

Akdeniz ve Karadeniz'deki Kirletici Düzeylerini Etkileyen Kaynak Bölgelerin Belirlenmesi

Gülen GÜLLÜ

*Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06532 Ankara-TÜRKİYE*

Gamze GÜNAYDIN, Gürdal TUNCEL

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
06531, Ankara-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 27.04.2000

Özet

Akdeniz atmosferindeki eser element ve iyonların potansiyel kaynak bölgeleri, literatürden temin edilen emisyon verileri ile yörünge istatistigi yöntemi birleştirilerek incelenmiştir. Yapılan çalışmada Doğu ve Batı Akdeniz, Karadeniz havzaları baz alınmış, bu bölgelere üst atmosfer taşınım frekansları ve her bölgeyi etkileyen kaynak bölgeleri bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Üst atmosfer (850 mb) hava kütlelerinin hareketlerinin üç bölgede de benzerlikler gösterdiği görülmüştür. Bölgelerin hepsinde etkin hava hareketi batı, kuzeybatı ve kuzey sektörlerinden olup, 850 mb hava kütlelerinin doğu ve güneyden bölgeye gelmesi oldukça seyrekdir. Üst hava klimatolojisinin genel özelliklerinin Batı Akdeniz, Doğu Akdeniz ve Karadeniz'de benzer olmasına rağmen, bölgelerin her birisindeki üst atmosfer hava hareketlerinde küçük farklılıklar görülmüştür. Yaz ve kış mevsimleri arasında küçük fakat istatistiki açıdan anlamlı farklılıklar vardır. Ancak bu farklılıklar literatürde verilen eser element ve iyon konsantrasyonundaki mevsimsel değişimleri açıklayabilecek kadar büyük değildir. Elementlerin ve iyonların potansiyel kaynak bölgeleri üç alt havzaya ulaşan hava kütlelerinin bu bölgeleri çevreleyen alanlarda geçirdikleri zaman ve bu alanlardaki emisyon değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Batı Akdeniz'deki kirletici konsantrasyonunu etkileyen potansiyel kaynak bölgeleri, Doğu Akdeniz ve Karadeniz atmosferlerini etkileyen potansiyel kaynak bölgelerinden belirgin olarak farklıdır. Bu çalışmada belirlenen potansiyel kaynak bölgelerinin, deneysel olarak belirlenenlerle karşılaştırılması, kirleticilerin kaynak bölgelerden üç alt havzaya taşınımı sırasındaki yağmur ve kuru çökeltmenin alıcı noktalarında gözlenen kirletici konsantrasyonları üzerinde belirgin etkisi olduğunu göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Akdeniz, Karadeniz kirlilik, Atmosfer, Aerosol, Emisyon, Yörünge istatistigi, Eser elementler

Potential Source Regions of Pollutants Measured in the Mediterranean and Black Sea Atmospheres

Abstract

Potential source regions of trace elements and major ions measured in the Mediterranean atmosphere were investigated by combining trajectory statistics with emission data reported in the literature. The frequency of air mass transport from different wind sectors was investigated at three selected sites in the eastern Mediterranean, western Mediterranean and Black Sea basins. The upper air mass movements showed fairly

similar general features at all three sites, with very small eastern, southeastern and southern components. In all three sites, the dominant flows were from the western, northwestern and northern sectors. Although the general features of the upper air climatology were fairly similar in the western Mediterranean, eastern Mediterranean, and the Black Sea, there were small differences in the flow patterns in each subregion. There were small but statistically significant differences between summer and winter flow patterns. However, these differences were not large enough to explain the consistent seasonal differences in the concentrations of trace elements and major ions reported in the literature. The potential source regions of elements and ions were determined taking into account the residence times of air masses eventually reaching the three sub-basins and emissions. The potential source regions affecting pollutant concentrations in the western Mediterranean are distinctly different from the source regions affecting the eastern Mediterranean and Black Sea atmospheres. The comparison of potential source regions with those determined experimentally demonstrated that the wet and dry depositions of pollutants during transport from their source regions to the three sub-basins have a profound influence on their observed concentrations in the receptor areas.

Key Words: Mediterranean, Black Sea pollution, Atmosphere, Aerosol, Emissions, Trajectory statistics, Trace elements

Giriş

Son yirmi yılda kirleticilerin uzun mesafeli taşınımına artan ilgi (Duce ve diğerleri, 1983; Rahn, 1981) ve atmosferik taşınımın bölgesel denizlerin kirlenmesindeki önemine ait bulguların ortaya çıkması (GESAMP, 1985; 1990; Bethoux ve Gentili, 1996), Akdeniz ve Karadeniz gibi bölgesel denizlerdeki atmosferik kirletici düzeylerinin ve bu bölgelere taşınma mekanizmalarının anlaşılması için harcanan çabaları yoğunlaştırmıştır.

Doğu ve Batı Akdeniz bölgelerindeki atmosferik parçacıklar ve yağmur suyunun kimyasal kompozisyona ilişkin çalışmalar Akdeniz'deki aerosol topluluğunun, deniz tuzu ve toprak gibi doğal bileşenler ile, her çalışma alanı için spesifik olan yapay bileşenleri içerdiğini göstermiştir (Dulac ve diğerleri, 1987; Bergametti ve diğerleri, 1989; Le Bolloch ve diğerleri, 1995; Mateu ve diğerleri, 1996; Guerzoni ve diğerleri, 1989; 1996; Guieu ve diğerleri, 1991; Migon ve Caccia, 1993; Chester ve diğerleri, 1984; Levin ve diğerleri, 1990; Foner ve Ganor, 1992; Kubilay ve Saydam, 1995; Al-Momani ve diğerleri, 1995, 1998; Güllü ve diğerleri, 1996; 1998; Luria ve diğerleri, 1996; Tov ve diğerleri, 1997). Doğal ve yapay bileşenlerin birbirlerine oranları, kaynak ve alıcı bölgelerin arasındaki mesafeye bağlı olarak bir bölgeden diğerine önemli ölçüde değişmektedir.

Akdeniz bölgesinde bu güne kadar yapılmış olan çalışmalar, ölçülen yapay element ve iyonların aerosol ve yağmurdaki konsantrasyonlarının kısa ve uzun dönemli değişimler gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Bu değişkenlik bölgede yapılan bütün çalışmalarda görüldüğünden, Akdeniz aerosol ve yağmur suyunun önemli bir özelliği olduğu kabul edilmektedir (Dulac ve diğerleri, 1987; Bergametti ve

diğerleri, 1989; Kubilay ve Saydam, 1995; Luria ve diğerleri, 1996). Ölçülen element ve iyon konsantrasyonlarındaki değişimler, aerosollerin bölgeye taşınma mekanizmaları, (Güllü ve diğerleri, 1998; Luria ve diğerleri, 1996) parçacıkların oluşma mekanizmalarındaki değişkenlikler (Güllü ve diğerleri, 1998; Al-Momani ve diğerleri, 1998) ve taşınma sırasındaki yıkanma (Bergametti ve diğerleri, 1989; Kubilay ve Saydam, 1995; Güllü ve diğerleri, 1998) ile açıklanmaktadır.

Yakın zamana kadar, Akdeniz bölgesinde atmosferik parçacıkların doğal bileşenleri, (elementlerin biyokimyası üzerindeki etkilerinden dolayı özellikle sahra tozları) yapay bileşenlerden daha çok ilgi çekmiştir. Batı ve Doğu Akdeniz bölgelerinde toplanıp, analiz edilen yağmur suyunun asidik yapıda oluşunun (ki bu yüksek emisyonlu bölgelerden taşındığını gösterir) (Le Bolloch ve diğerleri, 1995; Al-Momani ve diğerleri, 1998), ve toksik elementlerin atmosferik akılarının Akdeniz'in kirlenmesinde önemli rolü olduğunun (GESAMP, 1985, Bethoux ve Gentili, 1996) iyi bilinmesine rağmen, Akdeniz aerosol ve yağmurundaki yapay bileşenlere ait veriler azdır ve havzanın farklı bölgelerini etkileyen kaynak bölgeleri tam olarak karakterize edilmemiştir. Bu konuda yapılan sınırlı sayıda çalışmanın tamamı da Batı Akdeniz bölgesinde olduğundan (Plaisance ve diğerleri, 1996; Luria ve diğerleri, 1996; Mateu ve diğerleri, 1996a; Hernandez ve diğerleri, 1996; Sandroni ve Migon, 1997), özellikle Doğu Akdeniz ve Karadeniz bölgeleri için ciddi boyutta bir veri eksikliği söz konusudur.

Kirleticilerin kaynak bölgelerinden alıcı ortama taşınması emisyon bölgelerinden reseptör noktasına olan üst atmosferik hava akımının frekansını belirleyen "hava akım klimatolojisi" ve kaynak

bölgelerindeki emisyon değerleri tarafından belirlenmektedir. Akdeniz Bölgesi'ndeki hava akım klimatolojisi çeşitli yörünge modelleri (trajectory model) yardımıyla incelenmiştir (GESAMP, 1985; Dayan, 1986; Katsoulis ve Whelpdale, 1993; Kubilay, 1996). Ancak elde edilen model sonuçları bölgeye kirletici taşınımı açısından değerlendirilmemiştir.

