SUBTROPİK ATLANTİK VE DOĞU AKDENİZ'DE NİSAN 1994 YARIMKÜRESEL TOZ FIRTINASI:OLUŞMA KOŞULLARI VE TAŞINIMIN MODELLENMESİ

Emin ÖZSOY[1], Nilgün KUBİLAY[1], Slobodan NICKOVIC[2] ve Cyril MOULIN[3]

[1]ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, P.K. 28, Erdemli, İçel
[2]Euro-Mediterranean Centre on Insular Coastal Dynamics,
Foundation for International Studies, University of Malta, Valletta, Malta
[3]Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (CEA/CNRS),Gif-sur-Yvette, France

ÖZET

Akdeniz, Kızıldeniz, Hint ve Atlantik Okyanusu'nun geniş bir bölgesini etkileyen Sahra tozlarının atmosfer ile taşınımı, ülkemizin güney kıyılarında da sıklıkla etkili olmaktadır. Kuzey Afrika'da Nisan 1994'te gerçekleşen bir toz fırtınası, bölgemizde ve Atlantik Okyanusu'nun bazı bölgelerinde ölçülmüş en büyük toz derişimlerine yol açmıştır. Bu toz fırtınasının kaynaktan çok uzaklarda bile yüksek toz derişimlerine neden olduğu gözönüne alındığında, olayın önemli küresel bağlantıları ve iklimsel ilişkileri ortaya çıkar. Bu amaçla geniş bir alanda elde edilmiş gözlemler de kullanılarak, bu yarıküresel toz fırtınası, dinamiksel denklemlerin yanısıra toz taşınımını da içeren bölgesel bir atmosferik model ile benzeştirilmiştir. Olayın Atlantik'teki bloklanma mekanizması ve troposferin yukarı seviyelerinde çarpışan cetlerle ilişkileri saptanmıştır. Yüzey diverjansı ve siklon oluşumuna bağlı yüzey gerilimleri ile havaya kaldırılan tozlar siklon hareketi ile Doğu Akdeniz ve Balkan yarımadasına, 'Trade Winds' sistemi üzerinde yer alan rüzgarlarla subtropik Atlantik Okyanusu'na taşınmaktadır. Uydu verileri ile tozun kaynağı ve taşınımı izlenerek, model sonuçları doğrulanmıştır.
Anahtar sözcükler: Sahra tozu, uzun mesafeli taşınım, sayısal model, uzaktan algılama.

A HEMISPHERIC DUST STORM AFFECTING THE SUB-TROPIC ATLANTIC AND THE EASTERN MEDITERRANEAN (APRIL 1994): ANALYSES, MODELLING, GROUND-BASED MEASUREMENTS AND SATELLITE OBSERVATIONS

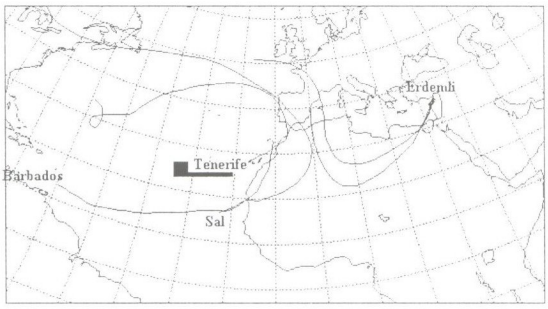
ABSTRACT

Atmospheric transport of Sahara dust affecting the Mediterranean, Red Sea and large areas of the Indian and Atlantic Oceans is also effective at the southern coast of our country. A dust storm occurred at the northern Africa in April 1994 has caused the ever-measured highest concentrations in the atmosphere of our region and some of the stations at the Atlantic Ocean. This dust storm, creating one of the largest recorded dust events away from the source is shown to be connected with large-scale anomalous circulation and carrying signatures of large amplitude climatic fluctuation. Accordingly, April 1994 dust event is studied through combined analyses and interpretation of ground based measurements and numerical modelling. It has been shown that the large-scale anomalous circulation is connected with an Atlantic blocking event and upper air jet interactions. Dust storm resulting from the increased surface wind stress over the northern Africa has been transported with cyclonic motions to the eastern Mediterranean and Balkan and with 'Trade Wind' system to the subtopic Atlantic Ocean. Available satellite data confirm the modelling results.
Key words: Sahara dust, long range transport, numerical modelling, remote sensing.

