimi sınırlayıcı besin tuzları da zengindir. Dolayısı ile bu mineral toz deniz yüzeyine çökeldiğinde ortamdaki mikroskobik canlıların üretimini etkileyebilme potansiyeline sahiptir. Bu olasılığı araştırmak için toz taşınım modeli ve uydu ile uzaktan algılama teknikleri kullanılarak atmosfer yolu ile taşınan tozun bölgesel ölçekte etki alanı incelenmiştir.

## KAYNAKLAR

- ALPERT, P., B. U. NEEMAN and Y. SHAY-EL, 1990: Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus, Ser. A.*, 42, 65-77.
- GANOR, E., 1994: The frequency of Saharan dust episodes over Tel Aviv, Israel. *Atmospheric Environment*, 28, 2867-2871.
- KUBILAY, N., S. YEMENİCİOĞLU and A. C. SAYDAM, 1994: Trace metal characterization of airborne particles from the Northeastern Mediterranean. *Fresenius Environ. Bull.*, 3, 444-448.
- KUBILAY, N. and C. SAYDAM, 1995: Trace elements in atmospheric particulates over the Eastern Mediterranean; Concentrations, sources, and temporal variability. *Atmospheric Environment*, 29: 2289-2300.
- KUBILAY, N., S. YEMENİCİOĞLU and A. C. SAYDAM, 1995: Airborne material collections and their chemical composition over the Black Sea. *Mar. Poll. Bull.*, 30, 475-483.

KUBİLAY, N.N., A.C. SAYDAM, S. YEMENİCİOĞLU, G. KELLING, S. KAPUR, C. KARAMAN and E. AKÇA, 1997: Seasonal chemical and mineralogical variability of atmospheric particles in the coastal region of the Northeast Mediterranean. *Catena*, 28: 313-328.

KUBİLAY, N., S. NICKOVIC, C. MOULIN and F. DULAC, 2000: An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 34/8, 1293-1303.

MOULIN, C., E. LAMBERT, U. DAYAN, V. MASSON, M. RAMONET, P. BOUSQUET, M. LEGRAND, Y. J. BALKANSKI, W. GUELLE, B. MARTICORENA, G. BERGAMETTI and F. DULAC, 1998: Satellite climatology of African dust transport in the Mediterranean atmosphere. *J. Geophys. Res.* 103, 13137-13144.

NICKOVIC, S. and S. DOBRICIC., 1996: A model for long-range transport of desert dust. *Monthly Weather Review*, 124, 2537-2544.