

Kuzeydoğu Akdeniz'de Kızıl Yağmurlar

Türkan ÖZSOY^{1*}, Sermin ÖRNEKTEKİN²

¹Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Çiftlikköy Kampüsü, 33343 Mersin-TÜRKİYE

²Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Tayfur Sökmen Kampüsü, 31034 Antakya-TÜRKİYE

*Corresponding author: tozsoy@mersin.edu.tr

Özet

Kuzeydoğu Akdeniz Bölgesi özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında episodik olarak Sahra Çölü ve Arap Yarımadası kaynaklı mineral toz taşınımının etkisi altındadır. Yüksek demir oksit içerikli, kızıl sarı-kızıl kahve renkli mineral toz, hava hareketleriyle taşınmasını takiben yıkanarak (yağ çökme) veya yer çekimi ile (kuru çökme) yer yüzeyine ulaşmaktadır. Doğu Akdeniz kıyısındaki Mersin'de Aralık 2003-Aralık 2004 dönemini kapsayan bir yıllık sürede toplanan yağmur suları, kızıl toz içerikleri açısından incelenmiş, yağışlı günlerde bölgeyi etkisi altına alan hava kütlelerinin geri yörünge analizleri ile kızıl tozun kaynak bölgeleri belirlenmiştir. Bir yıl içerisinde bölgeye düşen yağışların yaklaşık ¼'ü "kızıl yağmur" niteliğindedir. Kızıl yağmurların ortalama iletkenlik değerleri, toz içermeyen normal yağmurlardan yaklaşık yedi kat; hacim ağırlıklı ortalama alüminyum derişimleri ise yaklaşık beş kat daha yüksek bulunmuştur. Yağmur sularındaki asidik anyonların mineral tozun yüksek kalsit içeriğince tamponlanmasına bağlı olarak, hacim ağırlıklı ortalama hidronyum iyonu derişimi ise onlarca kez azalmıştır. Atmosferdeki CO₂ gazının yağmur suyu içinde çözünmesi nedeniyle doğal yağmur suyu hafif asidiktir (pH ≈ 5,6). Bu çalışmada normal yağmurlar için hesaplanan ortalama pH değeri 6,09 iken kızıl yağmurlarda bu değer 7,27'ye yükselmektedir. Yağmur sularının alüminyum derişimlerinden yararlanarak yapılan hesaplamaya göre Mersin bölgesine 2004 yılı içerisinde yağ çökme yolu ile atmosferden taşınan toz miktarı 2,13 g m⁻² yıl⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu değere kuru çökme yolu ile taşınan toz miktarı da ilave edilecek olursa Mersin'e atmosferden taşınan toplam (yağ + kuru) toz miktarının yaklaşık 4,84 g m⁻² yıl⁻¹ olduğu sonucu çıkarılabilir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Doğu Akdeniz, elektriksel iletkenlik, kızıl yağmurlar, mineral toz.

Red Rain in the North-Eastern Mediterranean

Abstract

North Eastern Mediterranean is under the influence of sporadic dust transportation from desert sources in North Africa (The Great Sahara) and the Middle East (Arabian Peninsula) particularly during the spring and autumn. Mineral dust originated from these arid regions has characteristic reddish yellow-reddish brown color due to its high iron oxide content. Following atmospheric transport, mineral dust settles by either dry or wet (washout or rainout) deposition mechanisms. Precipitation samples collected at Mersin on the Eastern Mediterranean coast of Turkey during the period of December 2003-December 2004 have been investigated with respect to their red dust contents. Backward air mass trajectories corresponding to the rainy days were analyzed to determine potential source regions of red dust transported to the Northeastern Mediterranean. Approximately, ¼ of the total precipitation samples can be evaluated as "red rain". The mean electrical conductivity and the volume weighted mean Al concentration of red rain was found to be approximately seven times and five times higher than normal rain, respectively; while the dissolution of the calcite in dust has caused an order of magnitude decrease in the volume weighted mean hydrogen ion concentration of red rain, by neutralizing (buffering) the acidity of rainwater. Due to dissolution of atmospheric CO₂ in rainwater, natural precipitation is slightly acidic (pH ≈ 5.6). In this study, the volume weighted mean pH values were calculated to be 6.09 for normal rain and 7.27 for red rain. Using Al concentration of precipitation samples, wet deposition flux of mineral dust during 2004 was found to be 2.13 g m⁻² yr⁻¹. If dry deposition flux is added to this value, a total flux of 4.84 g m⁻² yr⁻¹ is found for atmospherically transported mineral dust.

Keywords: Aluminium, Eastern Mediterranean, electrical conductivity, red rain, mineral dust.

Özsoy T, Örnektekin S (2008) Kuzeydoğu Akdeniz'de Kızıl Yağmurlar. Ekoloji 18, 69, 20-31.

GİRİŞ

Kuzey Afrika'daki Sahra Çölü ile Arap

Yarımadası'ndaki Suudi Arabistan ve Suriye Çöllerinin Akdeniz atmosferindeki aerosollerin

Geliş: 24.04.2007 / Kabul: 23.07.2007

yapısını etkileyen en önemli potansiyel kaynak bölgesi olduğu literatürde açıkça gösterilmiştir (Dulac ve ark. 1992, Chester ve ark. 1993, Ganor 1994). Doğu Akdeniz bölgesinde özellikle son yıllarda atmosferik aerosollerin iyonik ve eser elementel kompozisyonuna yönelik oldukça fazla sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir (Kubilay ve Saydam 1995, Güllü ve ark. 1998, 2004, 2005, Herut 2001, Bardouki ve ark. 2003, Koçak ve ark. 2004a). Bu çalışmaların önemli bir bölümü de Doğu Akdeniz aerosollerinin özellikle ilkbahar ve sonbahar gibi (Mart, Nisan, Mayıs ve Ekim ayları) gibi geçiş mevsimlerinde Kuzey Afrika'dan zaman zaman oldukça yoğun ve darbeler şeklinde taşınan çöl tozunun etkisi altında kaldığını göstermektedir. (Kubilay ve Saydam 1995, Kubilay ve ark. 2000, Koçak ve ark. 2004b, 2005).

Akdeniz İklimi genelde yazları (Haziran-Eylül) sıcak ve kurak, kışları (Kasım-Şubat) ise ılık ve yağışlı olarak tanımlanır. Geçiş mevsimi olarak adlandırılan ilk ve sonbahar mevsimleri ise farklı uzunluklarda hüküm sürer. Kuzey Afrika siklonlarının sıklıkla meydana geldiği, kararsız ve değişken koşulların hakim olduğu kış mevsimlerini genelde oldukça uzun bir ilkbahar (Mart-Mayıs) mevsimi izlemektedir. Bunun tersi durumda ise ilkbahar mevsimi daha çok yaz mevsimini andırmaktadır. Sonbahar ise sadece bir ay (Ekim) süre ile etkisini hissettirir (Brody ve Nestor 1980, Özsoy 1981, Milliman ve ark. 1992). Sonbahar ve kış mevsimlerinde (Kasım-Nisan) Doğu Akdeniz bölgesine ulaşan alçak basınç alanları, genellikle Ege Denizinin güneyi ile Kıbrıs Adası yakınlarında oluşurlar. Aynı dönemde Orta Avrupa, ya da Balkanlar üzerine yerleşen soğuk bir yüksek basınç merkezi ile birlikte hareket eden, antisiklonik bir dolaşım meydana gelir. Özellikle, Aralık-Şubat ayları arasında ise siklonlar genel olarak Akdeniz'in kuzey kesimi boyunca uzanan bir yol izler (Alpert ve ark. 1990). Bazen, Atlantik üzerinde oluşan derin bir alçak basınç alanı Kuzey Afrika üzerine sarkarak Güneybatı yönünden Akdeniz üzerinde şiddetli bir hava akımına neden olur (Dayan ve Miller 1989) ve bu oluşumlara bağlı olarak Ekim-Mayıs ayları arasında Sahra üzerinden Akdeniz'e doğru hareket eden toz fırtınaları meydana gelir (Bucher 1989). Güney ya da Güneydoğudan, Sahra ve Arap çöllerinden esen ve toz taşıma kapasitesine sahip rüzgarlar "sirocco" adıyla bilinmektedir. Akdeniz boyunca doğuya yönelmiş siklon geçişlerinin