Bu çalışmada, aerosol ve yağmurdaki yapay bileşenlerin kimyasal kompozisyonunu etkileyen potansiyel kaynak bölgeleri, Doğu Akdeniz, Batı Akdeniz ve Karadeniz gibi üç alt havzada üst atmosferik akım klimatolojisi ile literatürden elde edilen emisyon değerleri birleştirilerek değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımla elde edilen sonuçlar aynı bölge için deneysel kaynak belirleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Deneyisel

Örnekler, Mart 1992-Aralık 1993 tarihleri arasında, Akdeniz sahilinde, Antalya'nın 20 km batısında, Orman Bakanlığı'na ait bir dinlenme tesisinde toplanmıştır (31.00°E, 36.08N°). Aerosol örnekleri, Andersen marka ve PM-10 başlığı içeren bir Hi-Vol örnekleyici yardımıyla, selüloz (Whatman 41) filtreler üzerine toplanmıştır. Filtreler dörde bölünmüştür: Bir parçası enstrümental nötron aktivasyon analizi ile eser element analizi için, ikinci parçası SO_4^{2-} , NO_3^- ve Cl^- gibi iyonların iyon kromatografisi ve NH_4^+ ün kolorimetri teknikleri ile analizi için, üçüncü çeyreği atomik absorpsiyon spektrometresi ile ağır metallerin analizi için kullanılmıştır ve dördüncü çeyrek gelecekteki herhangi bir kullanım için saklanmıştır. İyonların ölçümü örneklerin su ekstratlarında VYDAC 302 IC anyon değiştirici kolona ve JASCO-875 UV görünür ışık dedektörüne bağlı Varian Model 2010 yüksek performans likit kromatograf ile yapılmıştır. Örnekler Al, K, Na, Mg, Fe, Zn, ve Ca için alev, ve Pb, Cu, Cd, Ni, V ve Cr için grafit fırın atomik absorpsiyon spektrometresi ile Perkin Elmer HGA 700 elektrotermal atomizasyon sistemine bağlı Perkin Elmer 1100B spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. Örneklerin enstrümental nötron aktivasyon analizleri Ölmez tarafından geliştirilen prosedür ile yapılmıştır [1989]. Nötron aktivasyon analizi için ayrılan dörtte bir filtreler küçük parçalara ayrılıp Massachusetts Teknoloji Enstitüsü araştırma reaktöründe $8 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ akıda termal nötronlarla bombardıman edilmiştir. Kimyasal analitik metodların ayrıntıları başka yerlerde verilmiştir [Güllü, 1996].

Kullanılan Yöntemler

Yapılan çalışmanın temeli üst atmosfer hava hareketlerinin yörüngelerinin günlük bazda çıkartılması ve elde edilen sonuçların Avrupa ve ülkemizdeki emisyonlarla birlikte değerlendirilmesi olduğundan, emisyon değerlerinin doğruluğu ve hava kütlelerinin yörüngelerinin (trajectory) doğru olarak bulunması, elde edilen sonuçların güvenilirliği açısından büyük bir önem taşımaktadır. Hava hareketlerinin yörüngelerinin çıkartılmasında "NASA, Air Resources Laboratory'de" geliştirilen "Branching Atmospheric Trajectory" (BAT) modeli kullanılmıştır.

BAT 1980'li yıllarda çok yaygın olarak kullanılmış, ve doğruluğu yeterince test edilmiş bir yazılımdır. İso-barik bir model olan BAT'ın önemli özelliği, gece gündüz arasındaki rüzgar değişimlerini de taşınımında göz önüne almasıdır. Bu gün, hava kütlelerinin hareketlerini izlemede, daha hassas olan "isotropik" modeller kullanılmaktadır. Grubumuzda yapılan değerlendirmelerde, BAT, Dünya Meteoroloji Örgütüne bağlı, Kısa Mesafeli Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından geliştirilen ve bu gün Avrupa'da en yaygın olarak kullanılan modellerden birisi olan, 3-boyutlu, isotropik ECMWF modeli ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonunda, her iki model ile hesaplanan hava hareket yörüngeleri günlük bazda, teker teker ele alındığında aralarında farklılıklar olduğu, ancak yıllık bazda yapılan değerlendirmelerde her iki modelin de benzer sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler yıllık ortalamalar düzeyinde olduğundan, hesaplar kullanımı daha kolay olan BAT koduyla yapılmıştır.

Hava kütlelerinin 850 mb (yaklaşık olarak 1500 m) düzeyindeki hareketleri hesaplandığından, model girdileri olarak değişik yüksekliklerdeki meteorolojik veriler kullanılmaktadır. Model çalışma alanı olarak 65°K ve 25°K enlemleriyle, 10°B ve 40°D boylamları arasında kalan bölge seçilmiştir. Bu çalışma alanı, İngiltere'nin batısından başlayıp, Asya'nın ortasına, Sibirya'dan başlayıp, Afrika'nın ortasına kadar uzanan bir bölgeyi içermektedir. Modelin çalışabilmesi için böylesine geniş bir alandaki bütün üst atmosfer ölçüm istasyonlarından, günlük verilerin temin edilmesi gerekmektedir. Bu verilerin bir bölümü Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden, bir bölümü ise ABD meteoroloji örgütünden (NCAR) temin edilmiştir.

Yukarıda anlatılan model kullanılarak, Akdeniz

ve Karadeniz bölgelerinde 3 noktada, 3 yıl süre ile (1992, 1993 ve 1995 yılları), hergün ve günde 1 defa hava kütlelerinin geriye dönük 3-günlük yörüngeleri hesaplanmıştır. Model çalışmasına her noktada, hergün öğlen saat 12:00'de başlanmış ve o saatte istasyon noktasında bulunan hava kütlelerinin geriye dönük olarak 3-gün süre ile izlediği yörünge üçer saat aralıklı koordinatlar olarak hesaplanmıştır. Bu şekilde toplam 4,300 yörünge ve 311,000 yörünge segmenti elde edilmiştir.

Yapılan hesaplar için, Batı Akdeniz havzasında Cape Cavallo (Fransa) ($42^{\circ}31'N$, $8^{\circ}40'E$), Doğu Akdeniz havzasında Antalya'nın 20 km batısında bir nokta ($36^{\circ}08'N$, $31^{\circ}00'E$), Karadeniz havzasında ise Amasra ilçesinin 20 km doğusunda bir nokta ($41^{\circ}47'N$, $32^{\circ}29'E$) seçilmiştir. Seçilen noktaların buldukları havzalara olan taşınımı temsil ettiği kabul edilmiştir. Çalışma için seçilen noktaların her birisi, bir istasyonun ve bu istasyonda yapılmış uzun dönemli kirletici ölçümlerinin bulunduğu noktalardır.

Batı Akdeniz bölgesini temsil eden, Korsika adasında bulunan Cape Cavallo'da bir Fransız grubunun 3 yıllık aerosol ve yağmur ölçümleri bulunmaktadır (Bergametti ve diğerleri, 1989).

Doğu Akdeniz'de seçilen nokta, yukarıda da belirtildiği gibi, Antalya'nın 20 km batısında yer almaktadır. Bu bölgede 1992'den beri grubumuzca aerosol ve yağmur suyu örnekleri toplanıp analiz edildiğinden, parçacık ve yağmurun kimyasal kompozisyonu, parçacıkların büyüklük dağılımı ve zamana bağlı değişimleri bilinmektedir (Al-Momani, 1995; Al-Momani ve diğerleri, 1998; Güllü, 1996; Güllü ve diğerleri, 1996; 1998). Karadeniz'de seçilen noktada yine grubumuz tarafından 1993 yılından beri çalıştırılan bir istasyon mevcut olup, bu nokta için de kompozisyon bilgileri mevcuttur (Karakas, 1999).

Çalışmada, yörünge hesaplarının yanında, emisyon verileri de kullanılmıştır. Bölgesel ölçekli taşınım incelendiğinden, yalnız ülkemizdeki emisyonlar değil aynı zamanda Avrupa'nın farklı yörelerindeki emisyon değerleri kullanılmıştır. Gerek ülkemizdeki ve gerekse Avrupa'daki emisyon değerleri EMEP tarafından gerçekleştirilen emisyon envanterinden (Hjellbrekke, Schaug ve Skjelmoen, 1996) temin edilmiştir.

Tartışma ve Sonuçlar

Alıcı ortama ulaşan hava kütlelerinin yönere göre frekansı, alıcı noktasını etkileyen kaynak bölgelerini

belirleyen önemli bir faktördür. Herhangi bir istatistik değerlendirme yapmaksızın, Akdeniz ve Karadeniz havzalarında seçilmiş olan üç istasyon noktasına kirleticilerin emisyonların yüksek olduğu Batı Avrupa'dan ve emisyon kontrolü yaygın olarak uygulanmayan Polonya, Çek Cumhuriyeti gibi Doğu Avrupa ülkelerinden geldiği tahmin edilebilir.

Bütün bu beklenen kaynak bölgeleri seçilen alıcı noktalara göre Batı (B), Kuzeybatı (KB), Kuzey (K) ve Kuzeydoğu (KD) sektörlerinde yer almaktadır. Diğer rüzgar sektörlerinde yer alan ülkeler aynı düzeyde endüstrileşmemiş olduğundan, hava kütlelerinin bu bölgelerden gelmesi halinde Akdeniz ve Karadeniz'e kirletici getirmesi beklenmemektedir. Ancak elementlerin biyojeokimyasal döngüsünde önemli bir yeri olan ve Akdeniz'de sedimentasyonu belirlediği öne sürülen Sahra tozlarının (Chester ve diğerleri, 1977; Ganor ve Mamane, 1982; Tomadin ve diğerleri, 1984) taşındığı Güneybatı (GB), Güney (G) ve Güneydoğu (GD) sektörleri, farklı bir nedenle de olsa önemli sektörlerdir.