GİRİŞ

Kuzey Afrika ve Asya kıtalarının kurak bölgelerinden kaynaklanan çöl tozlarının atmosferde uzun mesafele taşınması ve kara ve okyanus yüzeylerine çökelmesi iyi bilinen bir olgudur. Birbirinden çok ayrı koşullara tabi olan Akdeniz ve Sub-tropik Atlantik bölgelerine Büyük Sahra'dan gerçekleşen toz taşınımı yıllar arası benzer sıklık ve eğilim göstermektedir. Uydu verileri ile elde edilen iklimsel değişkenlik her iki bölgede benzerlik arzetmekte ve Kuzey Atlantik Salınımı (North Atlantic Oscillation, NAO) indeksi ile bağlantılı görünmektedir (Moulin ve Ark., 1997).

Sahra Çölü tozlarının Doğu Akdeniz'e taşınımı meterolojik analizler, uydu verileri ve sayısal model simulasyonları aracılığı ile ve Erdemli istasyonundan elde edilen ölçüm verilerinin ışığında Kubilay ve Ark. (2000) tarafından irdelenmiştir. Kuzey Afrika'dan kaynaklanan çöl tozlarının atmosferik taşınımla özellikle ilkbahar aylarında (Mart, Nisan ve Mayıs) Doğu Akdeniz bölgesine ulaştığı ve toplam aerosol komposizyonunun baskın bileşeni olduğu yukarıdaki yayınlarda gösterilmiştir. Burada detaylı olarak incelediğimiz toz olayı, Nisan 1994'de Erdemli'de görüş mesafesinin aşırı derecede azalmasına neden olan ve literatürden elde ettiğimiz bilgilere göre etki alanı Sub-tropik Atlantik'e kadar uzanan uzun mesafeli çöl tozu taşınımıdır. Li ve Ark. (1996) Nisan 1994'de Barbados Adası'nda ölçtükleri toz miktarının son 30 yıldaki sürekli ölçüm değerlerine göre en yüksek değerlere ulaştığını göstermişler ve Sub-tropik Atlantik gibi çöl tozlarının sürekli etkisi altında bulunan bölgelerde, bu tozların iklimsel etkisinin önemli olacağını öne sürmüşlerdir. Nisan ayının ilk yarısında hem Akdeniz'de (Erdemli) ve hem de subtropik Atlantik'de (Barbados, Sal ve Tenerife adaları) yüksek toz ölçümü yapılan günler için hesaplanan hava kütlelerinin yörüngeleri, bu bölgelerin Kuzey Afrika kaynaklı hava kütlelerinin etkisinde olduğunu göstermektedir (Şekil 1)



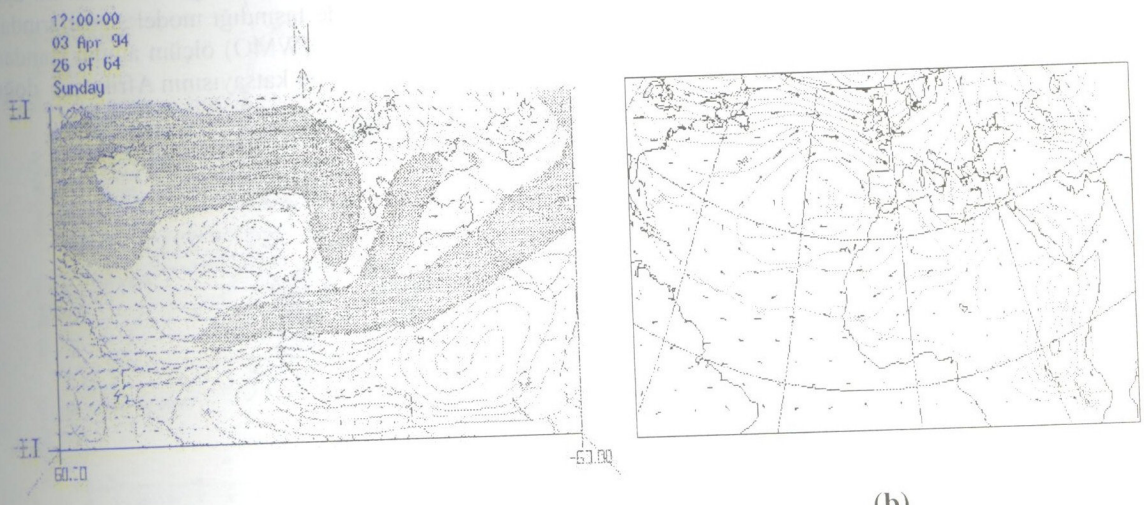
Şekil 1. Erdemli, Tenerife, Sal ve Barbados'a ulaşan hava kütlelerinin geri yörüngeleri.

