

DOĞU AKDENİZ ATMOSFERİNDE SÜLFAT SEVİYELERİNİ ETKİLEYEN KAYNAK BÖLGELERİNİN BELİRLENMESİ

Zeynep MALKAZ¹, Seda ASLAN KILAVUZ^{3(*)}, R. Fikret YIKMAZ²,
Zuhal AKYÜREK⁴, Gürdal TUNCEL¹

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara

²Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Ankara

³Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü İzmit, Kocaeli

⁴Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET

Sülfat anomalisi Doğu Akdeniz bölgesinde atmosferin önemli özelliklerinden biridir. Ülkemizin de içerisinde bulunduğu bu bölgede ölçülen SO_4^{-2} konsantrasyonları oldukça yüksektir. Bu çalışmada Doğu Akdeniz Bölgesi içerisinde bulunan Antalya ve Çubuk atmosferindeki SO_4^{-2} seviyelerini etkileyen kaynak bölgeleri belirlenmiştir. Kaynak bölgelerinin 1990 ve 2006 yılları arasındaki değişimleri de incelenmiştir. Başlıca potansiyel kaynak bölgeleri kaynak odaklı yörünge istatistik modeli olan “potansiyel kaynak katkı fonksiyonu (PKKF) kullanılarak tanımlanmıştır. Modelde 1990-2006 yılları arasındaki SO_4^{-2} konsantrasyonları ve bu yıllar arasında NOAA HYSPLIT modeli kullanılarak hesaplanan 5 günlük geri yörüngeler kullanılmıştır.

Model sonuçlarına göre Türkiye, Türkiye’nin Kuzeyi, Ukrayna’nın doğusu, Gürcistan ve Balkanlar Avrupa’ya göre daha güçlü kaynak bölgesi olarak ortaya çıkmıştır. Öte yandan Avrupa ülkelerinde PKKF değerleri zamanla azalırken Türkiye ve Balkanlar’da azalmadığı görülmüştür. Sülfat kaynak bölgeleri zamanla lokal olmaya başlamıştır.

ABSTRACT

Sulphate anomaly is one of the peculiarities of the Eastern Mediterranean atmosphere. SO_4^{-2} concentrations of the region, in which turkey is also located, is among the highest recorded in the Europe and North America. In this study, source regions affecting SO_4^{-2} concentrations at Antalya and Çubuk stations in the Eastern Mediterranean have been investigated between 1990 and 2006. Potential source regions have been determined using Potential Source Contribution Function (PSCF).

According to results, Turkey, North of Turkey, East of Ukrania, Georgia and Balkans are the major source regions. In addition, while PKKF values measured in Europe was decreased, it was not significantly changed in Tukey and Balkans. Sulphate source regions have begun to be local

* sedaaslan@kocaeli.edu.tr

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Yörünge istatistiği, sülfat anomalisi, doğu akdeniz atmosferi

1. GİRİŞ

İklim ve bulut özelliklerini değiştirmesi, asit yağışları, dış ortamda görünümü azaltması, dünyanın radyatif dengesini etkilemesi gibi çevresel problemlere neden olan atmosferik aerosoller insanlarda olumsuz sağlık etkilerine neden olmaktadır (Begum vd., 2005; Mihalopoulos vd., 1997). Sülfat ise aerosollerin başlıca kirleticisi bileşenlerinden biri olup SO₂ oksidasyonunun gaz-partikül dönüşüm prosesleri sırasında oluşur. Türkiye’yi de içeren Doğu Akdeniz havzasındaki sülfat seviyeleri Avrupa ve Amerika’daki endüstriyel bölgelerle yakın bulunmuştur (Luria vd., 1996, Kouvarakis vd., 2002). Doğu Akdeniz havzasının ücra ve kırsal alanlarında bile yüksek sülfat seviyelerine rastlanmıştır (Doğan vd., 2010). Bu yüksek sülfat seviyelerinin potansiyel kaynakları, yerel kirlilik, uzak bölgelerden uzun menzilli taşınma, çöllerden mineral tozların taşınımı ve biyogenik kaynaklar olarak kaydedilmiştir. Öte yandan uzun menzilli taşınım sülfat anomalisinin başlıca kaynağı olduğu görülmüştür. Yüksek sülfat seviyeleri nedeniyle Doğu Akdeniz havzası atmosferinde potansiyel kaynak bölgelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir (Kallos vd., 2007; Doğan vd., 2010).

Doğu akdeniz havzası kuzeyden yoğun nüfusa ve endüstriyel alanlara sahip güney Avrupa ülkeleriyle, güneyden ise kuzey afrika ile çevrilidir. Bölge çeşitli yerel ve bölgesel kaynaklardan yayılan güçlü doğal ve antropojenik kirleticilere maruz kalmaktadır. Bu nedenle Doğu Akdeniz atmosferi Dünya’daki en karmaşık hava kütesidir (Doğan vd., 2010).

1980’lerin başından itibaren Doğu Akdeniz atmosferinde yürütülen çalışmalar daha çok aerosollerin kompozisyonu ve doğal, antropojenik kaynakların katkılarına yönelik olmuştur (Kubilay vd., 1995; Mihalopoulos vd., 1997; Güllü vd., 2005; Koçak vd., 2012). Kirleticilerin kaynak bölgelerine yönelik olarak yapılan çalışmalar bölgenin kısıtlı alanlarıyla sınırlı kalmıştır (Güllü vd., 2005; Doğan vd., 2010).

Hava kirliliğine neden olan yüksek SO₂ seviyeleri 1970’lerden önce belirlenmesine rağmen bölgesel ve küresel ölçekteki hava kirliliği 1970’lerden sonra önemli olmaya başlamıştır. Bu yıllardan sonra kirleticilerin uzun menzilli taşınımının belirlenmesi amacıyla Avrupa’daki Hava Kirleticilerinin Uzun Menzilli İzleme ve Değerlendirme Programı (EMEP, 1978) kurularak Dünya’nın bir çok yerine izleme istasyonları yerleştirilmiştir. Bu yıllardan sonra özellikle Avrupa başta olmak üzere çeşitli konvensiyon, protokol ve toplantılar düzenlenerek atmosferdeki sülfür konsantrasyonlarının azaltılması için anlaşmalar yürürlüğe konmuştur. Bu anlaşmalar ile birlikte özellikle Avrupa’da sülfür konsantrasyonları önemli düzeyde azalmıştır (Malkaz, 2014).