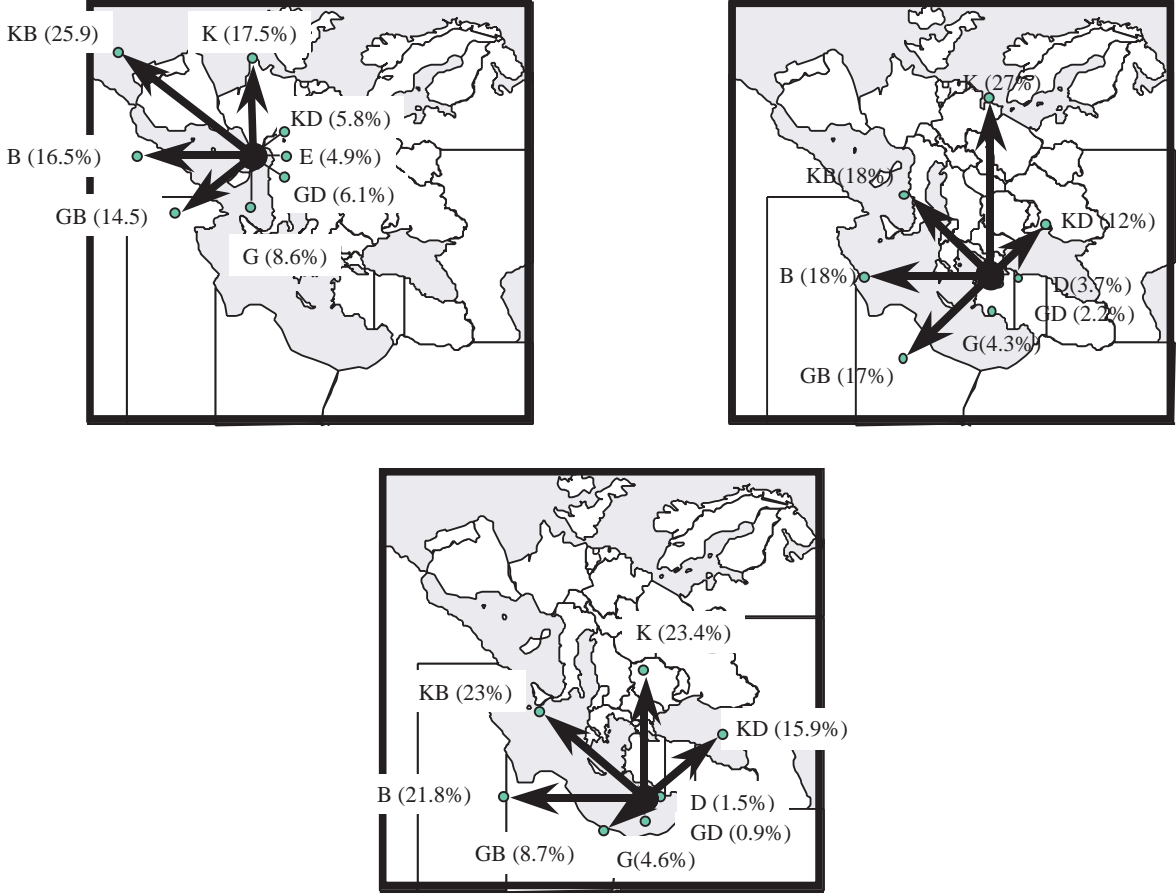
Seçilen üç alıcı noktasına 850 mb hava kütlelerinin her bir rüzgar sektöründen taşınım frekansını gösteren üst atmosferik yıllık yörünge gülleri (trajectory rose) Şekil 1'de verilmiştir. Yörünge gülleri hazırlanırken, her alıcı noktası için model yardımıyla günlük olarak hesaplanan hava kütlesi yörüngeleri, üçer saatlik segmentlere bölünmüş ve 8 rüzgar sektörünün her birisindeki segment sayısı bulunmuş ve toplam segmentin yüzdesi olarak ifade edilmiştir.

Üç bölgedeki yörünge gülleri genel hatlarıyla birbirine benzemektedir. Her birisinde hava kütlelerinin taşınım frekansının B, KB ve K sektörlerinde yüksek olduğu, diğer rüzgar sektörlerinden taşınım frekansının ise daha düşük olduğu görülmektedir. Doğu Akdeniz ve Karadeniz havzalarına olan taşınım frekans dağılımı özellikle benzerdir. İki yörünge güllü arasındaki tek fark Karadeniz atmosferindeki alıcı noktasına GB sektöründen yaklaşık iki kat fazla katkı olmasıdır. Doğu Akdeniz ve Karadeniz bölgelerine D ve GD sektörlerindeki taşınım frekanslarında ufak bazı farklılıklar olmasına rağmen, bu farklılıklar kirletici taşınımı açısından önemli değildir çünkü, (1) D ve GD sektörlerinin toplam akışa katkısı çok azdır, (2) Doğu Akdeniz ve Karadeniz havzalarında seçilen alıcı noktalara göre D ve GD sektörlerinde emisyonları yüksek, endüstrileşmiş bir ülke bulunmadığından, bu sektörlerden kirletici taşınımı zaten çok az olmaktadır.

Batı ve Doğu Akdeniz atmosferleri için hesap-

lanan yörünge gülleri genel hatları itibarıyla benzer olmasına rağmen aralarında bazı farklılıklar da bulunmaktadır. Batı Akdeniz’de K ve KD sektörlerinin toplam akışa katkısı Doğu Akdeniz’e aynı sektörlerden olan katkıyla karşılaştırıldığında daha azdır. Yalnız, alıcı noktaları için hesaplanan akış klimatolojisi, kirletici taşınımı açısından değerlendirilirken önemli bir noktanın göz ardı edilmemesi gerekir. Kirleticilerin Doğu ve Batı Akdeniz atmosferine taşınmasının beklendiği sektörler aynı değildir. Doğu Akdeniz ve Karadeniz at-

mosferine kirletici taşınımının KD, K, KB ve B sektörlerinden olması beklenirken, Batı Akdeniz için yüksek emisyon alanlarını içeren sektörler GD, D, KD, K ve KB’dır. Dolayısıyla, GD, D, KD ve K sektörlerinin Batı Akdeniz’deki toplam akışa katkılarının az olması merkezi Avrupa ve eski SSCB’nin aerosol ve yağmurun kimyasal kompozisyonuna katkılarının az olduğunu ve Doğu ile Batı Akdeniz atmosferlerini etkileyen potansiyel kaynak bölgelerinin farklı olması gerektiğini kalitatif olarak göstermektedir.



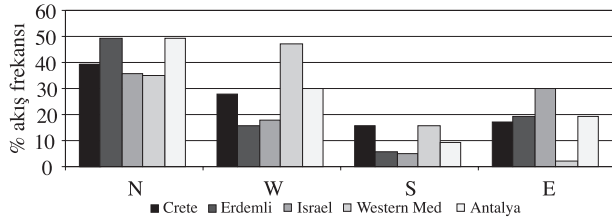
Şekil 1. Üst atmosfer yıllık yörünge gülleri

Akdeniz Bölgesi’ndeki akış klimatolojisi daha önceleri farklı araştırmacılar tarafından da incelenmiştir. Ancak bu çalışmaların hiçbirisinde, elde edilen sonuçlar bölgeye kirletici taşınımı açısından değerlendirilmemiştir. Batı ve Doğu Akdeniz için farklı çalışmalarda 4 rüzgar sektörü için akış frekansları Şekil 2’de verilmiştir. Bütün çalışmalarda görülen temel özellik üst atmosfer hava hareketlerinin K ve B’den daha sık, G ve D sektörlerinden ise

daha seyrek olmasıdır. Ancak yapılan çalışmalarda bu genel benzerliğin yanında bazı farklılıklar olduğu da gözlenmektedir. Yaptığımız çalışmada elde edilen sonuçlar, Kubilay (1996) tarafından bu çalışmada kullanılan alıcı noktasının yaklaşık 400 km doğusunda ve Katsoulis ve Whelpdale (1993) tarafından 400 km GB’sında bir nokta için hesaplanan frekans dağılımları ile uyumludur. Ancak, Dayan (1986) tarafından İsrail sahili’nde bir

nokta için yapılan hesaplarda K sektörü için hesaplanan frekansın, bu çalışmada bulunan frekansdan %10 kadar daha düşük, D sektörü için elde edilen frekansın ise bu çalışmada elde edilen frekansın %10 kadar daha yüksek olduğu görülmektedir.

Batı Akdeniz bölgesi için bu çalışmada hesaplanan 3 yıllık ortalama frekans dağılımı GESAMP (1985) tarafından hazırlanan frekans dağılımı ile karşılaştırıldığında, GESAMP çalışmasında K sektörü için elde edilen frekansın, bu çalışmada aynı sektör için hesaplanan frekansın %12 kadar yüksek, B sektöründe ise %16 kadar düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Akdeniz'deki farklı bölgelere rüzgar sektörlerinden ortalama akış frekansı

Değişik çalışmalar arasındaki farklılıklar hava kütlelerinin yörüngelerinin farklı modellerle hesaplanması, hesaplanan her yörüngenin hangi rüzgar sektöründe bulunduğu belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmış olması ve hesapların değişik yıllar için yapılmış olması gibi nedenlerden kaynaklanmış olabilir. Bu karşılaştırma, bu güne kadar yapılan çalışmaların Akdeniz Bölgesi'ndeki akış klimatolojisinin genel özelliklerini ortaya koymakla birlikte, Doğu ve Batı Akdeniz bölgelerinin akış klimatolojilerini ayırt etmek için yeterince uyumlu olmadığını göstermektedir.

Kirletici taşınımı açısından önemli bir nokta, yukarıda anlatılan akış klimatolojisinde mevsimsel değişimlerin olup olmadığıdır. Üst atmosfer hava hareketlerinin frekans dağılımları bir mevsimden diğerine önemli farklılıklar gösteriyorsa, alıcı noktaları değişik mevsimlerde farklı kaynak bölgelerinden etkileneceği için kirletici taşınımı konusunda yıllık bazda bir değerlendirme yapmak anlamlı olmayabilir. Seçilen 3 alıcı noktası için yaz ve kış mevsimleri için hesaplanan 850 mb hava kütlelerinin frekans dağılımları Şekil 3'de verilmektedir. Bu çalışmada yaz mevsimi Mayıs ve Ekim ayları arasındaki periyodu, kış mevsimi ise yılın geri kalan bölümünü içermektedir. Yılı farklı şekilde mevsimlere bölmek mümkündür. Ancak, Akdeniz bölgesinde, bu güne

yapılan ölçüm çalışmalarında, kirleticilerin mevsimsel değişimlerinin yağmur ile yakinen ilgili olduğu gösterildiğinden, yaz ve kış mevsimleri bu değişimleri maksimize edecek şekilde, yağmur miktarına bağlı olarak seçilmiştir (Al-Momani ve diğerleri, 1998; Güllü ve diğerleri, 1998). Akdeniz bölgesinde yaz olarak nitelediğimiz Mayıs – Ekim ayları arasında yıllık yağışın % 20'si, kış olarak tanımlanan yılın geri kalan bölümünde ise yıllık yağışın % 80'i düşmektedir.