yaratığı bu rüzgarlar genelde bahar aylarında, çöllerin ısındığı ve Akdeniz siklonlarının şiddetlendiği dönemlerde varlığını göstermektedir. Sirocco akımları Akdeniz'i geçerken soğur ve nemle yüklenir, Avrupa'nın güney kıyılarına ulaştığında ise bunaltıcı ve nemli bir atmosfer yaratırlar. Alçak basınç alanları ile birlikte hareket eden cephe sistemlerinin geçişi esnasında rüzgar yönünde ani değişimler, sıcaklıkta belirgin bir azalma, barometrik basınçta düşüş ve yağmur şeklinde çökme görülür. Böyle bir sistemle birlikte taşınan toz, demir içeriği bakımından zengin oluşu nedeniyle kızıl renkte olup bu taşınımına paralel meydana gelen yağmurlar "kızıl yağmur" olarak adlandırılmaktadır. Bu yağmur suları süzülürken filtre kağıdı üzerinde toplanan materyal son derece ince partikül boyutundaki mineral tozlardan oluşmakta ve adeta çamuru andırmaktadır. Kızıl yağmurlar, ya da çamur yağmurları Avrupa'da oldukça uzun zamandan beri bilinen bir konudur ve çıplak gözle tespit edilebilmektedir. Yağmur damlaları alıcı yüzeyler üzerinde (arabaların üzeri hatta kar kaplı yüzeylerinde bile) kızıl lekeler yaratmaktadır ve bu durum literatürde açıkça belirtilmiştir (Avila 1996, Avila ve ark. 1998, Avila ve Penuelas 1999; Özsoy ve Saydam 2000).

Çöl tozunun atmosferik yollarla taşınımını anlamada ve göstermede hava kütlelerinin üç boyutlu geri yörüngeleri geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu yörüngelerin dikey yöndeki bileşeni, tozun ancak ve ancak üst barometrik seviyelerdeki (500 veya 700 hPa gibi) hava akımının coğrafik kaynak bölgede yer seviyesine indiği durumlarda gerçekleştiğini ortaya koymuştur (Kubilay 1996). Mineral tozun kaynak bölgeden havalandırarak uzun mesafeli taşınımına uğrayabilmesi için kaynak bölge üzerinde yer seviyesine alçalan üst barometrik seviyelerdeki hava akımlarının daha sonra atmosfer kolonunda yükselerek hareket etmesi (siklonik geçiş) gerekmektedir. Bu tür kurak bölgelerden kaynaklanan çöl tozu atmosfer yolu ile uzun mesafelere taşındıktan sonra çökelediği karasal ve sucul eko-sistemler üzerinde olası birtakım etkiler yaratmaktadır.

Kuzeybatı Akdeniz'de EROS-2000 projesi kapsamında beş yıl süren araştırmalarda, atmosferden denize çökelen materyalin %90'ının Sahra Çölünden kaynaklanan mineral toz olduğu bulunmuştur (Martin ve ark. 1989). Aynı bölgede 16 ay boyunca toplanan aerosol örneklerinde eser

element analizleri yapılmış ve atmosferik yollardan denize taşınan element miktarlarının, Rhone Nehri ile taşınan miktarlara hemen hemen eşit olduğu görülmüştür (Guieu ve ark. 1991). ODTÜ-DBE (Deniz Bilimleri Enstitüsü)'den 1991-1992; 1996-1998 ve 1999-2002 tarihleri arasında toplanan aerosol örneklerinin eser element derişimleri, minerolojik bileşimleri ve eş zamanlı hava kütlelerinin yörüngeleri, uzaktan algılama verileri ve uzun mesafeli atmosferik toz taşınım model sonuçları ile birlikte incelenmiş ve benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Kubilay ve ark. 2001, Koçak ve ark. 2005) Bölgedeki klimatolojik koşullar da hava kütlelerinin özellikle ilkbahar aylarında Kuzey Afrika üzerinden sistematik olarak toz taşınmasına elverişlidir. Doğu Akdeniz bölgesi için hava kütleleri sonbahar aylarında daha ziyade Suudi Arabistan ve Ürdün üzerinden kaynaklanırken (Alpert ve ark. 1990) Batı Akdeniz bölgesi için hava kütleleri çoğunlukla yaz aylarında aynı bölgeden kaynaklanmaktadır (Moulin ve ark. 1998). Neticede gerek Batı gerekse Doğu Akdeniz Bölgesine atmosferik yollarla önemli miktarlarda çöl tozu taşınmaktadır. Batı Akdeniz'de 11 yıllık izleme çalışması sonucunda atmosferik toz taşınım hızının ortalama $5,3 \text{ g m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ (Avila ve ark. 1996) olduğu, Doğu Akdeniz'de ise 1992 yılı için $13 \text{ g m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ (Kubilay ve ark. 2000) olduğu bildirilmiştir. Doğu Akdeniz'de daha yakın bir zamanda (1999-2002) gerçekleştirilen bir çalışmada ise rapor edilen alüminyumun kuru çökme hızına ($520 \text{ mg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$) (Koçak ve ark. 2005) dayanılarak yapılan hesaplama bölgede dört yıllık toplam toz taşınım hızı ortalamasının $11,3 \text{ g m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği Mersin İl Merkezi Meteoroloji İstasyonundan alınan uzun dönemli verilere göre bölgede yıllık ortalama yağış miktarı 593,7 mm, yağışlı gün sayısı ise 62 olup en fazla yağış Aralık ayında en az yağış ise Ağustos ayında düşmektedir (Anonymous 2006a). Mersin'de 50 yıllık gözlem döneminde en fazla yağış 2001 yılının Aralık ayında gerçekleşmiş ve yaşanan sel felaketi esnasında üç gün içerisinde m^2 'ye düşen yağış miktarı 677,4 kg'a ulaşmıştır (Mersin Meteoroloji İl Müdürlüğü). Bunun dışında ölçülen en yüksek günlük yağış 24 Ocak 1984 de 109 mm'dir. Mersin'de önemli bir kuraklık olayı yaşanmamıştır. Kaydedilen en düşük yıllık yağış miktarı ise 1982 yılında 209,4 mm olup, bu miktar ortalama yağıştan yaklaşık %65 oranında daha düşüktür.