Daha önce de belirtildiği gibi Doğu Akdeniz Havzası atmosferi antropojenik sülfat kaynaklarının yanı sıra doğal sülfat kaynaklarına da maruz kalmakta ve birçok farklı sosyoekonomik ve sosyokültürel özelliğe sahip farklı emisyonlar yayan ülkelerle çevrilidir. Bu nedenle Doğu akdeniz atmosferindeki sülfat anomalisinin ve değişiminin izlenmesi ve bu değişimin nedenlerinin araştırılması oldukça önemlidir. Yukarıda da belirtildiği gibi Doğu akdeniz havzası atmosferindeki sülfat kaynak bölgelerine yönelik olarak yapılan sınırlı sayıda da olsa çalışma mevcuttur. Ancak kaynak bölgelerinin sülfat konsantrasyonlarına da bağlı

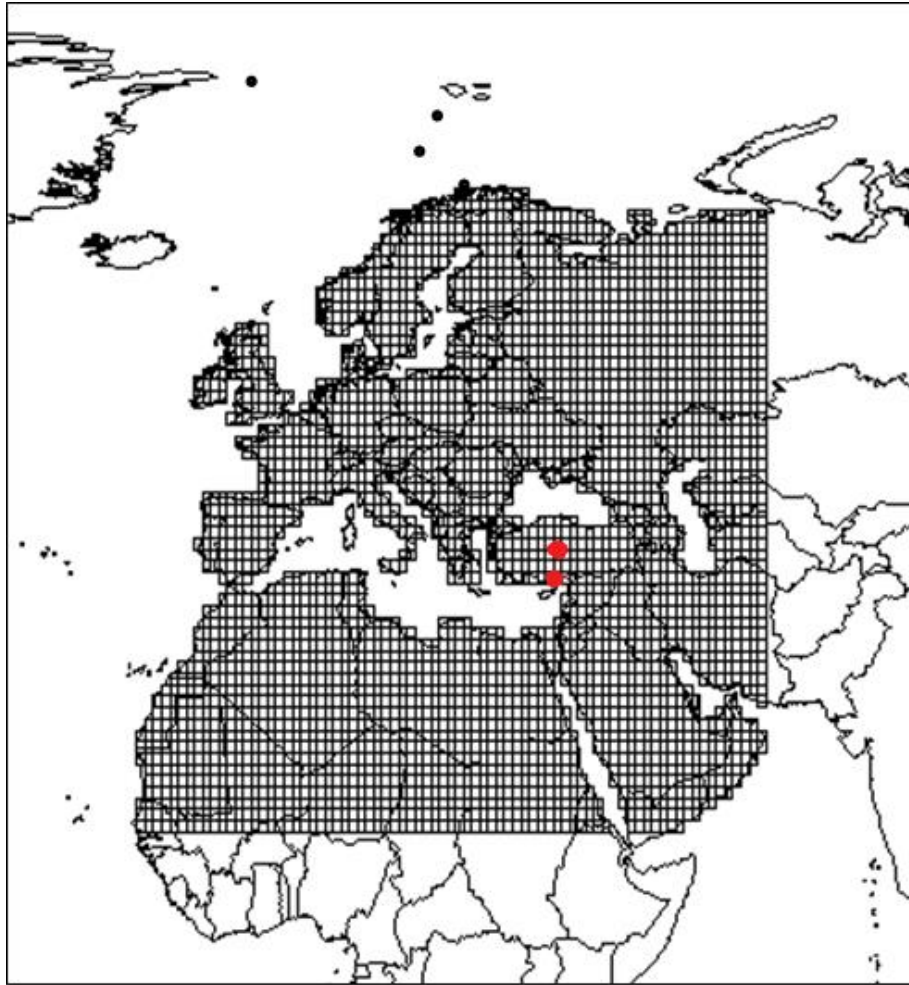
olarak yıllar içerisindeki değişimi ile ilgili bir çalışma henüz yapılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada Doğu Akdeniz Havzası içerisinde yer alan Çubuk/Ankara ve Antalya atmosferindeki sülfat seviyelerine etki eden kaynak bölgelerinin belirlenmiş ve bu kaynak bölgelerinin yıllar içerisindeki değişimleri incelenerek değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma alanı

Bu çalışmada çalışma alanı istasyonların konumuna ve hava yörüngelerinin hareketine göre seçilmiştir. Çalışma alanı doğu batı yönünde İzlanda'nın batısından başlayıp hazar denizinin doğusuna kadar uzanmakta (20° Batı ve 60° doğu enlemleri), kuzey güney yönünde ise İskandinav ülkelerinin kuzeyinden başlayıp kızıl denizin güneyine kadar uzanmaktadır (71° kuzey ve 14° kuzey enlemleri). Çalışma alanı Avrupa, Asya'nın batısı, kuzey Afrika ve Orta Doğu'yu içermektedir.

Sülfat kaynak bölgelerinin belirlenmesi için çalışma alanı $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ lik gridlere bölünmüştür. Ancak denizler çok güçlü antropojenik SO_4 kaynağı olmadıklarından dolayı grid sisteminden çıkarılmışlardır. Çalışma alanının grid haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının grid haritası

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Potansiyel sülfat kaynak bölgelerinin belirlenmesi ve yıllar içerisindeki değişiminin ortaya konması amacıyla Çubuk ve Antalya istasyonları seçilmiştir. Bu istasyonların seçilmesinin en büyük nedeni, bu noktalarda Sülfat verilerinin daha çok bulunmasıdır.

Ankara'ya bağlı Çubuk istasyonu Anadolu'nun merkezinde yer almaktadır (33.10°D, 40.10°K). İstasyon Ankara merkezinden 50 km uzakta olup tipik bir kırsal bölgedir, istasyonun deniz seviyesinden yüksekliği 1169 m'dir. İstasyon EMEP tarafından Türkiye'de işletilen tek istasyon olup 1993 ile 2006 yılları arasında işletilmiştir.