Şekil 3'de de görüldüğü gibi, Doğu Akdeniz ve Karadeniz bölgelerinde K, KD, ve KB sektörlerinden olan akış frekansı yaz boyunca yüksek, G, GB, ve B sektörleri için hesaplanan frekanslar ise kış mevsiminde yüksektir.

Batı Akdeniz havzasında ise hava kütleleri G, GB, ve B sektörlerinden yaz mevsimi boyunca, K, ve KD sektörlerinden ise kış mevsimi boyunca daha sık taşınmaktadır. Akış klimatolojisinde benzer mevsimsel farklılıklar daha önce tartışılan diğer çalışmalarda da gözlenmiştir (GESAMP, 1985; Katsoulis ve Whelpdale, 1993; Dayan, 1986; Kubilay, 1996).

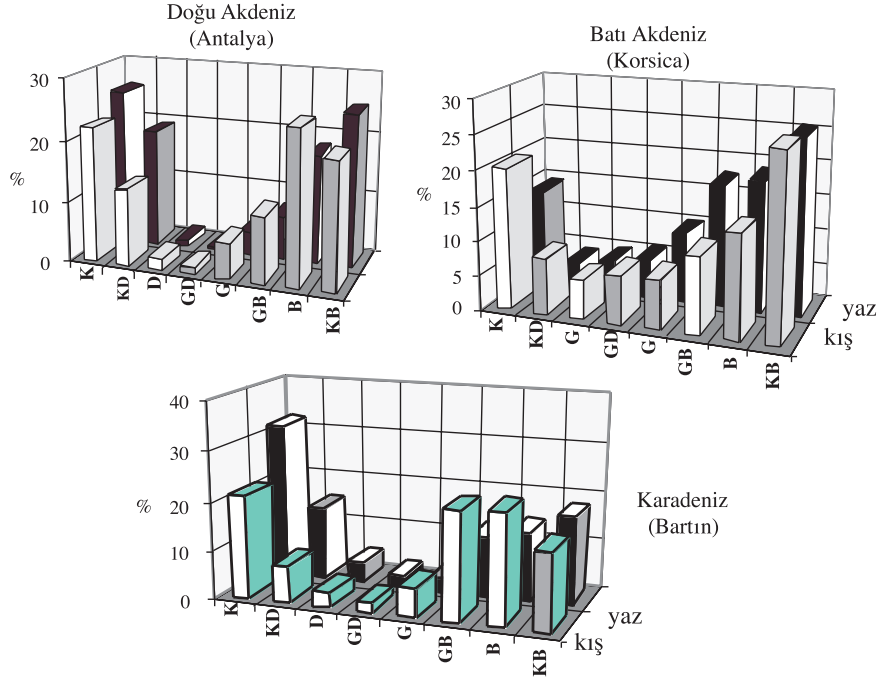
Üst atmosfer akış klimatolojisindeki mevsimsel değişkenlikler gerek bu çalışmada ve gerekse daha önce tartışılan diğer çalışmalarda %5 ile %15 arasında değişmektedir. Bütün bu çalışmalarda oldukça büyük sayıda hava kütlesi yörüngesi ve yörünge segmenti kullanıldığından (örneğin bu çalışmada her bir alıcı noktası için 1000 dolayında yörünge ve 78 000 segment kullanılmıştır. Diğer çalışmalardaki yörünge ve segment sayıları bundan az değildir) bu farklılıklar ne kadar az olursa olsun istatistiki olarak önemlidir.

Rüzgar sektörlerindeki frekansların mevsimsel farklılıkları ne kadar küçük olursa olsun istatistiki açıdan bakıldığında gerçek farklılıklardır. Ancak aynı rakamların kirletici taşınımı açısından farklı bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Bu konuda cevaplanması gereken önemli bir soru, gözlenen %5 - %15 düzeylerindeki farklılıkların, Akdeniz atmosferindeki aerosol ve yağmurun kimyasal kompozisyonunda görülen mevsimsel farklılıkları açıklayıp açıklayamayacağıdır. Kirletici kökenli eser elementlerin ve iyonların Akdeniz atmosferindeki konsantrasyonu yaz mevsimi boyunca kışa göre 2-3 kat fazladır. Bu genel özellik Doğu ve Batı Akdeniz'de bu güne kadar yapılan bütün aerosol ve yağmur ölçümlerinde gözlenmiştir (Güllü ve diğerleri, 1998; Al-Momani ve diğerleri, 1998; Kubilay ve Saydam, 1995; Dulac ve diğerleri, 1978; Bergametti ve

diğerleri, 1989). Kirleticilerin konsantrasyonundaki bu kadar büyük mevsimel farklılıkların her bir sektörden gelen ve en çok 15% kadar olan akış frekansındaki mevsimsel değişimler ile açıklanması mümkün değildir.

Buraya kadar tartışılan yörünge güllü ve akış klimatolojisi yaklaşımları Karadeniz, ve Akdeniz havzalarında hava kütlelerinin hangi yönlerde hareket ettiklerini anlamak için çok yararlı olmakla

birlikte, bu yöntemler parçacıkların ve yağmurun kimyasal kompozisyonunu etkileyen potansiyel kaynak bölgelerinin bulunmasında yeterli olamamaktadır. Kaynak bölgesinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin her kaynak bölgesini ayrı ayrı değerlendirebilmesi gerekir. Oysa, yukarıda tartışılan yöntemlerle her rüzgar sektöründe bulunan farklı kaynak bölgelerin birbirinden ayrılması mümkün değildir.



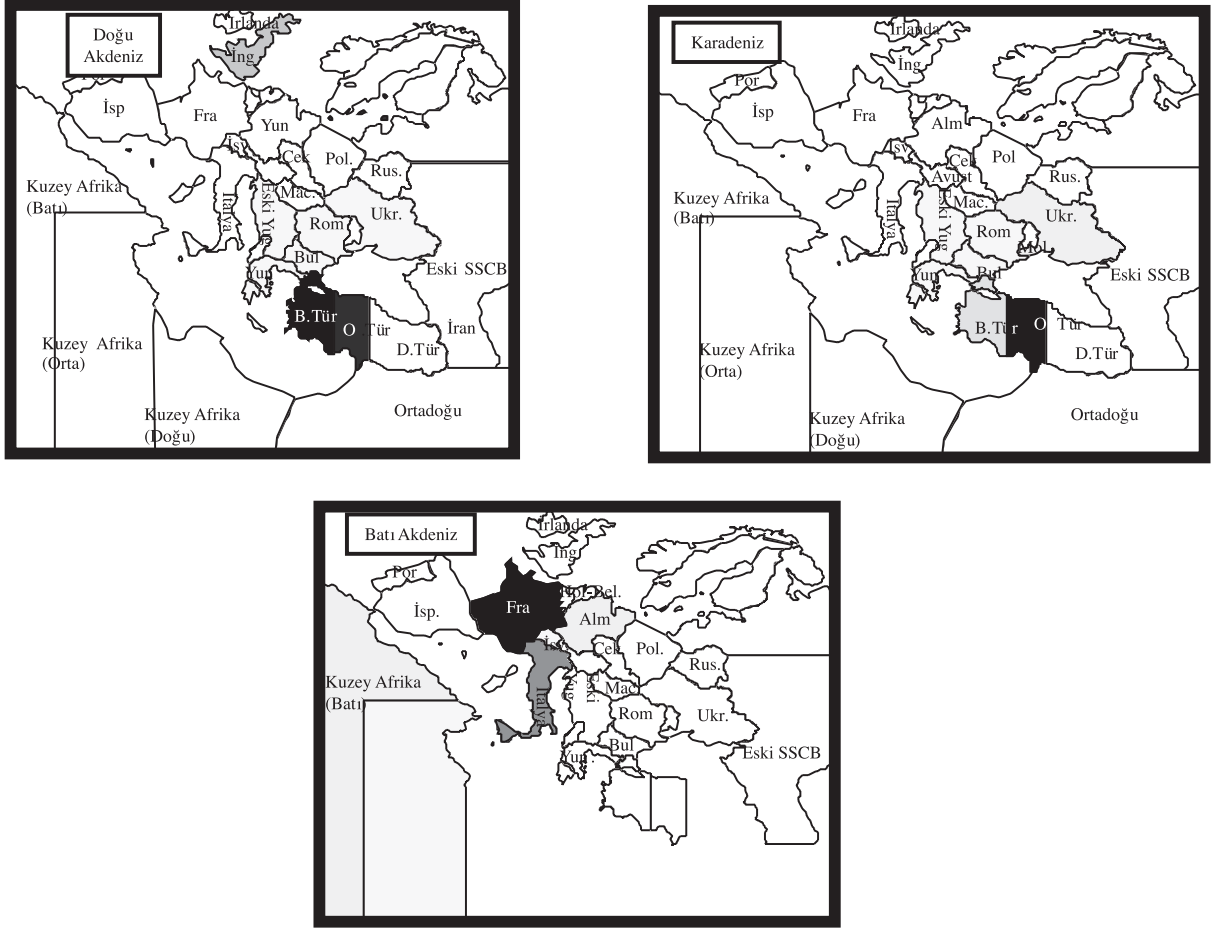
Şekil 3. Seçilen 3 alıcı nokta için yaz ve kış mevsimleri için hesaplanan 850 mb hava kütlelerinin frekans dağılımı.