Bu çalışmada, Mersin'de mevcut hava kirliliğini saptamak ve izlemek için dört ayrı istasyondan toplanan yağmur sularında ölçülen çeşitli parametrelere pH, elektriksel iletkenlik ve toplam alüminyum (Al_t) derişimlerinden yararlanılarak bölgeye yağın kızıl yağmurların bir değerlendirmesi yapılmıştır. Aralık 2003-Aralık 2004 arasındaki bir yıllık sürede Mersin'e yağın her yağmur örneklenmiş ve yine yağışlı günlerde bölgeyi etkisi altına alan hava kütlelerinin üç günlük-üç boyutlu geri yörüngeleri ECMWF (Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi) atmosfer modeli yardımı ile hesaplanarak kızıl tozun kaynak bölgeleri belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Yağmur Örnekleme

Mersin, 800 000 nüfuslu; 2004 yılı ortalarına kadar faaliyet gösteren bir petrol rafinerisi ve günümüzde halen kullanılan petrol depolama tesisleri, termal güç santrali, soda, krom, gübre ve cam endüstrisi gibi pek çok sanayi dalını bünyesinde barındıran bir kentimizdir. Endüstriyel kuruluşlar kentin doğu yakasında yer almaktadır. Yağmur örnekleme için ikisi kent merkezinde (İst. 3 ve İst. 4) birisi ME.Ü. Çiftlikköy Kampusünde (İst. 1) bir diğeri de kentin yeni gelişen bir bölgesinde (İst. 2) olmak üzere dört farklı istasyon belirlenmiş ve bu amaçla elektrikle ısıtılan özel binaların çatıları kullanılmıştır. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) örnek kapları yağmurun kesilmesinden hemen sonra mümkün olan en kısa sürede ve kapakları kapatılmış bir şekilde ME. Ü. Çiftlikköy Kampusu'ndeki Lab.'a ulaştırılmıştır. Hacimleri ölçülen yağmur suları, analiz edilecek her parametreye uygun yöntemlerle alt örneklere ayrılmıştır. Al analizi için ayrılan örnekler 0.45 mm'lik membran filtre kağıdından (MFS Micro Filtration System, sellüloz asetat) süzildikten sonra analiz anına kadar, uygun yöntemlerle yıkanmış 250 mL'lik PET şişelerde ve $+4^\circ\text{C}$ 'da buzdolabında saklanmıştır. Örneklere koruma amacı ile pH 1-2 arasında kalacak miktarlarda derişik HNO_3 ilave edilmiştir. Yağmur sularının partikül fraksiyonunun toplandığı filtre kağıtları ise özel olarak yıkanmış petri kaplarına aktararak analiz anına kadar -18°C sıcaklıktaki derin dondurucuda saklanmıştır.

pH ve İletkenlik Ölçümü

pH ölçümü için ± 0.01 pH birimi duyarlılıkla ölçüm yapan, sıcaklık kontrollü bir pH-metre (Mettler Toledo MP 120) kullanılmıştır. Cihaz

belirli aralıklarla ve uzun bir süre kullanılmadı ise ölçüm öncesi tampon çözeltilere (pH 4.01, 7.01 ve 10.01) karşı kalibre edilmiştir. Elektriksel iletkenlik otomatik sıcaklık kontrollü bir iletkenlik-ölçerle (DİST H 198300/3(mS) ve /4(μ S) Conductivity /TDS Meter) ölçülmüş, cihaz her ölçüm öncesi standart bir çözeltiyle kalibre edilmiştir.

Verilerin kalite kontrolünde Standart Referans Madde olarak Dünya Meteoroloji Örgütünün (WMO-World Meteorological Organization) Kalite Kontrolü/Bilim Aktivite Merkezi (QA/SAC-Quality Assurance/Science Activity Center) tarafından Laboratuvarımıza gönderilen 30. interkalibrasyon programı simüle asit yağmuru örnekleri kullanılmıştır. Bu örneklerin analizinden elde edilen sonuçlar doğru değerlerle karşılaştırılarak bağıl hata hesaplanmış, pH ve elektriksel iletkenlik için analitik doğruluk %3,7'nin altında bulunmuştur.

Alüminyum Ölçümleri

Örneklerin çözünmüş (Al_s) ve partikül (Al_p) fraksiyonlarında Al analizleri yapılmıştır. Bu amaçla yağmur sularının partikül fraksiyonlarının toplandığı membran filtre kağıtları MKÜ Merkez Araştırma Lab.'ında bulunan Mikrodalga fırında (MARS 5, Microwave Accelerated Reaction System, CEM Microwave Technology Ltd.) digest edilmiştir (Anonymous 1995). Mikrodalga fırının güç ve süre ayarında yapılan modifikasyonlarla birlikte filtre kağıtları HF ve kral suyu (1:3 v/v HNO_3 ve HCl) karışımında parçalandıktan sonra de-iyonize su ile 50 mL'ye seyreltilmiştir. Al analizleri için MKÜ Merkez Araştırma Lab.'ında bulunan Varian Liberty II Model ICP-AES kullanılmıştır. Kalibrasyonda kullanılan standart çözeltiler, günlük olarak 1000 mg L^{-1} derişimli MERCK CertiPUR ICP multi-element Stok Standard çözelti IV'den seyreltilerek hazırlanmıştır. Laboratuvar Blank'lerine ek olarak örnekleme dönemi boyunca tüm istasyonlardan aralıklarla 5'er adet Saha Blank örnekleri alınmış ve bunlar da yağmur örneklerine uygulanan yöntemlerle analiz edilmişlerdir. Al analizlerinde tayin edilebilen en küçük derişim ($2,0 \mu g L^{-1}$) blank ölçümlerinin standart sapmasının üç katı olarak belirlenmiş varyasyon katsayısı ise %4'ün altında bulunmuştur.

Mersin'e Yağış Getiren Hava Kütlelerinin Analizi

Atmosferik ölçümleri yorumlayabilmek için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri hava kütlelerinin belirli bir dönem içindeki geri

yörüngelerini modellemektir. Bir bölgeye özgü ortalama hava akım yönünü belirleyebilmek için hava kütlelerinin üç günlük geri yörüngeleri (Back Trajectory) üç boyutlu (3-D) olarak hesaplanır (Martin ve ark. 1987). Yağışlı günlerde Mersin'e ($36^{\circ} 47' 00'' N$ $34^{\circ} 37' 00'' E$) 1000, 900 (990 m), 850 (1460 m), 700 (3000 m) ve 500 (5560 m) hPa basınç seviyelerinde ulaşan hava kütlelerinin üç günlük ve üç boyutlu geri yörüngelerinin hesaplanmasında ECMWF'in CRAY C90/UNICOS süper bilgisayarındaki bulunan kullanıcıya açık bir model kullanılmıştır. Bu model, yine aynı merkezde hazırlanarak arşivlenmiş (MARS) rüzgar bileşenlerini (u,v,z) kullanarak koordinatları verilen bir alıcı ortam için istenilen tarihlere ait geriye dönük yörüngeleri hesaplayabilmektedir. Enlem ve boylam için grid aralığı 1.875 derecedir ve model hava parselinin yeni konumunu her 15 dakikada bir, lineer uzaysal ve zamansal interpolasyon yolu ile yeniden hesaplamaktadır (Kallberg 1984). Belirli bir gün ve yer için yapılan hesaplama ile elde edilen veriler, hava parselinin saatlik konumu (enlem ve boylamı) ile saatlik basınç ve rüzgar bileşenlerini içerir. Hava parselinin saatlik koordinatlarının horizontal mercator projeksiyon haritasına çizilmesi ile hava kütlesinin örnekleme istasyonuna ulaşınca kadar son üç gün süresince atmosfer kolonu içinde izlediği yol bulunmuş olur. Hava kütlelerinin dikey yöndeki hareketi ise üç boyutlu geri yörünge hesaplamalarına sinoptik dikey rüzgar bileşeninin katılması ile elde edilmiştir. Dikey yöndeki taşınım, cephesel taşınım olarak tanımlanmakta ve birbirinden farklı barometrik seviyeler için dikey yöndeki hareketlerin karşılaştırılması ile belirlenmektedir (Kublay 1996).