Ekim 1991-Aralık 1992 tarihleri arasında Erdemli istasyonunda toplanan 339 adet aerosol örneğinde ölçülen toz yükü 15.5±25 $\mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. Örnekleme dönemi boyunca toz yükü derişimi 0.25-279 $\mu g/m^3$ aralığında değişmektedir ve bu geniş derişim aralığı, ortalama derişimdeki yüksek standard sapmayı açıklamakta ve aynı zamanda tozun, Kuzey Afrika çöllerinden darbeler şeklinde taşındığını göstermektedir (Kubilay ve Ark., 2000). 6 Nisan 1994 'te Erdemli istasyonundan alınan aerosol örneğinde ölçülen toz yükü ise 1600 $\mu g/m^3$ tür. Bu yüksek değerler, Nisan 1994'ün ilk yarısında Sahra çölü üzerinde oluşan toz fırtınasının şiddeti ve bunun sonuncunda Erdemli'ye ulaşan toz miktarı hakkında ön bilgi vermektedir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Küresel atmosfer dinamiğinin, Nisan 1994'te kuzey Afrika üzerinde oluşan ve simultane olarak Sub-tropik Atlantik ve Doğu Akdeniz'e taşınan küresel toz taşınımı üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile ETA atmosferik modelinden elde edilen simulasyon verileri incelenmiştir. Şekil 2a'da 3 Nisan 1994 için 8.35 km yükseklikteki akım çizgileri (streamfunction) ve 0.5 km yükseklikteki rüzgar vektörleri gösterilmiştir. Şekil üzerindeki gölgelendirilmiş bölgeler serbest

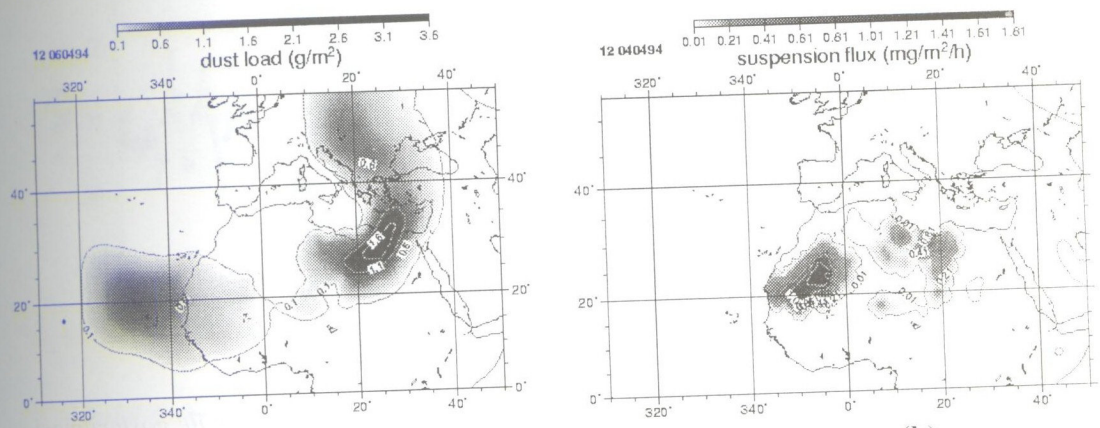
troposferde rüzgar hızının 30 m/sn den fazla olduğu yani sub-tropik ve polar cetleri göstermektedir. 'Low index circulation' diye bilinen ve Şekil 2a'da görülen olağanüstü durumlarda polar cetin kuzey güney doğrultusunda Afrika üzerine sarkarak subtropik cet ile çarpıştığı durumlar oluşur. Kuzay batı Atlantik'teki akımı bloke eden ve üst seviyelerde 'modon' şeklini alan yüksek basınç sistemi, iki cetin etkileşimini yaratan koşulları oluşturmaktadır.