Yukarıda anlatılan nedenlerle, değişik rüzgar sektörlerindeki taşınım frekanları ile kaynak bölgeleri arasındaki ilişkiyi bulabilmek için değişik bir yaklaşım kullanmak gerekmiştir. Bu amaçla çalışma alanı (daha önce de belirtildiği gibi, İngiltere'nin batısından, Orta Asya'ya, Sibirya'dan Afrika'nın ortasına kadar uzanmaktadır) 32 alt bölgeye bölünmüştür. Alt bölgelerin belirlenmesinde EMEP grid sistemi baz alınmıştır. Ancak her EMEP gridi bir alt bölge olarak seçilmemiş, Avrupa'daki her ülke ayrı bir alt bölge olacak şekilde gridler birleştirilmiştir. İleride anlatılacak olan istatistik yöntemlerdeki hata sınırları her bir alt bölgeye düşen yörünge segmenti sayısına bağlı olduğundan, çalışma alanının farklı bölgeleri için

değişik alt bölge tanımları yapmak gerekmiştir. Alıcı noktalarındaki hava akımı genellikle B, KB ve K sektörlerinde olduğundan, Avrupa'daki bütün alt bölgelerde (ülkelerde) yeterince segment bulunmaktadır. Ancak KD, D, GD ve G sektörlerinden hava hareketi seyrek olduğundan, bu sektörlerde alt bölgeler daha geniş olarak tanımlanmıştır. Örneğin eski SSCB ülkeleri, ve Orta Doğu bölgesi, bir çok ülkeyi içermelerine rağmen birer alt bölge olarak kabul edilmiştir. Aynı şekilde Afrika'nın çalışma alanında kalan kısmı üç alt bölgeye ayrılmıştır. Doğu Akdeniz'deki alıcı noktaya gelen hava kütlelerinin aşağı yukarı tamamı Türkiye üzerinden geçtiğinden, Türkiye'yi batı, orta ve doğu olmak üzere üç alt bölgeye ayırmak mümkün olmuştur.

Uygulanan yöntemde, her bir alt bölgedeki yörünge segmentleri sayılarak, alt bölgelerdeki toplam segment sayılarının, hava kütesinin Karadeniz, Doğu, ve Batı Akdeniz'deki seçilen alıcı nokta-

larına gelmeden önce alt bölgeler üzerinde geçirdiği süreyi (ikamet süresi) gösteren bir index olduğu kabul edilmiştir. İkamet süresinin her bir alt bölgede aldığı değerler Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. İkamet sürelerinin alt bölgelerdeki dağılımı

Hava kütlelerinin Batı Akdeniz havzasında seçilen alıcı noktaya varmadan önce zamanın çoğunu Fransa, İtalya, İngiltere üzerinde geçirdikleri, Almanya ve Kuzey Afrika'nın batısı olarak kabul edilen alt bölgelerdeki ikamet sürelerinin de, birinci gruptaki bölgelerdeki kadar olmasa da önemli olduğu görülmektedir. Doğu Akdeniz için, yörünge segmentlerinin yaklaşık % 80 kadarının batı ve orta Türkiye'de olduğu, hava kütlelerinin zamanın daha az ancak ihmal edilemeyecek bir bölümünü Yunanistan, Bulgaristan, eski Yugoslavya, Romanya, Ukrayna ve Kuzey Afrika'nın doğu kısımlarında geçirdiği görülmektedir. Karadeniz'e gelen yörünge segmentlerinin yaklaşık % 65'i orta Türkiye olarak tanımlanan alt bölgede olduğu,

batı Türkiye, Ukrayna, Romanya, Bulgaristan, Yunanistan, eski Yugoslavya, Macaristan, İtalya, Avusturya, ve eski SSCB'deki ikamet sürelerinin ise bu bölgelerden taşınımı mümkün kılacak düzeylerde olduğu görülmüştür.

Üç havzanın hepsinde, hava kütlelerinin ikamet süreleri seçilen alıcı bölgelere en yakın alt bölgelerde yüksektir. Bunun sebebi, nereden gelirse gelsin, hava kütlesi yörüngelerinin çok büyük bir bölümünün alıcı noktasına varmadan önce bu alt bölgelerden geçmesidir. Bu tartışma, sadece hava kütlelerinin alt bölgelerde geçirdiği zaman olarak değerlendirildiğinde, alıcı noktalara en yakın alt bölgelerin (Avrupa için, ülkelerin) o alıcı noktasındaki parçacıkların ve yağmur suyunun

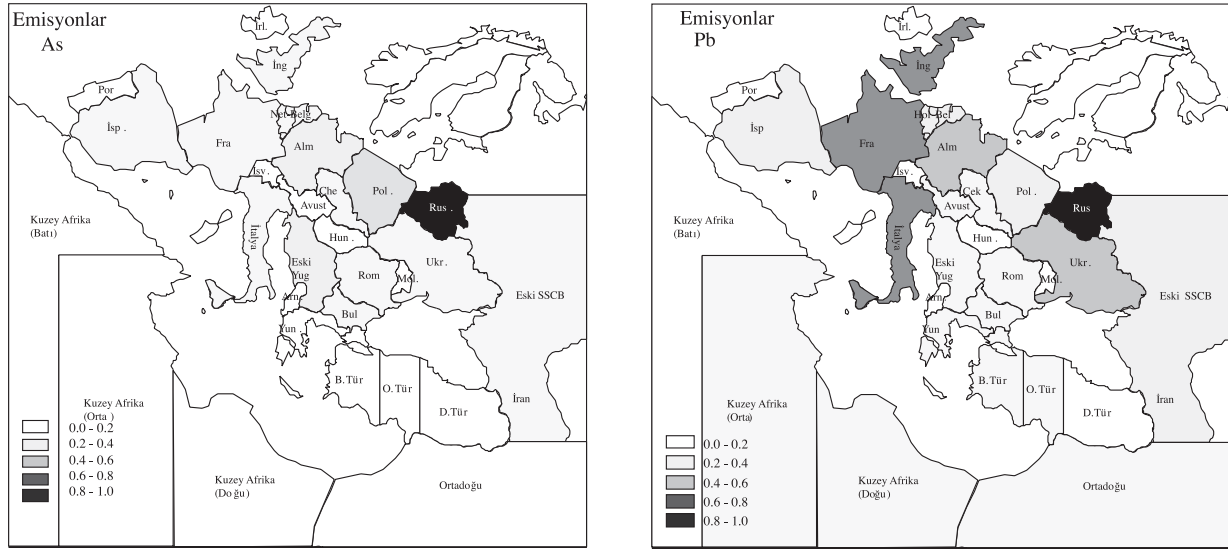
kimyasal kompozisyonunu belirleyen potansiyel kaynak bölgeleri olduğunu göstermektedir.

Ancak potansiyel kaynak bölgelerini sadece hava kütlelerinin ikamet sürelerine bakarak belirlemek, çok önemli diğer bir faktör olan emisyonları göz ardı etmek olacağından, bu şekilde elde edilen potansiyel kaynak bölgeleri hatalı olacaktır. Örneğin, bir hava kütlesi, bir alt bölge üzerinde zamanının tamamına yakın bir kısmını geçirse bile, o alt bölgede kirletici emisyonu yoksa veya çok az ise, alıcı noktasına kirletici taşınması söz konusu olmayacaktır.

Dolayısı ile, eğer potansiyel kaynak bölgeleri belirlenecek ise, kullanılacak yöntemin hava

kütlelerinin ikamet süreleri ile birlikte, her bir alt bölgedeki kirletici emisyonlarını da göze alması gerekmektedir. Farklı kirleticilerin, çalışma alanındaki emisyon dağılımları farklı olduğundan, potansiyel kaynak bölgelerinin kirleticiler için ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir.

Bu çalışmada potansiyel kaynak bölge hesapları, seçilen her üç alıcı noktasında ölçüm sonuçları mevcut olan S, N, Cd, Zn, Cu, Pb, ve As için yapılmıştır. Çalışma alanında bulunan ülkeler bazında eser element ve iyon emisyonları bu güne kadar yapılan EMEP emisyon envanterlerinden elde edilmiştir. Emisyonlar As ile Pb için Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. As ve Pb emisyonlarının alt bölgelerdeki dağılımı

Şekilden de görüleceği gibi, Pb ve As emisyonları Ukrayna, Rusya, Polonya, Almanya, İtalya, Fransa, İspanya, ve İngiltere gibi çalışma alanının batı ve kuzeyinde yer alan endüstrileşmiş veya emisyon kontrolü çok sınırlı olan ülkelerde yüksektir. Emisyonların S, N, Cd, Zn, ve Cu için de ufak farklılıklarla benzer şekilde dağıldığı görülmüştür. Çalışma alanının doğu ve güneyinde yer alan kalkınmakta olan ülkelerde ise, bütün kirleticilerin emisyon değerleri oldukça düşüktür.

Karadeniz, Doğu ve Batı Akdeniz atmosferlerindeki parçacık ve yağmurun kimyasal kompozisyonunu etkileme potansiyeli olan kaynak bölgelerini ortaya çıkarmak için, seçilmiş olan her alıcı noktası için, alt bölgelerin 850 mb hava kütlelerine olan fraksiyonel katkısı, o alt bölgedeki emisyon değeri ile çarpılmış ve elde edilen sonuçlar As, ve Pb için Şekil 6 ve 7'de, geri kalan element ve iyonlar için de Tablo