Hava kütleleri yörüngelerinin üç gün için hesaplanmasının nedeni, hareketteki yanal belirsizliğin üç günden sonra çok artmasıdır. Çeşitli modellerle yapılan çalışmalarda, bir günden sonra hesaplanan yörüngelerde belirsizliğin 140-290 km, üç günden sonra ise 350-495 km olduğu gösterilmiştir (Whelpdale ve Moody 1990). Bu çalışmada kullanılan model Martin ve ark. (1987) tarafından kullanılan üç boyutlu hareket modeli ile aynı prensiplere dayanmaktadır. Hesaplanan yörüngeler hava kütlelerinin kaynaklandığı bölgeleri gösterir ancak yağış gibi uğradıkları orta ölçek meteorolojik değişimler hakkında bilgi vermez (Anonymous 2006b).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yağış Verileri

Yağmur örneklerinin miktarı için İst. 2'de yer alan yağış-ölçerden elde edilen veriler kullanılmış ve bu veriler Mersin Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden elde edilen 14 yıllık (1990-2003) ortalama yağış verileri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 1'de sunulmuştur. Şekil 1'de yağış miktarları arasında fazla bir uyum olmadığı görülmektedir. Bu da atmosferik olaylardaki yüksek zamansal değişkenliğin bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Örnekleme yapıldığı 2004 yılı içerisinde gerçekleşen 55 yağış olayında m²'ye düşen ortalama yağış miktarı 9,6 kg'dır. Dört istasyona ait yağış miktarları farklılık göstermektedir. Örnekleme kaplarının yüzey alanlarından yararlanılarak hesaplanan yıllık yağış miktarları istasyonlar için sırası ile; 591, 529, 469 ve 468 mm şeklindedir. İst. 2'de yer alan yağış-ölçer verilerine göre 2004 yılında Mersin'e düşen yağış miktarı 552 mm olup bu değer Mersin Meteoroloji İl Müdürlüğü'nün uzun dönemli ölçümlerine dayalı yıllık ortalama yağış miktarının (593,7 mm) altındadır. 2004 yılında en düşük yağış 0,2 mm en yüksek yağış ise 61,8 mm olarak kaydedilmiştir. 0,2 mm nin altında gerçekleşen yağış olayları ölçümlerdeki hata oranının yüksek olacağı düşünülerek ihmal edilmiş, bu şekilde toplanan 3 örnek değerlendirmeye alınmamıştır.

Yağışlı Günlerde Mersin'i Etkileyen Hava Kütlelerinin Kaynak Bölgeleri

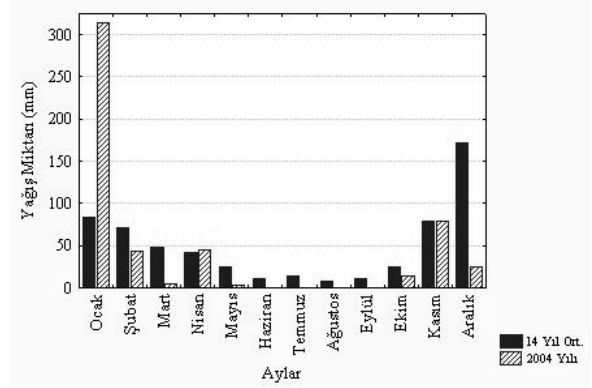
Yağmurlu günlerde Mersin'i etkisi altına alan hava kütlelerinin coğrafik kaynaklarını belirlemek amacı ile hesaplanan hava kütleleri, kaynak bölgelerine göre sınıflandırılmış, İst. 2'nin koordinatı (36° 47' 00" N-34° 37' 00" E) merkez seçilerek rüzgar gülü 90°'lik açılarla dört coğrafik sektöre bölünmüştür. Farklı barometrik seviyelerdeki her bir hava kütlesi örnekleme istasyonuna ulaşmadan üç günlük zaman içerisindeki yörüngesi hangi sektörde daha uzun bir yol izlemişse o sektöre dahil edilmiştir. Buna göre: Yerel ve uzun menzilli potansiyel emisyon kaynaklarının bulunduğu bölgeler:

Sektör 1-Kuzeydoğu: Doğu Anadolu ve Birleşik Devletler Topluluğu (BDT)

Sektör 2-Kuzeybatı: Batı Anadolu ve Avrupa

Sektör 3-Güneybatı: Doğu Akdeniz ve Kuzey Afrika

Sektör 4-Güneydoğu: Ortadoğu Ülkeleri ve



Şekil 1. Mersin'de 2004 yılı aylık yağış miktarlarının (içi taralı sütunlar), 14 yıllık aylık ortalama yağış verileri ile karşılaştırılması.

Arap Yarımadası

şeklinde gruplandırılmıştır. 2004 yılı içinde yağmurlu günlere ait toplam 55 adet hava yörüngesi hesaplanmış ve beş farklı barometrik seviye için hava kütlelerinin sektörel frekansları bulunmuştur. Hava kütlesi son üç günlük taşınımı sırasında zamanının en büyük bölümünü yukarıda tanımlanan sektörlerden hangisinde geçirmişse o sektöre dahil edilmiş ve o sektörün frekansı toplam 55 yörüngenin yüzdesi şeklinde ifade edilmiştir. Sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Yağmurlu günlerde serbest troposferde hareket eden (700, 500 hPa) hava kütlelerinin 2/3'ü Güneybatıdan geri kalan yaklaşık 1/3'ü ise Kuzeybatıdan kaynaklanmaktadır. Sınır tabakası içinde (1000, 900, 850 hPa) hareket eden hava kütlelerinin ise Kuzeydoğudan kaynaklanma oranı oldukça düşüktür. Bu seviyedeki hava kütlelerinin en çok Güneybatıdan daha sonra ise Güneydoğudan kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar, yağışlı günlerde hakim rüzgar yönünü Güney-Güneybatı ve Güneydoğu olarak veren Mersin Meteoroloji İl Müdürlüğü'nün verileri ile tutarlıdır. Yağışlı günlerdeki hakim hava yönü, Mersin'de sanayi kuruluşlarının yoğunlaştığı Doğu-Kuzeydoğu bölgesi ile çakışmamaktadır.

Mersin'de Gözlenen Kızıl Yağmurlar

Mersin'de 2004 yılında dört farklı istasyondan toplanan 158 yağmur suyu örneğinin hacim ağırlıklı ortalama pH'ı 6,07 olarak hesaplanmıştır. Atmosferin doğal bir bileşeni olan CO₂'nin yağmur suyunda çözünerek karbonik asit oluşturması nedeniyle, kirlenici bileşenlerin bulunmadığı temiz atmosferde bile yağın yağmur hafif asidiktir (pH: 5,6) (Galloway ve ark. 1982). Mersin'de sadece 8

Tablo 1. Mersin'de yağmurlu günlere ait hava kütlelerinin sektörel frekansları.

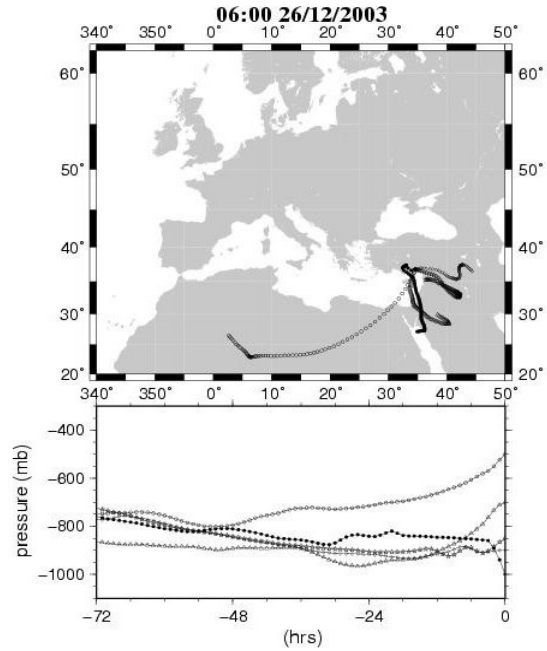
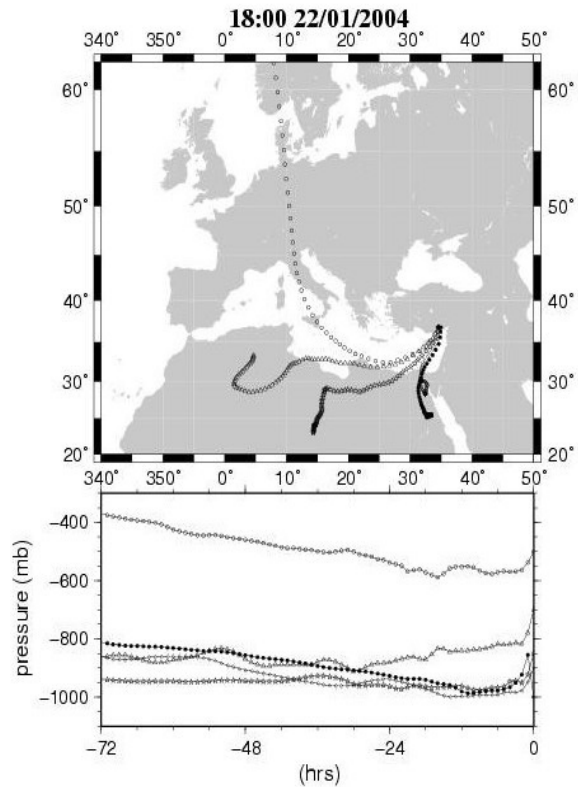
hPa	sektör 1-NE	sektör 2-NW	sektör 3-SW	sektör 4-SE
1000	% 10	% 21	% 38	% 31
900	% 10	% 27	% 31	% 32
850	% 6	% 27	% 46	% 21
700	% 4	% 27	% 69	% 0
500	% 2	% 36	% 62	% 0