(a) (b)

Şekil 2. 3 Nisan 1994 için ETA modelinden elde edilen meteorolojik koşullar.
(a) Serbest troposferdeki akımlar ve yüzeydeki rüzgar vektörleri.
(b) 850 hPa seviyesindeki kalınlık, sıcaklık ve rüzgar dağılımı.

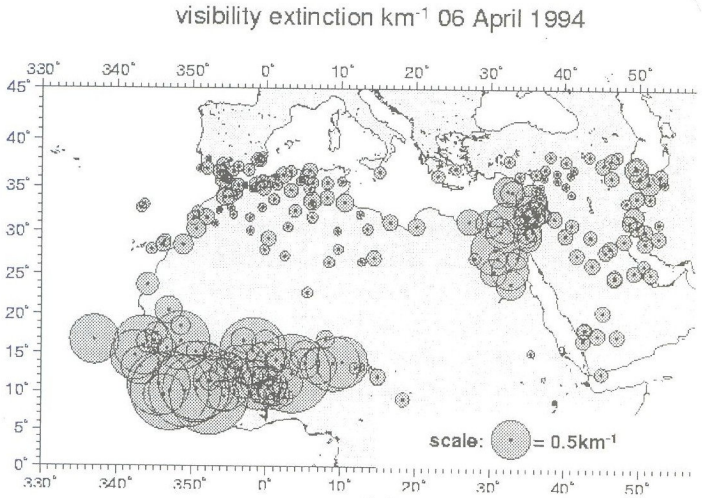
Atmosferin alt seviyelerindeki (850 hPa) atmosfer seviyesindeki durum ise (bknz. Şekil 2b) kuzeyden gelen soğuk ve az nemli hava akımının Akdeniz-Afrika üzerine indiği ve Afrika kıtası üzerinde cephe oluşturduğu görülmektedir. Afrika üzerinde oluşan ve kuzey-doğu yönünde hareket eden cepheler beraberlerinde çöl tozları da taşıyan 'Sharav' siklonları olarak adlandırılan sistemlerdir. Bu sistemlerin oluşmasına neden olan atmosferik dinamik koşullarından birisi de serbest troposferdeki cetlerin çarpışmasıdır (Alpert ve Warner, 1986).



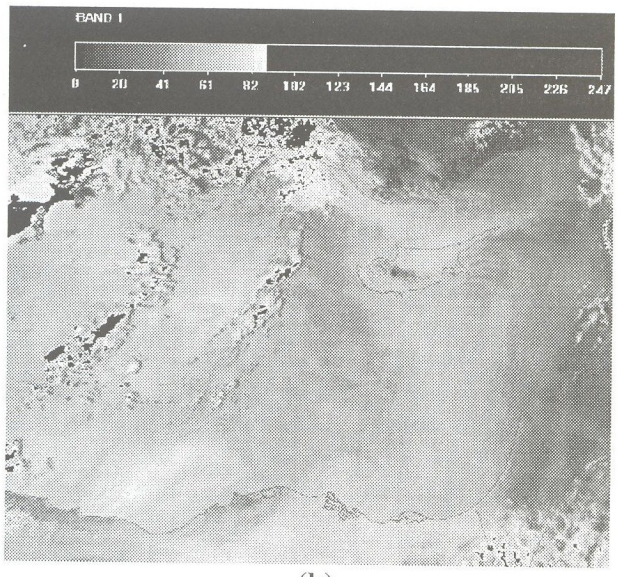
(a) (b)

Şekil 3. Nisan 1994 toz fırtınası için ETA modelinden elde edilen sonuçlar:
(a)6 Nisan 1994 tarihinde tozun atmosfer kolonundaki miktarı.
(b)4 Nisan 1994 tarihinde yerden kalkan çöl tozunun yüzey akısı.