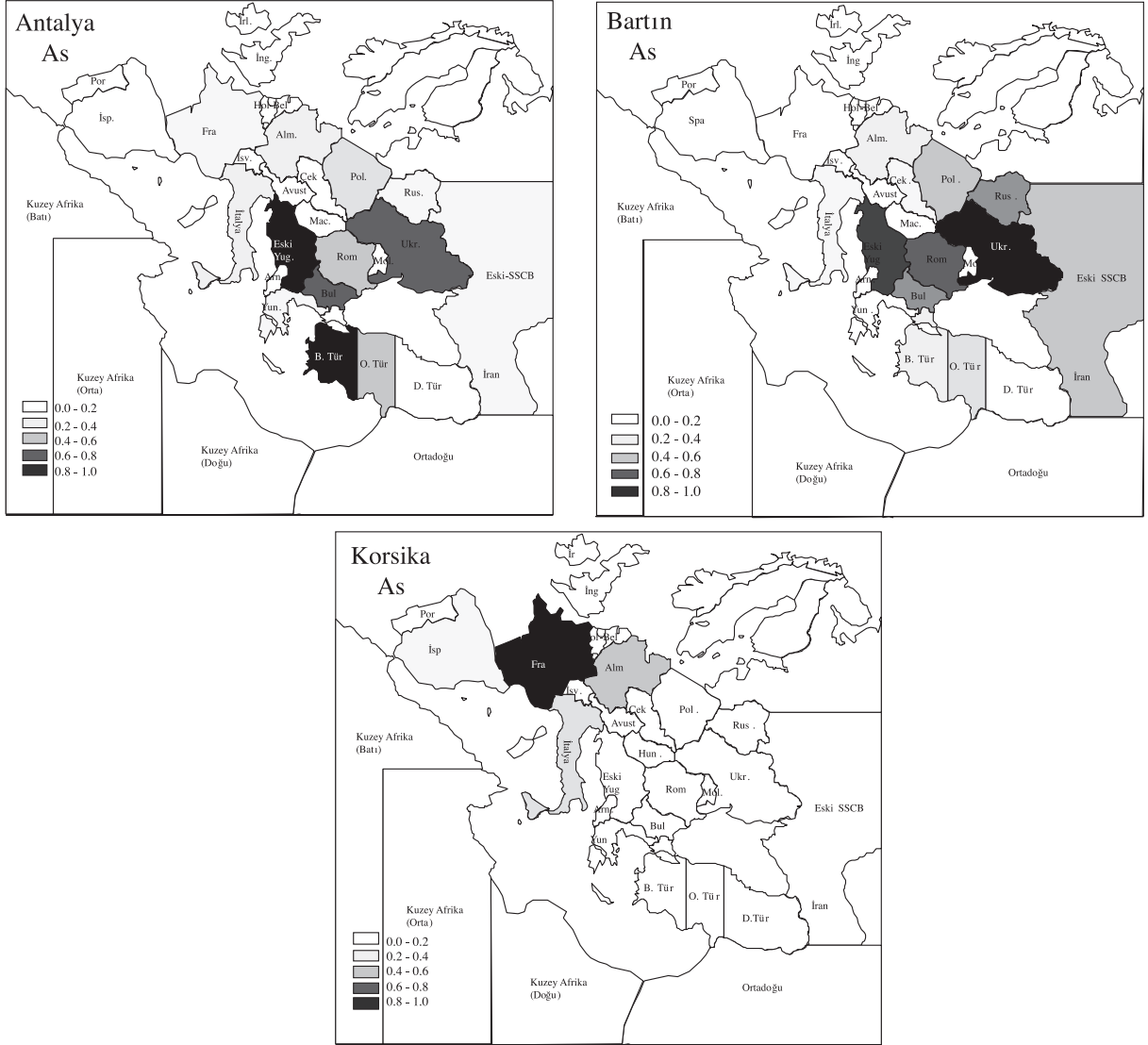
1'de verilmiştir.

Tablodan da görülebileceği gibi, Doğu ve Batı Akdeniz atmosferini etkileyen potansiyel kaynak bölgeleri büyük ölçüde farklılıklar göstermektedir. Doğu Akdeniz atmosferinde ölçülen kirletici düzeyleri, büyük ölçüde Türkiye'nin batı ve orta kısımları, Hırvatistan, Sırbistan, Bulgaristan, Romanya, Ukrayna, Polonya ve İtalya'daki emisyonların etkisi altındadır. Aynı bölgeyi yukarıda sıralanan kaynak bölgeleri kadar olmasa da Almanya, Fransa ve Rusya'daki emisyonların da etki ettiği söylenebilir. Öte yandan, Batı Akdeniz'deki aerosol ve yağmurun kimyasal bileşimi ise Fransa, Almanya, İtalya, İspanya, ve İngiltere'deki emisyonlar tarafından belirlenmektedir.

Karadeniz ve Doğu Akdeniz'i etkileyen potansiyel kaynak bölgeleri benzer dağılımlar göstermesine rağmen, alt bölge katkılarının büyüklüğünde bazı

farklılıklar bulunmaktadır. En önemli fark, Türkiye'nin batısındaki emisyonlar yüzünden Doğu Akdeniz'e olan yüksek katkısıdır. Daha önce belirtildiği gibi, her iki bölgeye de 850 mb düzeyinde

hava kütleleri büyük ölçüde kuzeyden hareketle ulaşmakta, hava kütlelerinin G ve GB sektörlerinden gelmesi oldukça seyrek görülmektedir.



Şekil 6. As emisyon-ikamet süresi indeksinin alt bölgelerdeki dağılımı

Marmara bölgesinde bulunan endüstriyel alanlar Doğu Akdeniz'in kuzeyinde ve Karadeniz'in güneyinde yer aldığından, bu alt bölgedeki emisyonların Doğu Akdeniz bölgesine etkisi, Karadeniz bölgesinden daha çok olmaktadır. Ayrıca, hem Karadeniz'in, hem de Doğu Akdeniz'in K ve KB'sında yer alan Ukrayna, Rusya, Polonya, gibi ülkelerdeki emisyonların, bölgelerin Karadeniz'e yakınlığından dolayı Karadeniz atmosferinde ölçülen kirletici düzeylerine

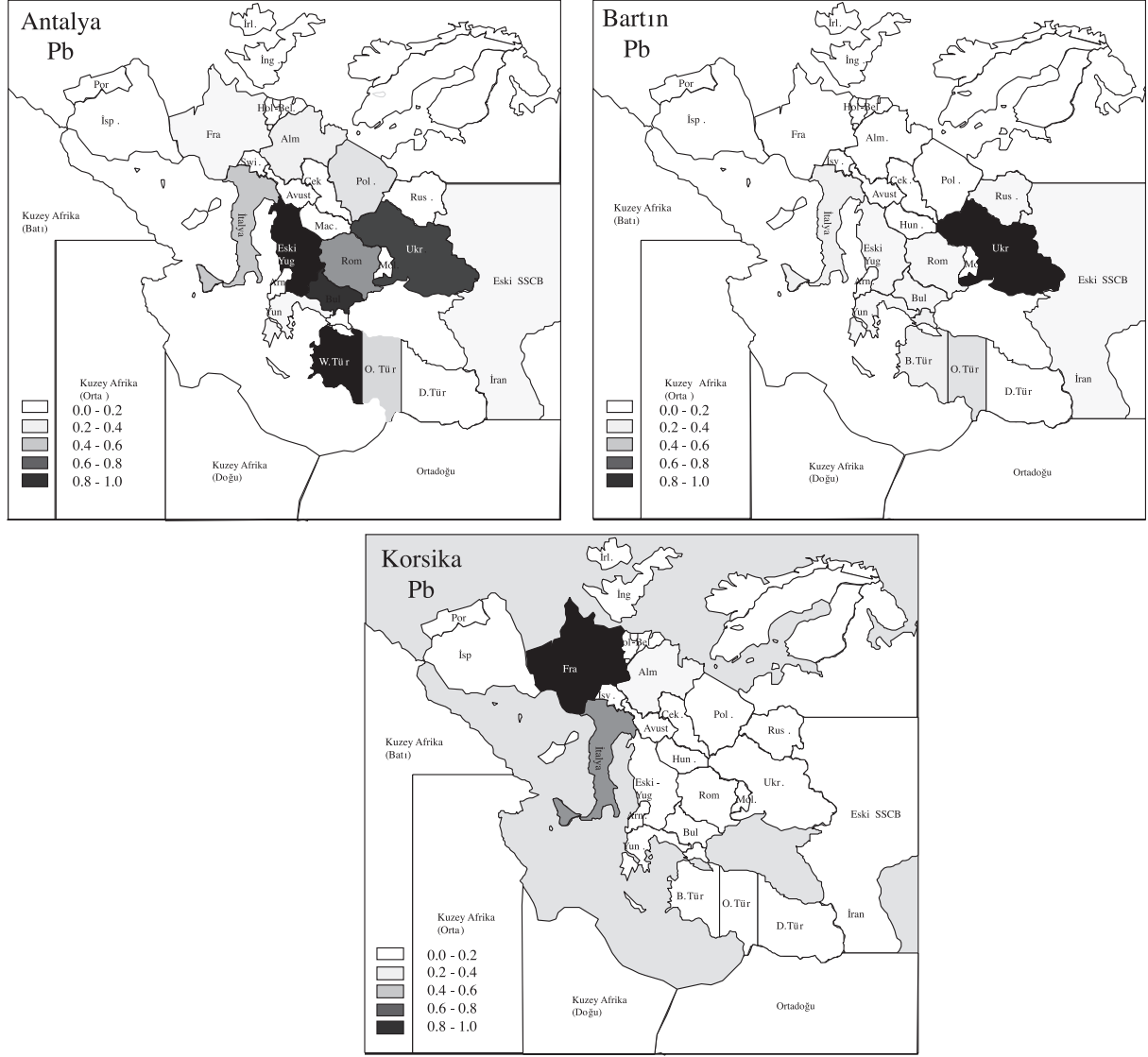
katkıları, doğu Akdeniz'deki kirletici düzeylerine katkılarından daha fazla olmaktadır.

Yukarıda verilen, potansiyel kaynak bölgeleri ile ilgili tartışma, S, N, As, Pb, Cd, ve Zn ile sınırlı olmasına rağmen, bu elementlerin çok farklı kaynaklardan atmosfere atılması nedeniyle, yapay kökenli diğer elementler ile ilgili olarak yapılacak benzer bir değerlendirme pek farklı sonuç vermeyecektir.

Buraya kadar yapılan tartışmalarda, çalışma

alanı içerisinde kalan çeşitli alt bölgelerin Karadeniz ile doğu ve batı Akdeniz bölgelerindeki aerosol ve yağmur suyunun kimyasal kompozisyonlarına yapabilecekleri katkı düzeyleri, teorik bazda değerlendirilmiştir. Eğer herhangi bir alıcı noktada, deneysel ölçüm sonuçları mevcut ise, bu sonuçların, hava kütlelerinin yörüngeleri ile birlikte

değerlendirilerek, çalışma alanındaki alt bölgelerin katkı payları deneysel olarak da bulunabilir. Böyle bir değerlendirme yapılması halinde, deneysel ve teorik değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, uygulanan teorik yöntemin hata payı hakkında bilgi edinilmesi mümkün olabilir.