yağmur örneğinde pH 5,6 değerinin altında ölçülmüştür. Bu örnekler ise sürekli yağışlı günlerde ardıl örnekleme yapıldığında, havadaki tozlar yıkandıktan sonra toplanan ikincil veya üçüncül örneklerdir. Mersin yağmurlarının genelde alkali karakterli oluşunun nedeni yerel atmosferde mevcut kalker (CaCO_3) içeriği yüksek mineral tozdur. Kalkerin çözünmesi ile oluşan karbonat ve/veya bikarbonat anyonları yağmur suyunu tamponlamakta; asitliğini nötrleştirmektedir. Batı Akdeniz, Korsika'da Sahra tozunun kalsit içeriği %5-30 aralığında bulunmuş (Loye-Pilot ve ark. 1986); Doğu Akdeniz, Erdemli'de ise bu oran % 8-31 olarak rapor edilmiştir (Kubilay ve ark. 1997). Karakteristik kırmızı-sarı, kırmızı-kahve renginde olan bu toz yerel kaynaklı (İç Anadolu ve Kilikya) olabileceği gibi uzun mesafeli atmosferik taşınım yolu ile Kuzey Afrika, Ortadoğu ve Arap Yarımadası'ndaki kurak bölgelerden Mersin bölgesine taşınmaktadır (Özsoy ve Saydam 2000).

Mersin'de yağmur sularının elektriksel iletkenliği oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir ($0-1456 \mu\text{S cm}^{-1}$). En yüksek iletkenlik değerleri kırmızı yağmurlarda ölçülmüştür ve bu yağmurların çözünmüş katı içeriği oldukça yüksektir. Mineral toz yüzeylerinin iyon adsorplama kapasitelerinin yüksek oluşuna bağlı olarak sıvı-katı fazlar arasındaki adsorpsiyon-desorpsiyon süreçleri nedeniyle iletkenlik değerleri yükselmektedir.

Yağmur örneklerinin süzülmesi filtre kağıtlarında kalan materyalin rengine ve yağışlı günlere ait hava kütlelerinin analizine dayalı olarak 2004 yılı içerisinde, aşağıda belirtilen tarihlerde, Mersin Bölgesine gerek uzak gerekse yerel kaynaklardan toplam 7 kez episodik olarak toz taşındığı belirlenmiştir: 26/12/2003-22/01/2004-05/03/2004-02/04/2004-21/04/2004-30/04/2004-20/12/2004.

Bu tarihlerden ilk ikisine ait hava kütleleri geri yörüngeleri sırası ile Şekil 2 ve Şekil 3'de sunulmuştur. 26/12/2003 tarihinde hava kütleleri daha ziyade Ortadoğu ve Arap Yarımadası'ndan kaynaklanırken 22/01/2004 tarihinde Kuzey Afrika'dan kaynaklanmıştır.

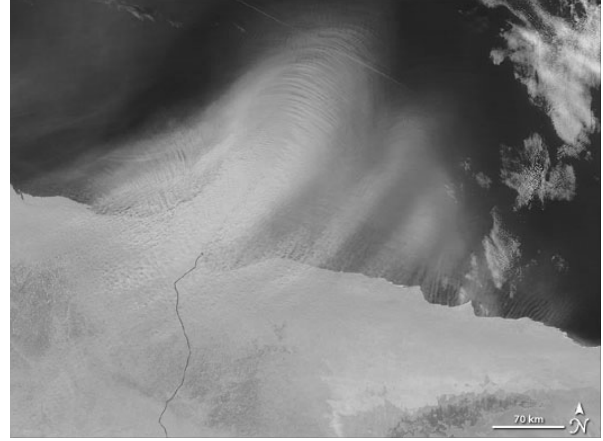
**Şekil 2.** 26/12/2003 tarihinde Mersin'e ulaşan hava kütlelerinin izlediği yol.**Şekil 3.** 22/01/2004 tarihinde Mersin'e ulaşan hava kütlelerinin izlediği yol.

Şekil 4a ve Şekil 4b'de sunulan uydu görüntülerinde ise 02/04/2004 tarihinde Kuzey Afrika üzerinden taşınan toz bulutu açıkça görülmektedir.

Aynı tarihe ait hava kütleleri geri yörüngeleri (Şekil 5) ise tozun sadece Kuzey Afrika'dan değil aynı zamanda İç Anadolu Bölgesinden de taşındığını göstermektedir. Bu tarihte Mersin'e yağın yağmurların iletkenlik değeri üç farklı istasyon için 1150, 812 ve 1456 $\mu\text{S cm}^{-1}$ pH değeri ise sırası ile 7,95, 8,03 ve 8,05 olarak ölçülmüştür. İletkenlik değeri veri setine ait en yüksek değeri dir.

Yağmur örneklerinin aylık hacim ağırlıklı ortalama Al_t derişimleri ile pH değeri değışim grafiğı Şekil 6'da görölmektedir. Episodik toz taşınımı daha ziyade Aralık, Ocak, Mart ve Nisan aylarında gerçekleşmiş olmasına rağmen Özellikle Aralık ve Ocak aylarına ait ortalama Al_t derişimleri düşük bulunmuştur. Bunun nedeni ise bu aylarda Mersin'e düşen yağış miktarının yüksek olmasıdır (Aralık: 39 mm, Ocak: 290 mm). Yağmur hacmi ölçülen parametrelerin derişimlerini kontrol eden önemli bir faktördür ve fazla yağış seyrelme etkisi yaratmaktadır. Dolayısı ile, yağmur hacminde gözlenen yüksek değışkenlik bu tür ortalamalar alındığında episodik olarak gerçekleşen olayların maskelenmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde Mayıs ayı içerisinde hiç toz taşınımı tespit edilmemiş olmasına rağmen Şekil 6'da Mayıs ayı ortalama Al_t derişiminin yüksek olduğu görölmektedir. Bu durumun nedeni de yine bu aya ait yağış değeri nin son derece düşük (4 mm) oluşudur.