Antalya istasyonu ise Antalya şehir merkezinde 20 km uzakta olup kıyı bölgesinde yer almaktadır. (31° D, 36.8°K). istasyon lokal emisyonların minimize edilmesi amacıyla insanların yaşadığı bölgelerden uzak bir yere yerleştirilmiş olup deniz seviyesinden yüksekliği 20 m'dir.

2.2. Veri hazırlama

Çalışmada kaynak bölgelerinin belirlenmesi amacıyla kirletici verisi olarak SO₄ ve hava yörünge verileri olarak da geri yörüngeler kullanılmıştır.

SO₄ verileri. Çubuk istasyonu için, EMEP tarafından yüksek hacimli örnekleyiciler kullanılarak toplanan aerosol örneklerinde iyon kromatografi (IC) yöntemi kullanılarak ölçülen SO₄ verileri kullanılmıştır. 1993-2006 yılları arasında ölçülen toplam 3686 SO₄ verisi sağlık bakanlığından alınmıştır.

Antalya istasyonu için ise ODTÜ tarafından kurulan istasyonda yüksek hacimli örnekleyici ile toplanan aerosol örneklerinde IC yöntemi kullanılarak ölçülen SO₄ verileri kullanılmıştır. İstasyon 1992-2001 yılları arasında işletilmiş olup. 1992-2000 yılları arasında SO₄ verileri elde edilmiştir.

Geri yörüngeler. Geri yörüngelerin hesaplanması için ARL (Air Resources Laboratory's) HYSPLIT (Hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory) modeli kullanılmıştır (Draxler and Hess, 1998). Model hava kalitesi, atmosferik dağılım ve iklim çalışmalarında kullanılmak üzere Amerika Birleşik Devletleri ulusal okyanus ve atmosfer kurumu (NOAA) tarafından geliştirilmiştir. Geri yörüngeler ARL web sitesinde online olarak elde edilebilmektedir. Ancak veriler günlük olarak indirildiğinden dolayı veri indirme süreci uzun olmaktadır. Bu nedenle geri hava yörüngelerinin hesaplanması için HYSPLIT modelini bir modül olarak içeren ve aylık olarak yörüngeleri indirmeye olanak sağlayan, CBS tabanlı bir yazılım olan Trajstat programı kullanılmıştır.

Bu çalışmada 100 m, 500 m ve 1500 m yükseklikten başlayan 5 günlük geri yörüngeler, çalışmada kullanılan tüm yıllar için hesaplanmıştır.

2.3. Potansiyel Kaynak Katkı Fonksiyonu (PKKF)

Çalışmada potansiyel SO₄ kaynak bölgelerinin belirlenmesi amacıyla PKKF modeli kullanılmıştır (Ashbaugh vd., 1985) tarafından geliştirilen PKKF modeli belli bir kriter seviye üzerinde kirletici içeriğine sahip bir hava kütesinin spesifik bir coğrafi bölgeden geçtikten sonra alıcı noktaya ulaşma olasılığı olarak tanımlanmıştır. PKKF hesaplamalarında, bir kirletici türü coğrafi bir bölgenin bir grid hücresinden (i,j) salındıysa ve bir hava parseli

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

yörüngesi emisyon anında bu gridden geçtiyse hava parselinin bu kirleticiyi topladığı ve akıcı noktaya ulaştırdığı varsayılır.

Bu varsayıma göre bir X elementinin ij gridindeki PKKF değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$PKKF_{ij} = m_{ij}/n_{ij} \quad (1)$$

Burada n_{ij} ij gridindeki yörünge segmentlerinin toplam sayısıdır ve m_{ij} ise aynı griddeki toplam kirli yörünge segment sayısıdır ve bu değer çalışma periyodunda kirletici seviyesinin belli bir değer üstünde olduğu günlerle ilişkilidir. Bu çalışmada en yüksek %40 sülfat konsantrasyonunun olduğu günlerdeki hava yörüngeleri kirli hava yörüngeleri olarak kabul edilmiştir.

PKKF hesaplamalarında genellikle hava yörüngelerinin geçtikleri bölgelerdeki irtifaları göz önünde bulundurulmaz. Tüm yörünge segmentlerinin farklı irtifalarda da olsa kirleticileri aynı oranda topladığı varsayılır. Ancak bu çalışmada yörünge yüksekliklerinin etkisini hesaba katmak amacıyla irtifalar ağırlıklandırılmıştır. Bu amaçla daha yüksek irtifadan geçen hava yörüngesinin kirleticileri daha az oranda, yüzeye daha yakın irtifadan geçen yörünge segmentlerinin daha yüksek oranda topladığı göz önünde bulundurulmuştur. Bu amaçla farklı irtifalardaki yörüngeler için 3 farklı katsayı oranı denenmiş ve potansiyel kaynak katkı bölgelerinin daha doğru olarak tanımlanabildiği katsayılar seçilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda irtifası 0 ile 500 m arasında olan yörünge segmentleri için katsayı 1, 500 ile 1000 m olanlar için 0.3, 1000'den büyük olanlar için ise 0.1 olarak seçilmiştir. Buna göre her bir gridden geçen yörünge segment sayısı yüksekliğine bağlı olarak bu katsayılarla çarpılmış ve o griddeki segment sayısı bu yöntemle göre hesaplanmıştır.

