

İZMİR'DE POLİKLORLU BİFENİL DERİŞİMLERİ VE POTANSİYEL KAYNAK BÖLGE TAHMİNİ

Elif GÜNGÖRMÜŞ^{1(*)}, Halil ÇELİK², Tuğba UGRANLI¹, Perihan Binnur KURT KARAKUŞ³, Kadir GEDİK², Eser ÖKTEN⁴, Sait C. SOFUOĞLU⁵, Aysun SOFUOĞLU¹, Kevin C. JONES⁶

¹İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Urla/İzmir

²Akdeniz Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Konyaaltı/Antalya

³Bursa Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Osmangazi/Bursa

⁴Bahçeşehir Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş/İstanbul

⁵İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Urla/İzmir

⁶Lancaster Üniversitesi, Lancaster Academic Centre, Lancaster/UK

ÖZET

Kalıcı organik kirleticiler (KOK) fotolitik, biyolojik ve kimyasal bozunmaya karşı dirençli sentetik organik bileşikler olup, doğada uzun süre kalabilir ve uzun mesafeler boyunca taşınabilirler. Ülkemizde 2010 yılında resmen yürürlüğe giren KOK'lara ilişkin uluslararası Stockholm Sözleşmesi'nin hükümleri gereğince, KOK'ların çevresel ortamlara salımı azaltılmalı/ortadan kaldırılmalıdır. Bu çalışmada, KOK sınıfına giren poliklorlu bifenil (PCB) gaz ve partikül faz derişimleri, İzmir'de kırsal olarak nitelendirilebilecek bir alan olan Gülbahçe'de Mayıs-Ekim 2014 döneminde ölçülmüştür. Yüksek hacimli hava örnekleme cihazı ile toplanan örnekler ekstraksiyon, temizleme ve konsantre işlemlerinden sonra gaz kromatografisi-kütle spektrometresi ile analiz edilmiştir. Ölçülen derişimler ile meteorolojik verilerin birlikte değerlendirildiği Potansiyel Kaynak Katkı Fonksiyonu (PSCF) kullanılarak olası uzun mesafeli taşınım kaynak bölgeleri belirlenmiştir.

Gaz ve partikül faz birlikte düşünüldüğünde, $\Sigma_{43}\text{PCB}$ için ortalama derişim $232 \pm 224 \text{ pg/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Literatürle paralel olarak, PCB'lerin yoğun olarak gaz fazda bulunduğu gözlenmiştir. PCB 18 ve PCB 28'in belirlenme sıklığı diğer hedef PCB'lere göre daha fazladır. Ortalama gaz+partikül derişimleri sırasıyla $22,26 \pm 18,79$ ve $19,30 \pm 13,63 \text{ pg/m}^3$ olarak ölçülmüştür. Baskın olarak bulunan tri- ve tetra-PCB homolog gruplarının, $\Sigma_{43}\text{PCB}$ derişimine yüzde olarak katkıları sırasıyla $\%41 \pm 17$ ve $\%31 \pm 9$ olarak belirlenmiştir. Tri-PCB homolog grubundan octa-PCB homolog grubuna kadar klor atomu sayısının giderek artması ile ters orantılı olarak $\Sigma_{43}\text{PCB}$ derişimine katkısı azaltmıştır. Örnekleme periyodu boyunca hakim rüzgar yönü kuzey-kuzeybatı olarak belirlenmiş olmasına rağmen, PSCF modellemesi sonucunda özellikle Orta Doğu'nun ölçüm yapılan dönemde muhtemel baskın kaynak bölge olduğu görülmüştür. Mevcut çalışmada sunulan sonuçlar halen devam etmekte olan TÜBİTAK destekli 112Y315 no'lu proje kapsamında elde edilen veri setinin bir parçasıdır.

ABSTRACT

Persistent organic pollutants (POPs) have been known as organic compounds that are resistant to photolytic, biological, and chemical degradation. They remain intact during long periods in

* elifgungormus@iyte.edu.tr

environment and they are transported over a long distance in the atmosphere. Turkish Government has officially become a party to the Stockholm Convention as of 2010 resulting in the responsibilities including prohibition/elimination/restriction of POPs. In this study, the levels of 43 polychlorinated biphenyls (PCBs) were measured in gas and particulate phases of ambient air samples collected in Gülbahçe, İzmir from May to October 2014 by using high-vol sampler. Gas chromatography-mass spectrometry was used to detect and quantify the targeted pollutants in the collected samples after pre-analysis process. Potential source regions were assessed by applying back-trajectory and Potential Source Contribution Function (PSCF) analysis. The mean Σ_{43} PCBs concentration was found as $232 \pm 224 \text{ pg/m}^3$. Gas phase concentrations of PCBs were generally much higher than particle phase. PCB 28 and 18 (mean concentration of 22.26 ± 18.79 and $19.30 \pm 13.63 \text{ pg/m}^3$, respectively) were found as the most dominant congeners. The percentage of dominant homolog groups, tri- and tetra- PCBs, on concentration of Σ_{43} PCB was found as $\%41 \pm 17$ and $\%31 \pm 9$, respectively. The contribution on total amount of PCBs decreased with an increase in number of chlorine atoms. Dominant wind direction during the sampling period was north-northwest. However, the PSCF results showed that the highest potential source regions were in the Middle East. The results of this are a part of data set of a project (Grant#112Y315) supported by the TÜBİTAK.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Poliklorlubifenil, İzmir, PSCF

1. GİRİŞ

2001 yılında Stockholm Sözleşmesinin imzalanmasından sonra, Türkiye Hükümeti 2010 yılında resmen Sözleşmeye taraf olmuştur. Sözleşme beraberinde, belirli KOK'ların kullanımına yasaklama/bertaraf etme/kısıtlama getirilmesi, seviyelerinin ölçülmesi ve ulusal uygulama planı hazırlama/revize edilmesi konularında yükümlülükler getirmektedir (UNEP, 2005). Dolayısıyla, KOK seviyelerinin çevresel ortamlarda belirlenmesi ülkemizde önem arz etmektedir.