Yukarıda açıklanan meteorolojik koşullar, kuzey batı Afrika üzerinde kum fırtınası oluşumuna ve atmosfere kalkan tozların iki ayrı kol halinde subtropik Atlantik ve doğu Akdeniz üzerine taşınmasına elverişli bir durum yaratmışlardır. 6 Nisan 1994 tarihi için ETA modelinden elde edilen toz dağılımı, Erdemli'de ölçülen yüksek derişiminin Sahra çölünden kaynaklanan tozların güney kıyılarımıza ulaştığını (Şekil 3a). Kuzeyden Afrika üzerine kayan polar cet ile bunun sonuncundaki fırtına koşullarının yarattığı yüzey geriliminin etkisi ile kuzeybatı Afrika ve doğu Afrika'da iki ayrı kaynaktan atmosfere toz kaldırıldığı ve Atlantik ve Akdeniz yönünde taşındığı model sonuçlarından görülmüştür (bknz. Şekil 3b). Ayrıca Dünya Meteoroloji Teşkilatının (WMO) ölçüm ağının standart bir parametresi olan görüş mesafesi verilerinden hesaplanan ışığın sönüm katsayısının Afrika ve doğu



(a)



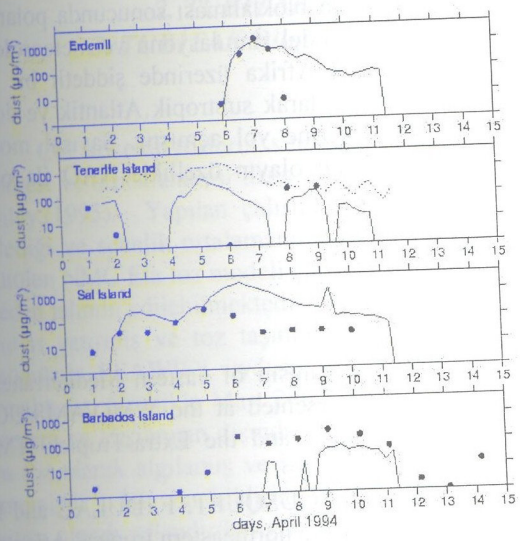
(b)

***Şekil 4**. 6 Nisan 1994 günü için çöl tozu taşınımının gerçek zamanlı bulgular ile gösterilmesi.*
(a)Işığın sönüm katsayısı.
(b)NOAA AVHRR radyometresinin görünür dalga boyunda alınan uydu resmi.

Akdeniz üzerinde gösterdiği yüksek değerler de, Afrika kıtası üzerinde oluşan toz fırtınasının bu iki bölgede görüş mesafesini düşürdüğünü göstermektedir (Şekil 4a). 6 Nisan 1994 tarihinde

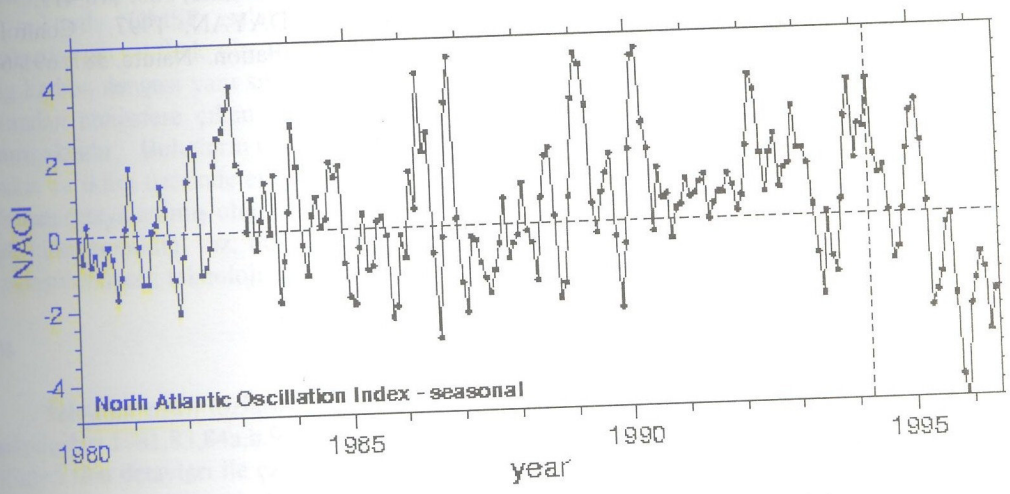
Erdemli, uzun dönemli ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldığında o tarihe kadar görülmemiş ölçülerde kesif bir toz bulutunun etkisinde kalmış ve havada uzun süre asılı kalan toz partikülleri görüş mesafesinin azalmasına neden olmuştur. Şekil 4b'deki uydu resminde toz bulutu Akdeniz'in doğu kıyıları boyunca uzanan gri alanlar şeklinde görülmektedir.