Öte yandan bir grid hücreindeki toplam segment sayısı, n_{ij} , küçük olduğunda yüksek belirsizlikler içeren yüksek PKKF değerleri hesaplanabilmektedir. Grid hücreindeki az sayıdaki segment sayısından kaynaklanan belirsizliği minimize etmek amacıyla aşağıdaki eşitlikte verilen ve Zhao ve Hopke (2006) tarafından tanımlanan katsayılar $W(n_{ij})$ PKKF değerleri ile çarpılmıştır:

$$W(n_{ij}) = \begin{cases} 1.0 & n_{ij} > 2.n_{avg} \\ 0.75 & n_{avg} < n_{ij} \leq 2.n_{avg} \\ 0.5 & \frac{n_{avg}}{2} < n_{ij} \leq n_{avg} \\ 0.15 & n_{ij} \leq \frac{n_{avg}}{2} \end{cases} \quad (2)$$

3. SONUÇLAR

1970'lerin başından beri oğu Akdeniz havzasında ölçülen yüksek SO₄ konsantrasyonları bu bölgede bu iyonun önemini arttırmıştır. Özellikle 80'lerin başından 90'lı yılların ilk aylarına kadar bu bölgede ölçülen sülfat seviyeleri Avrupa ile benzer düzeylerde bulunmuştur. Ancak 1990 yılından itibaren EMEP ağında ölçülen SO₄ konsantrasyonlarının, SO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik olarak yapılan girişimlerle azaldığı görülmüştür. Bu girişimler özellikle Batı ve Doğu Avrupa 'da oldukça etkili olmuş ve EMEP ağında ölçülen SO₄ konsantrasyonlarının 70 ve 80'li yıllara göre %70 oranında azaldığı görülmüştür (Lajtha ve Jones, 2013; Colette vd., 2011; Forsius vd., 2001).

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Ancak Akdeniz bölgesinde ölçülen SO₄ değerlerinin Avrupa ile aynı oranda azalmadığı görülmüştür. Bu durumun gerçek nedeni henüz tam olarak bilinmemekte ve Akdeniz havzası ile ilgili yapılan çalışmalarda da açıklığa kavuşturulmamıştır.

Bu nedenle bu çalışmada Doğu Akdeniz bölgesinde sülfat konsantrasyonlarını etkileyen kaynak bölgelerinin değişimi incelenerek geçmiş ve günümüzdeki potansiyel kaynak bölgeleri hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Kaynak bölgeleri CBS tabanlı bir yazılım olan Map Info yazılımı kullanılarak PKKf yaklaşımı ile belirlenmiştir. PKKf tekniğinin uygulanabilmesi için çok fazla veri seti olması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada yeterli SO₄ verilerinin sağlanabildiği, Türkiye'nin Çubuk ve Antalya istasyonlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Modelin istatistiksel güvenilirliğinin artırılması amacıyla kaynak bölgelerinin değişimi iki yıllık periyotlar halinde incelenmiş, bu nedenle PKKf modelinde sülfat ve geri yörünge verileri iki yıllık olarak kullanılmıştır. Kaynak bölgelerinin değişimi Antalya istasyonu için 1993-2000 yılları arasında, Çubuk istasyonu için ise 1993-2006 yılları arasında incelenmiştir.

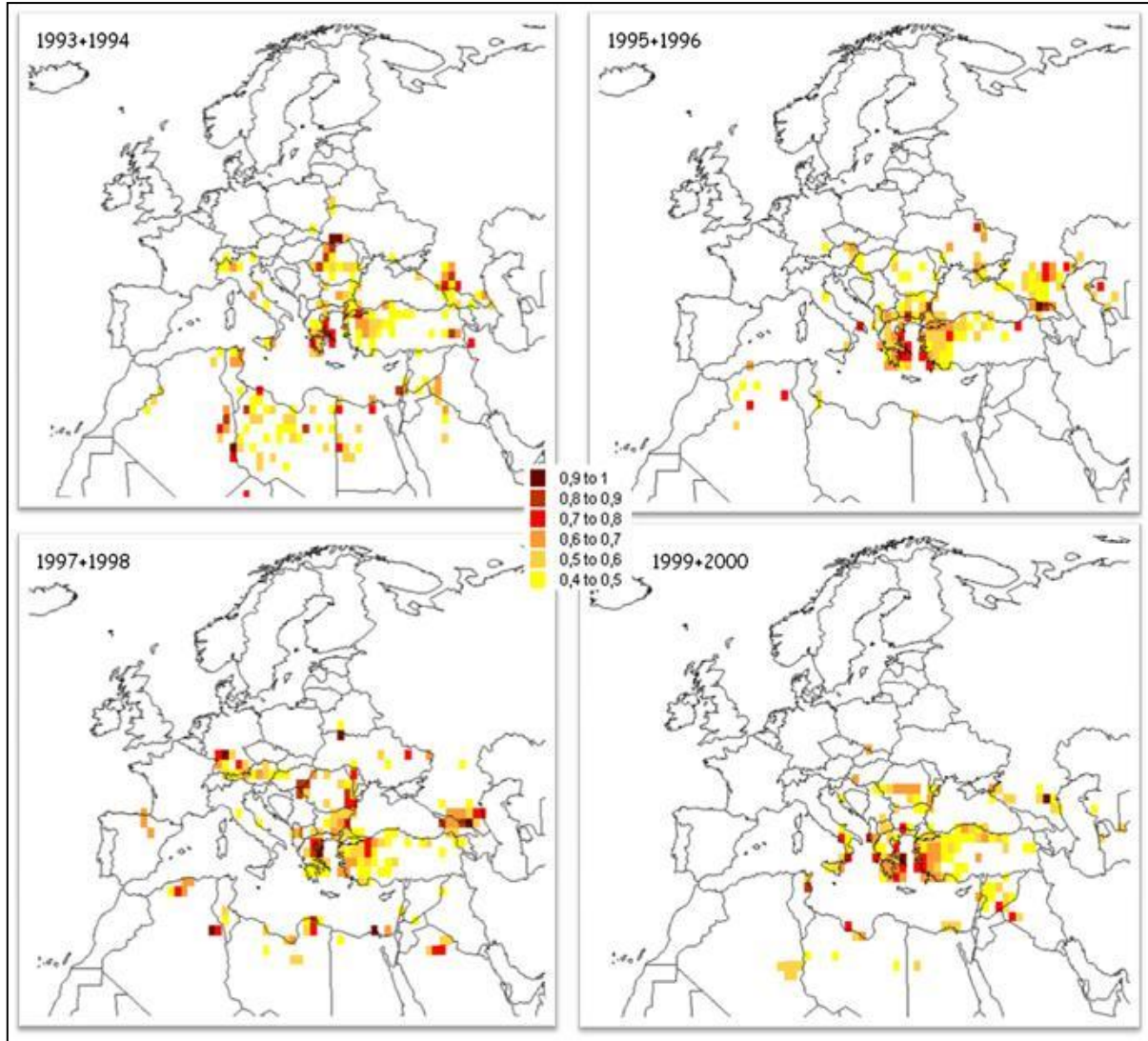
3.1. Antalya istasyonu

Antalya istasyonu için 2 yıllık periyotlarla hesaplanan PKKf değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde PKKf değeri 0.4 ile 1.0 arasında olan gridler renklendirilmiş olup 0.4'ten küçük değerler beyaz ile gösterilmiştir. Dolayısıyla haritalarda zayıf kaynaklar yerine, muhtemel orta ve çok güçlü kaynak bölgeleri gösterilmiştir.