Şekil 7. Pb emisyon-ikamet süresi indeksinin alt bölgelerdeki dağılımı

Bu çalışmada ölçüm sonuçları sadece Doğu Akdeniz bölgesi için seçilmiş olan alıcı noktası için mevcut olduğundan, deneysel bir değerlendirme yalnızca bu havza için yapılmıştır. Burada amaç uygulanan teorik yaklaşımın ne kadar doğru sonuçlar verdiğinin incelenmesi olduğundan, tek bir alıcı noktada

yapılan hesaplar yeterli olmuştur.

Doğu Akdeniz bölgesindeki aerosollerin kimyasal kompozisyonunu belirleyen alt bölgelerin belirlenmesinde literatürde “potansiyel kaynak katkı fonksiyonu (PKKF)” (Potential source contribution function) olarak bilinen bir yöntem kullanılmıştır.

Ölçülmüş olan her element ve iyon için PKKF değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunmuştur

$$(PKKF)_{X,J} = \frac{\sum n_{i,j}}{\sum m_{i,j}}$$

Bu formülde $\sum n_{i,j}$ j alt bölgesindeki yörünge segmenti sayısını, $\sum m_{i,j}$ ise yine j alt bölgesindeki kontamine olmuş yörünge segmenti sayısını

göstermektedir. Kontamine olmuş hava kütleli yörüngeleri, herhangi bir x-elementinin konsantrasyon değerinin, o elementin ortalama değerinin 1-standart sapma veya daha fazla üstünde olan örneklere karşı gelen hava kütleli yörüngeleridir. Bu kriter ile belirlenmiş bir hava kütleli yörüngesinin bütün segmentlerinin de kontamine olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 1. Alt bölgelerin Akdeniz ve Karadeniz'in aerosol ve yağmurundaki S, N, Cd ve Zn konsantrasyonlarına katkısı

	Doğu Akdeniz			Karadeniz				Batı Akdeniz				
	S	N	Cd	Zn	S	N	Cd	Zn	S	N	Cd	Zn
İspanya	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,06	0,01	0,13	0,04
Fransa	0,07	0,06	0,07	0,12	0,02	0,04	0,03	0,06	1,00	1,00	1,00	1,00
İtalya	0,45	0,19	0,29	0,31	0,14	0,15	0,13	0,16	0,74	0,34	0,46	0,27
Eski Yugoslavya	0,43	0,09	0,98	0,42	0,17	0,09	0,55	0,27	0,03	0,01	0,06	0,01
Yunanistan	0,29	0,18	0,08	0,08	0,06	0,09	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Almanya	0,19	0,07	0,16	0,12	0,11	0,11	0,13	0,12	0,65	0,27	0,52	0,21
Macaristan	0,11	0,02	0,02	0,02	0,08	0,05	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Romanya	0,52	0,13	0,48	0,15	0,42	0,26	0,54	0,19	0,01	0,00	0,01	0,00
Çekoslovakya	0,04	0,01	0,02	0,01	0,06	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Polonya	0,14	0,04	0,33	0,15	0,09	0,06	0,28	0,15	0,01	0,00	0,01	0,00
Beyaz Rusya	0,01	0,01	0,02	0,00	0,06	0,08	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ukrayna	1,00	0,39	0,71	0,61	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bulgaristan	0,40	0,05	0,80	0,43	0,18	0,06	0,52	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
Batı Türkiye	0,83	1,00	1,00	1,00	0,09	0,27	0,15	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Orta-Batı Türkiye	0,33	0,40	0,40	0,40	0,14	0,44	0,24	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
Orta-Doğu Türkiye	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,05	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
İngiltere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,28	0,25	0,21
Orta Doğu	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Doğu Afrika	0,05	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Orta Afrika	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01
Eski S,S,C,B	0,02	0,01	0,13	0,10	0,03	0,05	0,31	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00

Doğu Akdeniz için element ve iyonların potansiyel kaynak katkı fonksiyonları hesaplanmıştır ve As ile Pb için elde edilen PKKF değerlerinin çalışma alanındaki dağılımları Şekil 8'de verilmiştir.

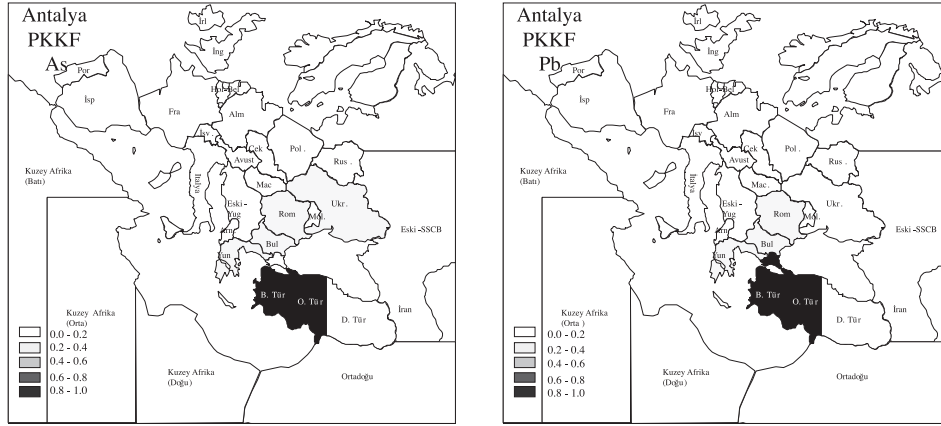
Bu elementler için yüksek PKKF değerine sahip alt bölgeler, daha önce tartışılan teorik yaklaşımla elde edilmiş alt bölgelerle karşılaştırıldığında, deneysel yaklaşım ile elde edilmiş katkı paylarının alıcı noktasına yakın olan Türkiye'nin batısı, Balkan ülkeleri gibi alt bölgelerde daha yüksek, alıcı noktasına uzak olan Fransa, Almanya, Ukrayna gibi alt bölgelerde ise daha düşük olduğu görülmektedir. Deneysel ve teorik yaklaşımlarla elde edilmiş sonuçlar arasındaki benzer farklılıklar sadece As ve Pb ile sınırlı olmayıp, ölçülen NO_3^- , SO_4^{2-} , Cd, ve Zn gibi diğer yapay kökenli elementlerde de görülmektedir.

Çalışma alanındaki alt bölgelerin deneysel ve teorik yöntemlerle hesaplanan katkıları arasındaki farklılıkların nedeni aerosollerin kaynak bölgeden alıcı noktasına taşınırken yağmurla yıkanmasıdır. Yağmur teorik yöntemde bir parametre olarak göz önüne alınmamıştır. Ancak yağmurun ve yağmurla aerosollerin atmosferden uzaklaşmalarının etkileri ölçüm sonuçlarını etkilediğinden, kullanılan PKKF yönteminde yağmurun etkisi otomatik olarak göz önüne alınmış olmaktadır.

Aerosollerin atmosferden yağmur ile uzaklaştırılması, kaynak ve alıcı arasındaki mesafe arttıkça daha fazla önem kazanmaktadır. Dolayısı ile, alıcı noktasına uzak olan alt bölgelerde atmosfere atılan kirleticiler yakın olan kaynak bölgelerdeki emisyonlara nazaran daha etkin olarak yıkanmaktadır. Yağmurun önemli bir parametre

olması, alıcı noktalarına yakın olan alt bölgelerin alıcı noktasındaki aerosollerin kimyasal kompozisyonlarını belirlemekteki önemini arttırırken, alıcı noktasına uzak alt bölgelerin etkinliğini azaltmak-

tadır. Benzer sonuçlar, Akdeniz bölgesinde yapılan model çalışmalarında da görülmüştür (UNEP, 1994, CEC, 1996).



Şekil 8. As ve Pb için hesaplanan PKKF

Yörünge segmentleri ve emisyonlar kullanılarak yaptığımız teorik hesaplarda, Batı Akdeniz atmosferindeki aerosollerin kompozisyonlarının, İtalya, Fransa ve Almanya'daki emisyonlar tarafından belirlendiği görülmektedir. Bu bölgede seçilen alıcı noktasında detaylı ölçüm sonuçları bulunmadığından, bu nokta için PKKF değerlerinin hesaplanması mümkün olmamıştır. Bununla beraber, Batı Akdeniz havzasında yapılan aşağı yukarı bütün çalışmalarda, yukarıda belirtilen alt bölgeler, batı Akdeniz aerosollerini etkileyen kaynak bölgeleri olarak gösterilmektedir (Mateu ve diğerleri, 1996a; Plaisance ve diğerleri, 1996; Bergametti ve diğerleri, 1989; Dulac ve diğerleri, 1978). Kalitatif de olsa böyle bir karşılaştırma, doğu Akdeniz bölgesi için varılan sonucun aksine, teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen kaynak bölgeleri arasında bir fark olmadığını göstermektedir.

Akdeniz havzasının doğu ve batısındaki bu farklılık, Batı Akdeniz'deki alıcı noktasının yüksek emisyon bölgelerine yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Parçacıkların yüksek emisyon bölgeleri ile alıcı noktası arasında katettiği mesafe, Akdeniz'in batısında daha kısa olduğundan, atmosferik taşınımları sırasında, Doğu Akdeniz'de olduğu

kadar etkin bir şekilde yıkanmamaktadır. Bölgede bu güne kadar yapılmış olan çalışmalarda elde edilen sonuçlar yapılan açıklamayı desteklemektedir. Örneğin Bergametti ve diğerleri (1989), Batı Akdeniz'de aerosol düzeylerini alıcı noktasındaki lokal yağmurların belirlediği görüşünü savunurken, Güllü et al (1998) Doğu Akdeniz'de aerosol kütlesi ve kompozisyonunun % 30 oranında alıcı noktasındaki lokal yağmurlar, % 70 düzeyinde de, kirleticilerin taşınımı sırasında hava kütlerinin karşılaştıkları cephe sistemleri tarafından belirlendiğini göstermiştir.