ETA modeli toz simulasyonunda yere en yakın atmosfer seviyesindeki toz derişimleri ile Erdemli, Tenerife Adası (R. Arimato sözlü görüşme), Sal adası (Chiapello ve Ark., 1997) ve Barbados Adası'nda (Li ve Ark., 1996) ölçümü gerçekleştirilen toz yüklerinin karşılaştırılması Şekil 5'de sunulmuştur. Dört ayrı istasyonda gözlenen kısıtlı sayıdaki (yuvarlak noktalar ile gösterilmiştir) toz derişimleri ile sayısal model simulasyonundan elde edilen toz derişimleri (çizgi ile gösterilmiştir) arasında genel bir uyum izlenmektedir.



Moulin ve Ark. (1997) tarafından NAO indeksi ile subtropik Atlantik ve Akdeniz bölgesine Sahra çölü üzerinden taşınan toz miktarı arasında klimatolojik zaman ölçeğinde pozitif bir korelasyon gösterilmiştir. Nisan 1994'te yarımküresel ölçekte bir atmosferik dolaşım anomalisinin bulunması ve aynı ölçeklerde olağanüstü miktarlarda bir toz taşınımı olayının gerçekleşmesi bu olayın NAO ile ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

Şekil 5. Model simulasyonu ile elde edilen toz derişimlerinin gözlem bulguları ile karşılaştırılması.



Şekil 6. North Atlantic Oscillation (NAO) indeksinin zaman serisi.

Şekil 6'da sunulan son yirmi yılın NAO indeksi değerleri, Mart ve Nisan 1994 (Şekil üzerinde düşey kesik çizgi ile belirtilmiştir) aylarında indeksin gerçekten yüksek değerlere (2.3 ve 3.6) ulaştığını ve son yirmi yıl içerisinde gözlenen maksimum sekiz değerlere karşılık geldiğini

göstermektedir. Bu sonuç, bu ölçekteki uzun mesafeli toz taşınımı ile NAO arasındaki bağlantıyı göstermektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, kuzey batı Atlantik üzerindeki atmosferik dolaşımın bloklanması sonucunda polar ve sub-tropik cetlerin Akdeniz-kuzey Afrika bölgesinde çarpıştığı, model simulasyonu ve meteorolojik verilerin incelenmesi ile gösterilmiştir. Ve bunun sonuncunda, Afrika üzerinde şiddetli bir toz fırtınasının oluşumuştur. Bu toz iki ayrı bulut halinde simultane olarak subtropik Atlantik ve doğu Akdeniz'e taşınmış ve bu bölgelerde yüksek çöl tozu derişimlerine yol açmıştır. Sayısal model sonuçları ve gerçek zamanlı gözlemler karşılaştırılarak izlenen bu olayın özellikle NAO ile olan iklimsel bağlantıları da ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

ALPERT, P. and T. T. WARNER, 1986. Physical mechanism of eastern Mediterranean cyclogenesis- A numerical study.Extended Abstracts of papers presented at the WMO/AMS/UCS International Workshop on Rain-Producing Systems in the Tropics and the Extra-Tropics. TMP Report Series No.22, page 95-99.

CHIAPELLO, I., G. BERGAMETTI, B. CHATENET, P. BOUSQUET, F. DULAC and E. SANTOS SOARES, 1997. Origins of African dust transported over the northeastern tropical Atlantic. J. Geophys. Res., 102, 13701- 13709.

KUBİLAY, N., M. KOÇAK, E. ÖZSOY ve A. C. SAYDAM, 2000. Doğu Akdeniz atmosferinde partikül Al değişimi ve kontrol eden meteorolojik faktörler. 1. Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı, 30 Mayıs – 2 Haziran, Ankara. Bildiri Özetleri Kitapçığı, sayfa no: 3-4.

LI, X., H. MARING, D. SAVOIE, K. VOSS and J. M. PROSPERO, 1996. Dominance of mineral dust in aerosol light scattering in the North Atlantic trade winds. Nature, 380, 416-419.

MOULIN, C., C. E. LAMBERT, F. DULAC AND U. DAYAN, 1997. Control of atmospheric export of dust from North Africa by the North Atlantic oscillation. Nature, 387, 691-694.