Antalya istasyonundaki SO₂ seviyelerine katkıda bulunan muhtemel kaynak bölgelerinin ülkeler bazında değerlendirilmesi amacıyla her bir ülkenin ortalama PKKf değerleri hesaplanmıştır. Antalya istasyonu için PKKf ülke ortalama değerleri Şekil 3'de verilmiştir.

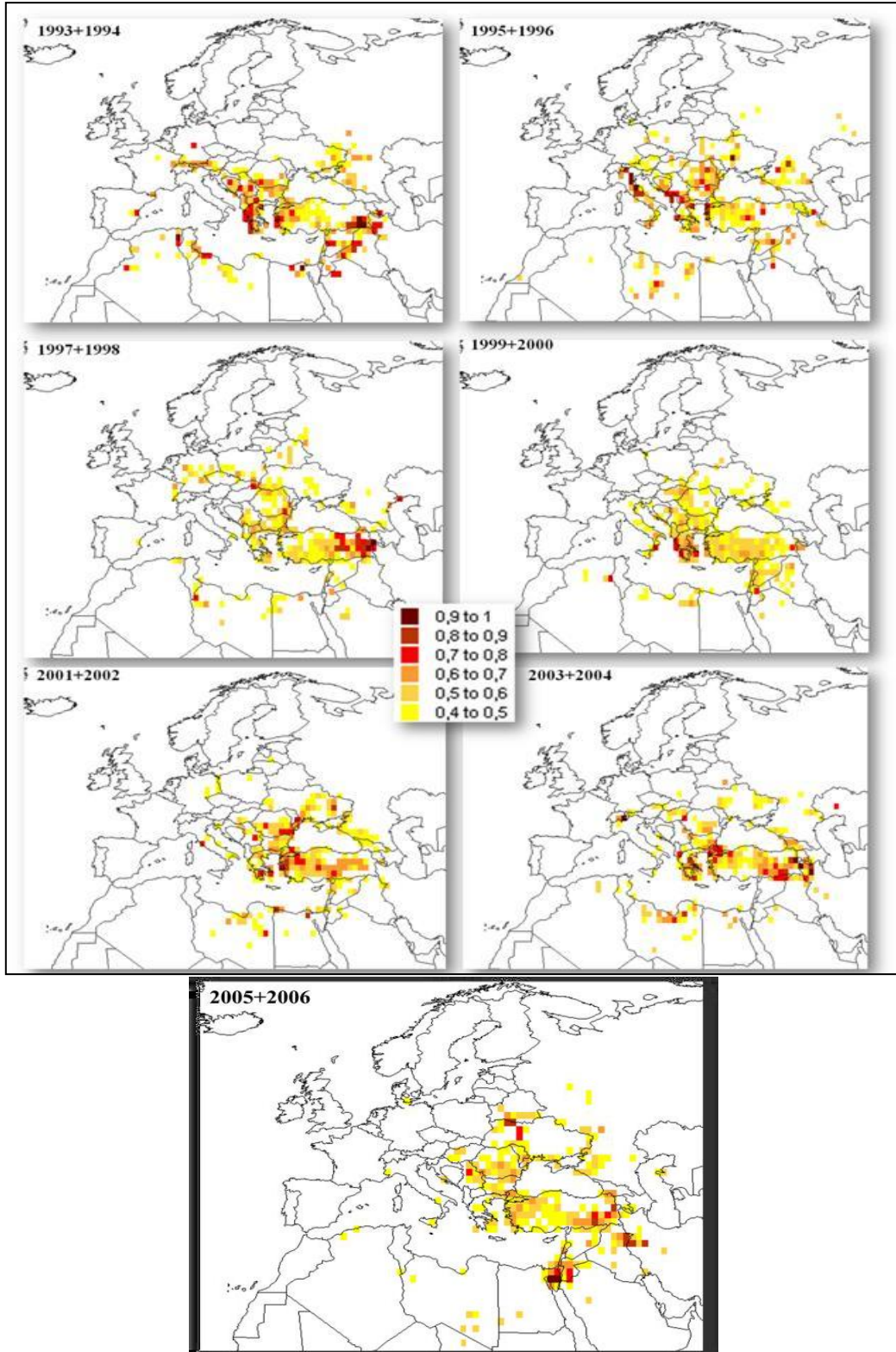
3.2 Çubuk istasyonu

Çubuk istasyonu için PKKf değerleri sülfat verilerinin elde edilebildiği 1993-2006 yılları arasında, 2 yıllık periyotlar olarak hesaplanmıştır. Şekil 3'de Çubuk istasyonu için hesaplanan PKKf değerleri gösterilmiştir.