Karadeniz bölgesinde hiç bir yerde kapsamlı bir veri seti bulunmadığından, aerosollerin yağmur tarafından yıkanmasının Karadeniz atmosferindeki parçacıkların kimyasal kompozisyonundaki rolü için benzer bir değerlendirme yapmak bu aşamada, mümkün değildir.

Sunulan çalışmanın bir bölümü Çevre Bakanlığı (proje no 92-03-11-01-07), Uluslararası Atom Enerjisi (proje no 7263/RB) ve Avrupa Birliği (Proje AVI-CT92-0005) tarafından desteklenmiştir. Esra Kuloğlu ve Engin Güven'e yörünge analizleri için teşekkür etmek istiyoruz. Gülen Güllü TÜBİTAK ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı araştırma desteğinden yararlanmıştır.

Kaynaklar

- Al-Momani, I.F., Long-range atmospheric transport of pollutants to the Eastern-Mediterranean basin. Ph.D. thesis, METU Department of Chemistry, 1995.
- Al-Momani, I.F., Tuncel, S., Eler, Ü., Örtel, E., Sirin, G., Tuncel, G., Major Ion Composition of Wet and dry Deposition in the Eastern Mediterranean Basin, *The Science of the Total Environment*, 164, 75-85, 1995.
- Al-Momani, I.F., Aygun, S., Tuncel, G., Wet Deposition of Major ions and Trace elements in the Eastern Mediterranean basin, *J. Geophys. Res.*, 103, 8287-8299, 1998.
- Bergametti, G., Dutot, A.L., Buat-Menard, P., Losno, R., Remoudaki, E., Seasonal variability of the elemental composition of atmospheric aerosol particles over the Northwestern Mediterranean, *Tellus*, 41B, 353-361, 1989.
- Bethoux, J.P., Gentili, B., The Mediterranean Sea, Coastal and Deep-sea signatures of Climatic and Environmental changes, *J. Mar. Syst.*, 7(2-4), 383-394, 1996.
- Commission of the European Communities (CEC), Transport and Transformation of Air Pollutants from Europe to the East Mediterranean Region, Kallos, G., (Sci. Coordinator). Tech. Rep., AVI-CT92-0005, 352, 1996.
- Chester, R., Baxter, G.G., Behairy, A.K.A., Connor, K., Cross, D., Elderfield, H., Padgham, R.C., Soil sized eolian dusts from the lower troposphere of the Eastern Mediterranean Sea, *Mar. Geol.*, 24, 201-217, 1977.
- Chester, R., Sharples, E.J., Sanders, G.S., Saharan Dust incursion over Tyrrhenian Sea, *Atmospheric Environment*, 18, 929-935, 1984.
- Dayan, U., Climatology of Back Trajectories from Israel Based on Synoptic Analysis, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 25, 591-595, 1986.
- Duce, R.A., Arimoto, R., Ray, B. J., Unni, C.K., Harder, P.J., Atmospheric Trace Elements at Enewetak Atoll: 1. Concentrations, sources and temporal variations. *J. Geophys. Res.*, 88, 5321-5342, 1983.
- Dulac, F., Buat-Menard, P., Arnold, M., Ezat, U., Martin, D., Atmospheric Input of Trace Metals to the Western Mediterranean Sea: 1. Factors Controlling the Variability of Atmospheric Concentrations, *J. Geophys. Res.*, 92, 8437-8453, 1987.
- Foner, H.A., Ganor, E., The Chemical and Mineralogical Composition of some Urban atmospheric Aerosols in Israel, *Atmospheric Environment*, 26, 125-133, 1992.
- Ganor, E., Mamane, Y., Transport of Saharan Dust Across the Eastern Mediterranean, *Atmospheric Environment*, 15, 57-64, 1982.
- GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). Atmospheric Transport of Contaminants into Mediterranean Region. Reports and Studies, No.26, 53, WMO, Geneva, 1985.
- GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). The Atmospheric Input of Trace Species to the World Ocean. Report and Studies, No. 38, WMO, Geneva, 1990.
- Guerzoni, S., Correggiari, A., Misorricchi, S., Wind-blown Particles from Ships and Land -based Stations in the Mediterranean Sea: A Review of Trace Metal Studies. In: *Water Pollution Reports*, 13, Martin, J.M. and Barth, H., ed. Commission of the European Communities, 377-384, 1989.
- Guerzoni, S., Cristini, A., Caboi, R., Lebolloch, O., Marras, I., Rundeddu, L., Ionic Composition of Rainwater and Atmospheric Aerosols in Sardinia, southern Mediterranean, *Water, Air and Soil Pollution*, 85, 4, 2077-2082, 1996.
- Guieu, C., Thomas, A.J., Martin, J.M., Brun-Cottan, J.C., Multielemental characterization of the atmospheric input to the Gulf of Lions. Impact on the upper water layer chemistry, in *Water Pollution Reports*, 28, J.M. Martin and H. Barth, editors. Commission of the European Communities, 505-518, 1991.
- Güllü, G.H., Long range transport of aerosols, Ph.D. thesis, Middle East Technical University, Environ. Eng. Dep, 1996.
- Güllü, G.H., Olmez, I., Aygun, S., Tuncel, G., Atmospheric concentrations of trace elements over the Eastern Mediterranean Sea: factors affecting temporal variability, *J. Geophys. Res.*, 103, D17, 21943-21954, 1998.
- Heffter, J.L., Branching Atmospheric Trajectory (BAT) Model, NOAA Technical Memorandum NRL ARL-121, 1983.
- Hernandez ez, E., L., Gimeno, L., Sanchez, M., Rua, A., Mendez, R., Relationship between rain composition in Spain and its sources, *J. Geophys. Res.*, 101, D18, 23381-23387, 1996.
- Hjellbrekke, A. -G., Schaug, J., Skjelmoen, J.E., Data Report 1994. Part 1: Annual Summaries, EMEP/CCC Report 4/96, 1996.

- Katsoulis, B.D., Whelpdale, D.M., A Climatological Analysis of Four-Day back Trajectories from Aliartos, Greece, *Theor. Appl. Climatol.* 47, 93-103, 1993.
- Kubilay, N., Saydam, A.C., Trace Elements in Atmospheric Particulates over the Eastern Mediterranean; Concentrations, Sources, and Temporal Variability. *Atmospheric Environment*, 19, 2289-2300, 1995.
- Kubilay, N., The Composition of Atmospheric Aerosol over the Eastern Mediterranean: The coupling of Geochemical and Meteorological Parameters, Ph.D. thesis, METU Institute of Marine Sciences, 1996.
- Le Bolloch, O., Guerzoni, S., Acid and Alkaline Deposition in precipitation on the western coast of Sardinia, Central Mediterranean (40°N, 8°E), *Water, Air and Soil Pollution*, 85, 2155-2160, 1995.
- Levin, Z., Price, C., Ganor, E., The Contribution of Sulphate and Desert Aerosol to the Acidification of Cloud and Rain in Israel. *Atmospheric Environment*, 24A, 1143-1151, 1990.
- Luria, M., Peleg, M., Sharf, G., Tov-Alper S.D., Spitz, N., Ami, B.Y., Gawii, Z., Lifschitz, B., Yitzchak, A., and Ster, I., Atmospheric sulfur over the east Mediterranean region, *J. Geophys. Res.*, 101, D20, 25917-95930, 1996.
- Malm, W.C., Johnson, C.E., Bresch, J.F. Application of Principal Component Analysis for Purposes of Identifying Source-Receptor Relationships. In *Receptor Methods for Source Apportionment* (Edited by T.G. Pace), Publication TR-5. Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA, 1986.
- Mateu, J., Forteza, R., Cerda, V., Colomates, M., Particle size distribution and long range transport of metals in atmospheric aerosols from the Alfabia station (Majorca, Spain), *J. Environ. Sci. Health*, A31(1), 31-54, 1996a.
- Mateu, J., Forteza, R., Cerda, V., Major inorganic species in rain water collected in Majorca (Spain): A preliminary study, *J. Environ. Sci. Health*, A31(7), 1669-1682, 1996b.
- Migon, C., Caccia, J.L., Separation of Anthropogenic and Natural Heavy Metals in the North Western Mediterranean Rainwater and Total Atmospheric Deposition. *Chemosphere*, 27, 12, 2389-2396, 1993.
- Olmez, I., Instrumental neutron activation analysis of atmospheric particulate matter, in *Methods of Air Sampling and Analysis*, edited by J.P. Lodge Jr., Lewis Publishers, Inc., Boca Raton 3rd ed. 143-150, 1989.
- Plaisance, H., Coddeville, P., Roussel, L., Guillermo, R., A quantitative determination of the source locations of precipitation constituents in Morvan, France, *Environ. Science and Technol.*, 17, 9, 977-986, 1996.
- Rahn, K.A., Relative importance of North America and Eurasia as sources of arctic aerosols, *Atmospheric Environment*, 15, 1447-1455, 1981.
- Sandroni, V., Migon, C., Significance of trace metal medium-range transport in the western Mediterranean, *Science of the Total Environment*, 196, 1, 83-89, 1997.
- Tomadin, L., Lenaz, R., Landuzzi, V., Mazzucotelli, A., Vanucci, R., Wind-Blown Dusts Over the Central Mediterranean. *Oceanologica Acta*, 7, 13-23, 1984.
- Tov, D.A., Peleg, M., Matandev, V., Mahrer, Y., Seter, I., Luria, M., Recirculation of Polluted Air Masses Over the East Mediterranean Coast, *Atmospheric Environment*, 31, 10, 1441-1448, 1997.
- United Nations Environment Program, World Meteorological Organization (UNEP, WMO). Airborne pollution of the Mediterranean Sea. Report and Proceedings of a WMO/UNEP Workshop. MAP Technical Reports Series No.31., Athens, UNEP, 1989.
- United Nations Environment Program, World Meteorological Organization (UNEP, WMO). Assessment of Airborne Pollution of the Mediterranean Sea by Sulphur and Nitrogen Compounds and Heavy Metals in 1991. MAP Technical Reports Series No.85, Athens, UNEP, 304, 1994.