Bir yıllık dönemde yukarıda belirtilen tarihlerde dört istasyondan toplam 38 adet yüksek oranda mineral toz içeren kızıl yağmur örneklenmiştir. Bu örneklerin süzölmesi sonucu filtre kağıtlarında toplanan materyal karakteristik koyu kızıl kahve-kızıl sarı rengindedir. Kızıl ve normal yağmurlar arasındaki farkı belirlemek amacı ile örnekleme dönemi boyunca toplanan 38 adet kızıl yağmura ait veri seti ortalamaları, geri kalan 120 adet normal yağmura ait veri seti ortalamaları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Örneklerin çözünmüş (Al_s) ve partikül (Al_p) fraksiyonlarında ölçülen Al derişimleri hacim ağırlıklı ortalamaları ayrı ayrı hesaplanmış, genel değeri ndirmelerde ise toplam Al_t derişimleri kullanılmıştır. Tablo 2'de verilen derişimler hacim ağırlıklı ortalamalar olduğundan bu değeri lere ait standart sapmalar Galloway ve ark. (1984)'de verilen yöntemle hesaplanmıştır. Toprak kaynaklı bir element olması bakımından alüminyumun çözünürlüğü oldukça düşüktür. Atmosferdeki elementlerin çözünürlüğü ise aerosolün türüne ve

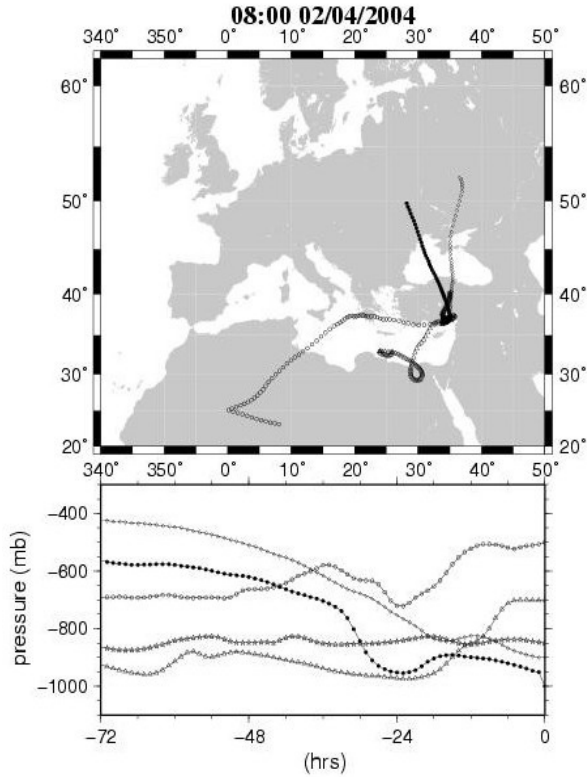


Şekil 4a, 02/04/2004 tarihinde gerçekleşen toz taşınımına ait uydu görüntüleri. (Erişim: http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/-NewImages/images_index.php3).

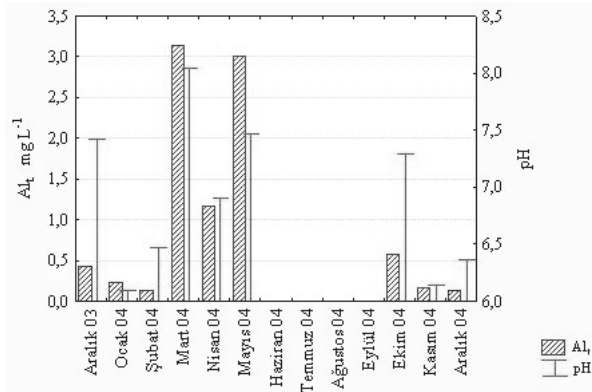


Şekil 4b, 02/04/2004 tarihinde gerçekleşen toz taşınımına ait uydu görüntüleri. (Erişim: http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/-NewImages/images_index.php3).

havada sulu faz içinde uğradığı pH değışimlerine kuvvetle bağımlıdır. Literatürde farklı pH koşullarında aerosol fazındaki alüminyumun çözünürlüğü incelenmiş düşük pH koşullarında çözünürlüğün arttığı gözlenmiştir (pH: 2,0'de %7,1 $\pm$ 0,6; pH: 5,5'da %0,9 $\pm$ 0,4) (Spokes ve Jickells 1996) Factors controlling the solubility of aerosol



Şekil 5. 02/04/2004 tarihinde Mersin'e ulaşan hava kütlelerinin izlediği yol.



Şekil 6. Mersin yağmurlarında (2004 yılı) aylık hacim ağırlıklı ortalama Al_t derişimleri ile ortalama pH değerlerinin değişimi.

trace metals in the atmosphere and on mixing into seawater. Aquatic Geochemistry 1, 355-374. 1996). Ankara'da ise $pH > 5,0$ olan yağmur örneklerinde alüminyumun çözünürlüğü $\%9,2 \pm 9,8$ olarak rapor edilmiştir (Kaya ve Tuncel, 1997). Bu çalışmada, kızıl yağmurların çözünmüş alüminyum (Al_s) içeriği normal yağmurların yaklaşık beş katı bulunmuştur (Tablo 2). Ancak benzer farklılık partikül alüminyum (Al_p) derişimleri için de geçerli

Tablo 2. Mersin'de normal ve kızıl yağmurlara ait istatistiksel sonuçların karşılaştırılması.

Parametre	Normal Yağmur (120)	Kızıl Yağmur (38)
Yağış mm	404	107
pH	6.09	7.27
İletkenlik	32.0 ± 3.0	211.6 ± 3.5
H^+	$8.23 \times 10^{-4} \pm 2.57 \times 10^{-4}$	$5.41 \times 10^{-5} \pm 1.88 \times 10^{-5}$
Al_s	$4.03 \times 10^{-3} \pm 5.33 \times 10^{-4}$	0.019 ± 0.007
Al_p	0.170 ± 0.022	0.913 ± 0.191
Al_t	0.174 ± 0.022	0.932 ± 0.193

Hidronyum ve Alüminyum'a ait hacim ağırlıklı ortalama derişimler $mg L^{-1}$ cinsinden, iletkenlik ise $\mu S cm^{-1}$ cinsinden geometrik ortalamalar şeklinde sunulmuştur. Örnek sayıları parantez içinde verilmiştir.

olduğundan Mersin'de normal ($\%2,31 \pm 0,42$) ve kızıl ($\%2,04 \pm 0,85$) yağmurlarda alüminyumun çözünürlüğü arasında önemli bir farklılık söz konusu değildir. Normal yağmurlarda çözünürlük yüzdesinin nispeten yüksek oluşu büyük olasılıkla bu yağmurların ortalama pH değerinin kızıl yağmurlardan daha düşük oluşundan kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde, kızıl yağmurların ortalama iletkenlik değeri normal yağmurlarinkinden yaklaşık yedi misli daha yüksektir. Hacim ağırlıklı ortalama hidronyum iyonu derişiminde ise mineral tozun yüksek kalsit içeriğinin, yağmur sularındaki asidik anyonları tamponlamasına bağlı olarak 10^1 basamak seviyesinden de yüksek (15 misli) bir azalma meydana gelmiştir (Tablo 2).

Atmosferik Tozun Yaş Çökme Akısı

Bir elementin yıllık temelde yaş çökme akısı, en yaygın şekilde $F_y = C_y \cdot P$ eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlikte C_y eser elementin yağmur suyu içindeki (çözünmüş+partikül) toplam derişimi, P ise yağış miktarıdır (mm). Literatürde bu akıların hesaplanmasında hacim ağırlıklı ortalama derişimler yıllık yağış miktarı ile çarpılmakta ve çözünmüş-partikül ayırımı yapılmaksızın toplam derişimler kullanılmaktadır. Bir elementin gerçek yıllık yaş çökme akısı ise her yağmur örneğinde ölçülen

$$F_y = \sum_{i=1}^N C_i \cdot P_i \quad (i = 1 \dots N)$$

derişimin aynı yağış olayında m^2 ye düşen yağmur miktarı ile çarpılması ve her örnek için ayrı hesaplanan akıların toplanması ile bulunabilir:

Yukarıdaki eşitlikte C_i elementin (i) örneğindeki derişimi, P_i i yağış olayındaki yağış akısı, N yağmur örneklerinin sayısıdır. Bir elementin gerçek yıllık yaş çökme akısı ile hacim ağırlıklı ortalama

Tablo 3. Alüminyum için atmosferik yaş çökme akılarının ($\text{mg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$) karşılaştırılması.