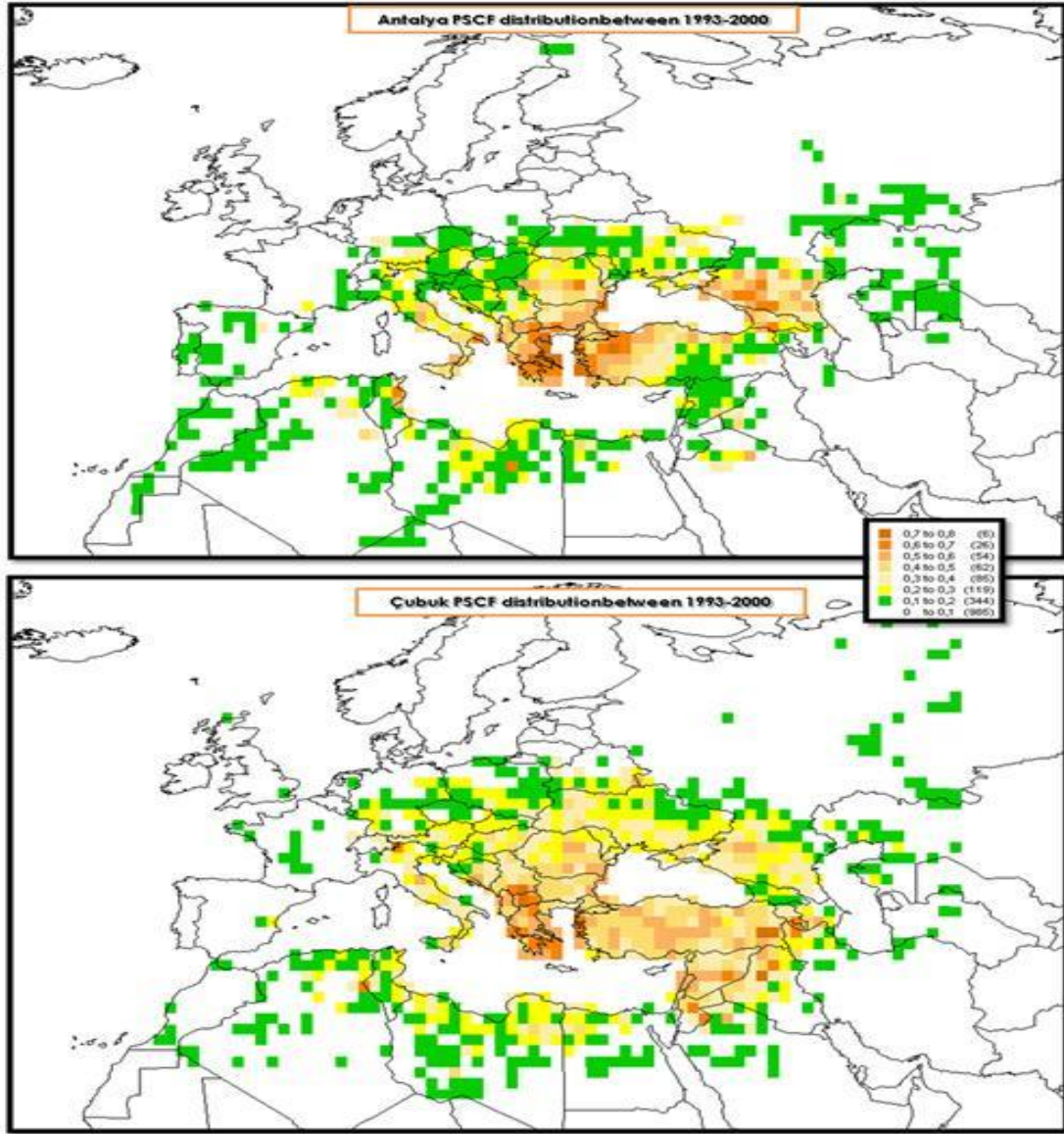


Şekil 2. Antalya istasyonu için 1993-2000 yılları arasında ikiyillik periyotlar için hesaplanan PKKF değerleri

Doğu Akdeniz ve İç Anadolu'yu etkileyen kaynak bölgelerinin benzerlikleri ya da farklılıkları olup olmadığı da cevaplanması gereken diğer bir sorudur. Bu amaçla Çubuk ve Antalya istasyonları için ölçülebilen SO_4 konsantrasyonları farklı yıllara ait olduğundan dolayı bu iki istasyon için ortak olan 1993-2000 yılları için tekrar PKKF değerleri hesaplanmıştır. İki istasyon arasında farklılık olup olmadığının ortaya konması amacıyla bu yıllar arasındaki tüm geri yörünge ve konsantrasyon verileri kullanılarak PKKF değerleri hesaplanmış ve modellenmiştir. İki istasyon için elde edilen kaynak bölgeleri Şekil 4'de görülmektedir. Farklılıkların daha iyi anlaşılması için haritalarda tüm PKKF değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Çubuk istasyonu için 1993-2000 yılları arasında ikiyıllık periyotlar için hesaplanan PKKF değerleri



Şekil 4. 1993-2000 yılları arasında Çubuk ve Antalya istasyonlarında PKKF değerlerinin dağılımı

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 2’de Antalya istasyonundaki SO₄ konsantrasyonunu etkileyen kaynak bölgeleri incelendiğinde Avrupa’nın çoğu bölgesinin beyaz olduğu görülmektedir. Daha önceden de ifade edildiği gibi PKKF değeri 0.4’ün altında olan gridler beyaz olarak gösterilmiştir. Bu nedenle şekilde sadece orta ve güçlü kaynak bölgeleri görülmektedir. Dolayısıyla Avrupa’nın büyük bir kısmında sülfat kaynağı yok demek doğru olmayacaktır.

Antalya istasyonunda sülfat konsantrasyonlarını etkileyen bölgeler analiz edildiğinde, en önemli kaynak bölgelerinin özellikle Yunanistan (Atina), Bulgaristan, Romanya gibi balkan ülkeleri ve Azerbaycan ve Gürcistanı içeren Türkiye’nin Kuzey Doğu’su ve Ukraynanın doğu tarafları olduğu görülür.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Şekil 2’den de görüldüğü gibi 1993-1994 yılları için hazırlanan PKKf dağılımında kaynak bölgeleri İtalya’nın Kuzeyine ve Orta Avrupa’ya kadar uzanmaktadır. 1995-1996 ile 1999-2000 yılları arasına bakıldığında ise Antalya ve genel anlamda Doğu Akdeniz bölgesini etkileyen kaynak bölgelerinin lokal olduğu görülmektedir. Kaynak bölgeleri bu yıllar için balkan ülkeleri, Ukrayna’nın doğusu, Türkiye’nin batısı ve Türkiye’nin kuzey doğu sınırlarıyla kısıtlı kalmıştır. Bu durum Avrupa’yla karşılaştırıldığında SO₄ konsantrasyonlarının Doğu Akdeniz bölgesinde neden azalmadığını genel anlamda açıklamaktadır.

1997-1998 yıllarına bakıldığında çok farklı bir dağılımın söz konusu olduğu görülmektedir. 1993-1994, 1995-1996 yıllarında Romanya’nın ilerisinde çok önemli bir kaynak bölgesi olmamasına rağmen 1997-1998 yılları arasında Orta Avrupa ülkeleri ve Almanya’nın güneyinin önemli kaynak bölgeleri olduğu görülmektedir. Bu yıllar için tanımlanan kaynak bölgelerinin beklenmeyen bir şekilde edişiklik göstermesinin nedeni tam olarak anlaşılamamış olsa da farklı meteorolojik rejimlerin etkili olmuş olabileceği düşünülmektedir.

Kaynak bölgelerinin zaman içerisindeki dağılımları açısından iki önemli nokta göze çarpmaktadır. İlki Ukrayna’nın doğusunda bulunan belli bir bölge önemli bir kaynak olarak görülmektedir. Zaman içerisinde PKKf değerleri azalmasına rağmen bu bölgenin hala Antalya istasyonu için başlıca kaynak bölgesi olduğu görülmektedir.

Türkiye’nin Kuzey Doğusu’nda Gürcistan, Ermenistan ve Azerbaycanı kapsayan benzer bir alan daha bulunmaktadır. Bu bölgenin 2000’li yıllarda da önemli bir kaynak bölgesi olduğu görülmektedir. Gürcistan’ın Rusya sınırında yüksek SO₂ emisyonu yapan bir dizi endüstriyel fabrika bulunmaktadır. Öte yandan Azerbaycan da son yıllar önemli SO₂ kaynağı olarak görülmektedir.

Şekil 3’de Çubuk istasyonundaki SO₄ konsantrasyonunu etkileyen en önemli kaynak bölgeleri incelendiğinde 1990’ların başında (1993-1996) daha çok Balkanlar, Ukrayna’nın Doğusu, Gürcistan sınırları ve Rusya federasyonu ile Türkiye’nin batısı ile güney doğusu olduğu görülmektedir.

1990’ların sonuna doğru (1997-2000), Balkanların hala en önemli kaynak bölgeleri olduğu görülmekle birlikte PKKf değerlerinin 1990’lı yılların başı kadar yüksek olmadığı görülmektedir. Türkiye’nin hem doğusu hem de batısının Çubuk istasyonu için önemli kaynak bölgeleri olduğu görülmektedir. Ukrayna’nın Doğusu, Gürcistan sınırları ve Rusya Federasyonu da hala kaynak bölgeleri olarak görülmekle birlikte PKKf değerlerinin düştüğü görülmektedir.

2000 ile 2004 yılları arasındaki dönemde Türkiye’nin doğu ve batısının kaynak bölgeleri olarak öneminin arttığı görülmektedir. Balkanlar, Ukrayna’nın Doğusu, Gürcistan sınırları ve Rusya Federasyonu hala kaynak bölgeleri olup 1990’lı yıllara göre PKKf değerleri oldukça azalmıştır. 2005-2006 yılları arasındaki PKKf dağılımının önceki 2 yıldan çok farklı olmadığı görülmektedir.

Şekil 4’de 1993-2000 yılları arasında Antalya ve Çubuk istasyonundaki PKKf dağılımları verilmiştir. Şekil incelendiğinde bazı benzer özellikler ve farklılıklar olduğu görülmektedir. Yunanistan, Bulgaristan, Romanya, Türkiye’nin Batısı, Ukrayna’nın Doğusu ve Gürcistanın

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Kuzeyinin her iki istasyon için de önemli kaynak bölgeleri olduğu görülmektedir. Özellikle Yunanistan'ın Atina bölgesi, Türkiye'nin Ege kıyılarından birkaç grid, Romanya'nın orta bölgeleri her iki istasyonu da etkileyen kaynak bölgelerinden en yüksek değerlere sahip olanlardır.

Öte yandan bu iki istasyonu etkileyen kaynak bölgelerinde bazı farklılıklar da olduğu görülmektedir. Çubuk için Karadeniz'in tüm kıyıları önemli kaynak bölgeleri iken, Antalya'nın sülfat konsantrasyonlarını etkileyen kaynakların sadece karadenizin kuzeydoğusunda olduğu görülmektedir.

Türkiye'nin Batısı ve Doğu Bulgaristan her iki istasyon için önemli kaynak bölgeleri olmakla birlikte bu bölgelerin daha çok Antalya açısından önemli olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu bölgelerden Antalya'ya daha sık hava hareketi olması olabilir.

Batı Avrupa ülkeleri Türkiye ve Doğu Akdeniz için önemli kaynak bölgeleri olan ülkelere önce emisyonlarını azalttığından dolayı her iki istasyon için Batı Avrupa önemli kaynak bölgeleri değildir. Bunun diğer bir nedeni de uzak mesafede olmasıdır. Batı Avrupa ülkesi balkan ülkeleri ve Türkiye'nin kuzeyindeki ülkelere göre örnekleme istasyonlarından daha uzaktır. Bu durum iki önemli sonuç doğurabilir. Birincisi, batı Avrupa'dan gelen hava akımlarının yağmurla yıkanma olasılığı oldukça yüksektir. Daha önce Doğu Akdeniz'de yapılan çalışmaların bir çoğunda kış aylarında elde edilen düşük konsantrasyonların (sadece sülfat değil) açıklanmasında kullanılmıştır. İkincisi ise Batı Avrupa uzak olduğundan dolayı, bu çalışmada kullanılan ve Batı Avrupa'dan gelen hava kütleleri genellikle daha yüksek irtifadadır ve yüzeyden yayılan SO₂ emisyonlarını tutma şansı oldukça azdır.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Doğu Akdeniz bölgesindeki sülfat konsantrasyonlarını etkileyen muhtemel kaynak bölgeleri ve bunların zamana bağlı değişimleri PKKF yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

1990'ların başında Batı Avrupa'nın Antalya ve Çubuk istasyonlarına sülfat kaynak bölgesi olarak küçük de olsa katkısı olmasına rağmen, 1995'li yıllardan sonra kaynak katkı oranlarının tamamen yokolduğu görülmüştür. Özellikle Yunanistan, Bulgaristan ve Romanya gibi Balkan Ülkeleri, Türkiye'nin Batısı, Ukrayna'nın Doğusu ve Gürcistan-Rusya sınırı her iki istasyon için de SO₄ seviyelerini etkileyen bölgelerdir. Bu genel kaynaklar yanında Antalya ve Çubuk istasyonlarını ayrı ayrı etkileyen bölgelerde vardır.