Yer	Al	Kaynak
Mersin	174.5	Bu Çalışma
Erdemli	870	Özsoy ve Saydam (2000)
İskenderun	8.8	Örnektekin ve Çakmaklı (2003)
Antalya	92.0	Al-Momani ve ark. (1998)
Ankara	3.4	Kaya ve Tuncel (1997)
Singapur	47.8	Hu ve ark. (2003)
Massachusetts	29.4	Golomb ve ark. (1996)
Hiroshima	0.09	Takeda ve ark. (2000)

derişiminden hesaplanan yaş çökme akısı arasında daima bir fark olur. Bu fark, her yağmur örneğinde ölçülen derişimin, hacim ağırlıklı ortalama derişime göre pozitif ya da negatif yönde salınım göstermesi ve her olayda toplanan yağmur hacminin farklı olmasından kaynaklanır. Farklılık bu iki parametrenin non-lineer değişkenliği şeklinde de yorumlanabilir. Kuzey Denizi'ndeki bir çalışmada gerçek yaş çökme akıları ile hesaplanan akılar arasında 10^2 basamak seviyesinde farklılık gözlenmiştir (Baeyens ve ark. 1990).

Yukarıdaki eşitlikten yararlanılarak yapılan hesaplamada Mersin'de 2004 yılı için Al yaş çökme akısı $174,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ olarak bulunmuş ve bu değer Tablo 3'de literatürdeki değerlerle karşılaştırılmıştır. Mersin için bulunan Al yaş çökme akısı, 1996'da Mersin-Erdemli için rapor edilen (Özsoy ve Saydam 2000) değerden ($870 \text{ mg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$) yaklaşık 5 misli daha düşüktür. Bu da yine atmosferik olaylarda sıklıkla gözlenen yüksek zamansal değişkenliğin bir sonucudur. Buna rağmen, Mersin için bulunan Al yaş çökme akısı literatürdeki diğer değerlerin oldukça üzerindedir (Tablo 3).

Atmosferdeki Al'nin tek kaynağı topraktır ve bu element atmosferde mevcut mineral toz yükünün göstergesi olarak kullanılmaktadır (Prospero ve Nees 1987, Kubilay ve ark. 2000). Bu çalışmada da mineral tozun yaş çökme yolu ile taşınım hızının hesaplanmasında yukarıda bulunan Al yaş çökme akısı ile Mineral tozun Al içeriği (kütlece %8,2, Rudnick ve Gao 2003) kullanılmış ve 2004 yılında

Mersin bölgesine atmosferden yaş çökme yolu ile $2,13 \text{ g m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ toz taşındığı bulunmuştur. Kuzeydoğu Akdeniz'de yıl temelinde atmosferden çökelen tozun yaklaşık %44'ünün yaş çökme yolu ile geri kalan %56'sının ise kuru çökme yolu ile taşındığı bildirilmiştir (Kubilay ve ark. 2000, Koçak ve ark. 2005). Bu yüzdelere dayalı bir hesaplama ile 2004 yılında atmosferik yollarla (yaş+kuru çökme ile) Mersin Bölgesine taşınan toplam toz miktarının yaklaşık $4,84 \text{ g m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ olduğu sonucu çıkarılabilir. Bu değer, 1996 yılında Kuzeydoğu Akdeniz için rapor edilen toplam Al akısına (Özsoy ve Saydam 2000) dayalı olarak bulunan toz akısından ($16,85 \text{ g m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$) oldukça düşük ancak Batı Akdeniz için rapor edilen (Avila ve ark. 1996) ortalama toz akısına ($5,3 \text{ g m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$) yakın bir değerdir. Kızıl yağmurların normal yağmurlara kıyasla daha yüksek oranda çözünmüş iyon içerdiği literatürde açıkça belirtilmiştir (Avila ve ark. 1998, Özsoy ve Saydam 2001). Kızıl yağmurlar gerek sucul gerek karasal eko-sistemlere besin tuzu sağlayan potansiyel bir kaynak olarak değerlendirilmeli ve özellikle kızıl yağmurların biyolojik olarak kullanıma hazır (çözünmüş) eser element içeriklerinin yüksek oluşu nedeni ile çöl tozunun biyojeokimyasal süreçler vasıtası ile biyolojik sistemlere ve birincil üretime olan potansiyel katkısı araştırılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK-102Y144 No'lu ve ME.Ü-BAP-FEFKB-2004-3 No'lu projeler kapsamında gerçekleştirilmiştir. ICP-AES analizleri sırasındaki destek ve yardımları için MKÜ, Merkez Araştırma Laboratuvarı Müdürü Y. Doç. Dr. Kemal SANGÜN'e ve Teknik Personel Müh. Mehmet BAYRAKÇIOĞLU'na teşekkür ederiz. Hava kütleleri yörünge analizi için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ile işbirliği kapsamında ECMWF trajectory veri bankası ve modeline ulaşarak geri yörüngelerin hesaplanmasını sağlayan Prof. Dr. Emin ÖZSOY'a (ODTÜ-DBE) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Al-Momani İF, Aygün S, Tuncel G (1998) Wet deposition of major ions and trace elements in the Eastern Mediterranean Basin. *Journal of Geophysical Research* 103, 8287-99.
- Alpert P, Neman BU, Shay-El Y (1990) Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus* 42A, 65-77.
- Anonymous (2006a) 2005 Yılı Mersin İl Çevre Durum Raporu. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Mersin Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü.

- Anonymous (2006b). Mersin'de Yağmur Suyunun Kimyasal Analizi Yolu ile Hava Kalitesinin Belirlenmesi. 102Y144 No'lu Proje Kesin Raporu, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) Mersin.
- Anonymous (1995) Manual for the Geochemical Analyses of Marine Sediments and Suspended Particulate Matter, UNEP (United Nations Environment Programme), Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 63, Monaco Cedex.
- Avila A (1996) Time trends in the precipitation chemistry at a mountain site in Northeastern Spain for the period 1983-1994. *Atmospheric Environment* 30, 9, 1363-73.
- Avila A, Alarcon M, Queralt MI (1998) The chemical composition of dust transported in red rains- Its contribution to the biogeochemical cycle of a Holm Oak Forest in Catalonia (Spain). *Atmospheric Environment* 32, 2, 179-191.
- Avila A, Penuelas J (1999) Increasing frequency of Saharan rains over northeastern Spain and its ecological consequences. *The Science of the Total Environment* 228, 153-156.
- Baeyens W, Dehairs F, Dedeurwaerder H (1990) Wet and dry deposition fluxes above the North Sea. *Atmospheric Environment* 24A, 7, 1693-1703.
- Bardouki H, Liakakou H, Economou C, Sciare J, Smolik J, Zdimal V, Eleftheriadis K, Lazaridis M, Dye C, Mihalopoulos N (2003) Chemical composition of size resolved atmospheric aerosols in the eastern Mediterranean during summer and winter. *Atmospheric Environment* 37, 2, 195-208.
- Brody LR, Nestor MJR (1980) Regional Forecasting Aids for the Mediterranean Basin. In: Handbook for Forecasters in the Mediterranean, Part 2. Technical Report TR 80-10, Naval Environmental Prediction Research Facility, Monterey, California, 1-13.
- Bucher A (1989) Fallout of Saharan Dust in the NW Mediterranean Region. In: Liene M, Sarnthein M (eds), *Paleoclimatology and Paleometeorology*, Kluwer, Dordrecht, 565-584.
- Chester R, Nimmo M, Alarcon M, Saydam C, Murphy KJT, Sanders GS, Corcoran P (1993) Defining the chemical character of aerosols from the atmosphere of the Mediterranean Sea and surrounding regions. *Oceanologica Acta* 16, 231-246.
- Dayan U, Miller J (1989) Meteorological and climatological data from surface and upper air measurements for the assessment of atmospheric transport and deposition of pollutants in the Mediterranean Basin: A review. MAP Technical Reports Series No:30, Athens.
- Dulac F, Tanre D, Bergametti G, Buat-Menard P, Desbois M, Sutton D (1992) Assessment of the African airborne dust mass over the Western Mediterranean Sea using meteosat data. *Journal of Geophysical Research* 97, D2, 2489-2506.
- Galloway JN, Likens GE, Kene WC, Miller JM (1982) The composition of precipitation in remote areas of the world. *Journal of Geophysical Research* 87, 8771-8786.
- Galloway JN, Likens GE, Hawley ME (1984) Acid precipitation: Natural versus anthropogenic components. *Science* 226, 829-831.
- Ganor E (1994) The frequency of Saharan dust episodes over Tel Aviv, Israel. *Atmospheric Environment* 28, 2867-2871.
- Golomb D, Ryan D, Eby N, Underhill J, Zemba S (1996) Atmospheric deposition of toxics onto Massachusetts Bay-I. Metals. *Atmospheric Environment* 31, 1349-1359.
- Guieu C, Martin JM, Thomas AJ, Elbaz-Poulichet F (1991) Atmospheric versus river inputs of metals to the Gulf of Lions. Total concentrations, partitioning and fluxes. *Marine Pollution Bulletin* 22, 176-183.
- Güllü GH, Ölmez İ, Aygün S, Tuncel G (1998) Atmospheric trace element concentrations over the eastern Mediterranean sea: Factors affecting temporal variability. *Journal of Geophysical Research* 103, 21943-21954.
- Güllü GH, Ölmez İ, Tuncel G (2004) Source apportionment of trace elements in the eastern Mediterranean atmosphere. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 259, 1, 163-171.
- Güllü G, Doğan G, Tuncel G (2005) Atmospheric trace element and major ion concentrations over the eastern Mediterranean Sea: Identifications of anthropogenic source regions. *Atmospheric Environment* 39, 6376-6387.
- Herut B (2001) Levels of aerosol trace metals along the Mediterranean coast of Israel (1996-97). *Fresenius Environmental Bulletin* 10, 89-93.
- Hu GP, Balasubramanian R, Wu CD (2003) Chemical characterization of rainwater at Singapore. *Chemosphere* 51, 747-55.