Doğu Akdeniz Bölgesi'nde SO₄ konsantrasyonlarının zaman içerisinde çok fazla azalmamasının nedeni bu çalışmada elde edilen çalışmalarla ortaya konabilmektedir. SO₂ emisyonları 1995'ten sonra hızla azalan Batı Avrupa'dan Doğu Akdeniz bölgesi çok fazla etkilenmemektedir. Daha çok Türkiye'nin Kuzeyinde bulunan ülkeler ile Türkiye'nin kendisinin SO₄ konsantrasyonlarına etkisinin daha çok olduğu görülmüştür. Bu ülkelerde ise yıllar içerisinde SO₂ emisyonlarında çok fazla bir değişim olmamıştır. Dolayısıyla Doğu Akdeniz havzası atmosferindeki SO₄ seviyelerinin çok fazla değişmemesindeki ana neden budur.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre özellikle Türkiye Doğu Akdeniz havzası için geçen yıllar içerisinde en önemli kaynak bölgesi olmaya başlamıştır. Türkiye’de SO₂ emisyonlarının azaltılması yönünde gerekli önlemler ve yaptırımlar yapılmazsa ilerleyen yıllarda Türkiye’nin en önemli sülfat kaynağı olacağı aşikardır. Bu durum Türkiye açısından çok ciddi sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle Türkiye’de SO₂ emisyonlarının azaltılmasına yönelik önlem ve yaptırımların ve buna bağlı olarak denetimlerin acilen hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada SO₄ verileri kısıtlı olduğundan dolayı özellikle kaynak bölgelerinin günümüzdeki durumu çok fazla değerlendirilememiştir. Bu amaçla farklı yaklaşımlar kullanılarak sülfat kaynak bölgelerinin daha geniş aralıkta incelenmesi durumun daha açık ve anlaşılabilir bir şekilde ortaya konması için önemlidir.

KAYNAKLAR

Ashbaugh, L.L., Malm, W.C., Sadeh, W.Z., 1985. A residence time probability analysis of sulfur concentrations at Grand Canyon National Park. *Atmospheric Environment*, 19(8), 1263-1270.

Begum, B.A., Kim, E., Jeong, C.H., Lee, D.W., Hopke, P.K., 2005. Evaluation of the potential source contribution function using the 2002 Quebec forest fire episode. *Atmospheric Environment*, 39, 3719-3724.

Colette, A., Granier, C., Hodnebrog, Ø., Jakobs, H., Maurizi, A., Nyiri, A., Bessagnet, B., D’Angiola, A., D’Isidoro, M., Gauss, M., Meleux, F., Memmesheimer, M., Mieville, A., Röüil, L., Russo, F., Solberg, S., Stordal, F., Tampieri, F., 2011. Air quality trends in Europe over the past decade: A first multi-model assessment, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(22), 11657-11678.

Doğan, G., Güllü, G., Karakas, D., Tuncel, G., 2010. Comparison of source regions affecting SO₂- and NO₃- concentrations at the Eastern Mediterranean and Black Sea Atmospheres. *Current Analytical Chemistry*, 6(1), 66-71.

Draxler, R., and Hess, G.D., 1998. An overview of the HYSPLIT 4 modeling system for trajectories, dispersion and deposition. *Australian Meteorological Magazine*, 47, 295-308.

Forsius, M., Kleemola, S., Vuorenmaa, J., Syri, S., (2001). Fluxes and trends of nitrogen and sulphur compounds at integrated monitoring sites in Europe, *Water, Air, and Soil Pollution*, 130(1-4 III), 1641-1648.

Güllü, G., Doğan, G., Tuncel, G., 2005. Atmospheric trace element and major ion concentrations over the eastern Mediterranean Sea: Identification of anthropogenic source regions. *Atmospheric Environment*, 39, 6376-6387.

Kallos, G., Astitha, M., Katsafados, P., Spyrou, C., 2007. Long-range transport of anthropogenically and naturally produced particulate matter in the Mediterranean and North Atlantic: Current state of knowledge. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(8), 1230-1251.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

- Koçak, M., Theodosi, C., Zarmas, P., Séguret, M.J.M., Herut, B., Kallos, G., Mihalopoulos, N., Kubilay, N., Nimmo, M., 2012. Influence of mineral dust transport on the chemical composition and physical properties of the Eastern Mediterranean aerosol. *Atmospheric Environment*, 57, 266-277.
- Kouvarakis, G., and Mihalopoulos, N., 2002. Seasonal variation of dimethylsulfide in the gas phase and of methanesulfonate and non-sea-salt sulfate in the aerosols phase in the Eastern Mediterranean atmosphere. *Atmospheric Environment*, 36, 929-938.
- Kubilay, N., and Saydam, C., 1995. Trace elements in atmospheric particulates over the Eastern Mediterranean: concentration, sources and temporal variability. *Atmospheric Environment*, 29, 2289-2300.
- Lajtha, K., and Jones, J., 2013. Trends in cation, nitrogen, sulfate and hydrogen ion concentrations in precipitation in the United States and Europe from 1978 to 2010: A new look at an old problem. *Biogeochemistry*, 116(1-3), 303-334.
- Luria, M., Peleg, M., Sharf, G., Tov-Alper, D.S., Spitz, N., Ami, Y.B., Gawii, Z., Lifschitz, B., Yitzchaki, A., Seter, I., 1996. Atmospheric sulfur over the eastern Mediterranean region. *Journal of Geophysical Research*, 101, 25917-25930.
- Malkaz, Z., 2014, Variation Of Sulphate Source Regions Affecting Sulphate Concentrations In The Eastern Mediterranean Atmosphere. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Mihalopoulos, N., Stephanou, E., Kanakidou, M., Pilitsidis, S., Bousquet, P., 1997. Tropospheric aerosol ionic composition above the eastern Mediterranean area. *Tellus*, 49B, 314-326.
- Zhao, W., Hopke, P.K., 2006. Source investigation for ambient PM 2.5 in Indianapolis, IN. *Aerosol Science and Technology*, 40, 898-909.