- Kallberg P (1984) Air Parcel Trajectories from Analysed or Forecast Wind Fields. Workshop on Simplified Models for Short-Range Forecasting on the Mesoscale. SMHIR and D Notes No. 37. The Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden.
- Kaya G, Tuncel G (1997) Trace element and major ion composition of wet and dry deposition in Ankara, Turkey. *Atmospheric Environment* 31, 3985-98.
- Koçak M, Kubilay N, Mihalopoulos N (2004a) Ionic composition of lower tropospheric aerosols at a northeastern Mediterranean site: Implications regarding sources and long-range transport. *Atmospheric Environment* 38, 2067-2077.
- Koçak M, Nimmo M, Kubilay N, Herut B (2004b) Spatio-temporal aerosol trace metal concentrations and sources in the Levantine Basin of the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment* 38, 2133-2144.
- Koçak M, Kubilay N, Herut B, Nimmo M (2005) Dry atmospheric fluxes of trace metals (Al, Fe, Mn, Pb, Cd, Zn, Cu) over the Levantine Basin: A refined assessment. *Atmospheric Environment* 39, 7330-7341.
- Kubilay N, Saydam AC (1995) Trace elements in atmospheric particulates over the Eastern Mediterranean: Concentrations, sources and temporal variability. *Atmospheric Environment* 29, 2289-300.
- Kubilay N (1996) The Composition of Atmospheric Aerosol over the Eastern Mediterranean; The Coupling of Geochemical and Meteorological Parameters, Ph.D. Dissertation, p. 219, Institute of Marine Sciences, METU, TURKEY.
- Kubilay N, Saydam AC, Yemenicioğlu S, Kelling G, Kapur S, Karaman C, Akça E (1997) Seasonal, chemical and mineralogical variability of atmospheric particles in the coastal region of the Northeast Mediterranean. *Catena* 28, 313-328.
- Kubilay N, Nickovic S, Moulin C, Dulac F (2000) An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment* 34, 8, 1293-1303.
- Kubilay N, Koçak M, Özsoy E, Saydam AC (2001) Mineral Tozun Doğu Akdeniz Atmosferindeki Değişimi: Afrika Çöllerinden Uzun Mesafeli Atmosferik Taşınımın Gösterilmesi. In: IV Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB, Çevre Mühendisleri Odası, 7-10 Kasım 2001, İçel, 480-486.
- Loye-Pilot MD, Martin JM, Morelli K (1986) Saharan dust: Influence on the rain acidity and significance for atmospheric Input to the Mediterranean. *Nature* 321, 427-28.
- Martin D, Mithieux C, Strauss B (1987) On the use of the synoptic vertical wind component in a transport trajectory model. *Atmospheric Environment* 21, 45-52.
- Martin JM, Elbaz-Poulichet F, Guieu C, Loye-Pilot MD, Han G (1989) River versus atmospheric input of material to the Mediterranean Sea: An overview. *Marine Chemistry* 28, 159-182.
- Milliman JD, Jéftic L, Sestini G (1992) The Mediterranean Sea and Climate Change: An Overview. In: Jéftic L, Milliman JD, Sestini Arnold G (eds), *Climatic Change and Mediterranean*, UNEP, London, 1-14.
- Moulin C, Lambert E, Dayan U, Masson V, Ramonet M, Bousquet P, Legrand M., Balkanski J, Guelle W, Marticorena B, Bergametti G, Dulac F (1998). Satellite climatology of African dust transport in the Mediterranean atmosphere. *Journal of Geophysical Research* 103, 13137-13144.
- Örnektekin S, Çakmaklı S (2003) Chemical composition and acidity of rain at the Gulf of Iskenderun, North-East Mediterranean. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 3, 151-166.
- Özsoy E (1981) On the Atmospheric Factors Affecting the Levantine Sea. ECMWF, European Centre for Medium Range Weather Forecasts, Technical Report No:25, Reading.
- Özsoy T (1999) Kilikya Baseni Kıyısı Sistemine Taşınan Atmosferik Kirlenimlerin Kaynaklarının Belirlenmesi-Atmosferik Girdilerin Deniz Ekosistemi Üzerine Olan Etkileri. Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.
- Özsoy T, Saydam AC (2000) Acidic and alkaline precipitation in the Cilician Basin, North-Eastern Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment* 253, 93-109.
- Özsoy T, Saydam AC (2001) Iron speciation in precipitation in the North-Eastern Mediterranean and its relationship with Sahara dust. *Journal of Atmospheric Chemistry* 40, 41-76.
- Prospero JM, Nees RT (1987) Deposition rate of particulate and dissolved aluminum derived from Saharan dust in precipitation at Miami, Florida. *Journal of Geophysical Research* 92, 14723-14731.

- Rudnick RL, Gao S (2003) The Composition of the Continental Crust. In: Holland HD, Turekian KK (eds), *Treatise on Geochemistry*, Vol 3, Elsevier, Amsterdam, 1-64.
- Spokes LJ, Jickells TD (1996) Factors controlling the solubility of aerosol trace metals in the atmosphere and on mixing into seawater. *Aquatic Geochemistry* 1, 355-374.
- Takeda K, Marumoto K, Minamikawa T, Sakugawa H, Fujiwara K (2000) Three-year determination of trace metals and the lead isotope ratio in rain and snow depositions collected in Higashi-Hiroshima, Japan. *Atmospheric Environment* 34, 4525-4535.
- Whelpdale DM, Moody JL (1990). Large Scale Meteorological Regimes and Transport Processes. In: Knap AH (ed), *The Long-Range Atmospheric Transport of Natural and Contaminant Substances*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 3-39.