KOK grubu içerisinde yer alan poliklorlu bifenil (PCB) bileşikleri fotolitik, biyolojik ve kimyasal bozunmaya karşı dirençli sentetik organik bileşikler olup, doğada uzun süre kalabilir ve uzun mesafeler boyunca taşınabilirler. PCB'ler termal kararlılığı yüksek, asit ve baza karşı dirençli bileşiklerdir. Yasaklanmalarından önce, sıklıkla ısı transfer akışkanı, elektrik yalıtım malzemesi, alev geciktirici, yapıştırıcı, boya içerisinde plastikleştirici, karbonsuz kopya kağıtlarında mürekkep çözücü olarak kullanılmışlardır (Kim vd., 2004;Pomerantz vd., 1978).Birçok endüstriyel süreçte sıklıkla talep edilen bu bileşiklerin üretimine, gıda zincirinde biyo-birikimi ve insan üzerindeki olumsuz sağlık etkileri nedeniyle 1996 yılından itibaren sınırlama getirilmiştir (Manodori vd., 2006;UNEP, 2005).

Diğer KOK gruplarına benzer olarak PCB bileşikleri, yarı-uçucu olma özelliklerinden dolayı kaynağından atmosfere salındığı noktadan itibaren çökmeden atmosferde serbest şekilde uzun mesafeler boyunca taşınabilme özelliğine sahiptir. Atmosfer, bu kirleticilerin taşınımı için başlıca yollardan biridir. PCB'ler genellikle Dünya'nın sıcak bölgelerinden soğuk bölgelerine doğru taşınma eğilimindedir. Oktanol-hava dağılım katsayısı, buhar basıncı, çözünürlük gibi özellikler bu eğilimin gerçekleşme miktarlarını belirleyen faktörlerdir. Bir PCB bileşiğinin sahip olduğu klor atomu sayısı arttıkça, salındığı kaynak bölgenin

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

yakınlarında çökme olasılığı da artar. Az sayıda klor atomu içeren bir PCB bileşiği ise havada kalmayı tercih eder ve hızlıca sıcak bölgelerden soğuk bölgelere doğru hareket eder.

Türkiye’de PCB bileşiklerinin havada bulunma miktarları ile alakalı farklı bölgelerde sınırlı sayıda çalışmalar yapılmıştır (Bozlaker vd., 2008; Odabaşı vd., 2008; Kaya vd., 2012; Taşdemir vd., 2012; Yenisoğlu-Karakaş vd., 2012; Kuzu vd., 2014; Yolsal vd., 2014). Literatüre katkı sağlama, Stockholm Sözleşmesinin beraberinde getirdiği düzenli ölçüm gerekliliği, Türkiye’nin konumundan dolayı PCB bileşiklerinin ülkemize atmosferik taşınım yolu ile birçok ülkeden gelebilme olasılığı bizi bu çalışmayı yapmaya yönlendiren faktörlerdir. Mevcut çalışmada, PCB derişimlerinin İzmir’de kırsal olarak nitelendirilebilecek bir alandan toplanan hava örneklerinde ölçülmüştür. Ayrıca bu bileşiklerin uzun mesafeli atmosferik taşınım yolu ile Dünya’nın hangi bölgelerinden örneklemeye noktasına geldiği modellenerek tahmin edilmeye çalışılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Numunelerin toplanması ve analizi

Mayıs-Ekim2014 zaman aralığında, Gülbahçe’de bulunan İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) kampüsüne yerleştirilmiş olan bir yüksek hacimli hava örnekleme cihazı kullanılarak hem gaz hem de partikül fazda toplanan 24 saatlik hava örneklerinde PCB bileşiklerinin 43 tanesinin derişimleri ölçülmüştür. Örnekleme bölgesi olarak seçilen İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, şehir merkezine 60 km uzaklıkta ve endüstriyel bölge olan Aliğa’nın 60 km güneyinde yer almaktadır. Örnekleme döneminde hava sıcaklığı ortalama olarak 24.1°C olarak ölçülmüştür. Çalışmada yer alan 43 PCB bileşiği: PCB 18, 22, 28, 31, 41/64, 44, 49, 52, 54, 56, 60, 70, 74, 87, 90/101, 95, 99, 104, 105, 110, 114, 118, 123, 132, 138, 141, 149, 151, 153, 156, 157, 158, 167, 170, 174, 180, 183, 187, 188, 189, 194, 199, 203 kongenerlerinden oluşmaktadır.

PCB derişimlerinin saptanması için, numuneler ilk önce ekstraksiyon işlemine tabi tutulmaktadır. Geri kazanım verimi bileşikleri (¹³C₁₂-PCB 28,52, 101, 138, 153, 180 ve 209), hem hava partiküllerini üzerinde toplayan filtre numunelerinin hem de gaz fazı absorbe eden poliüretan köpük (PÜK) sünger numunelerinin üzerine enjekte edilmiştir. Numuneler, hekzan: aseton (1:1) karışımı ile 18 saat boyunca ekstrakt edilmiştir. Ardından döner buharlaştırıcı ve azotla deriştirme işlemleri kullanılarak ekstrakt hacimleri yaklaşık 1 mL’ye kadar azaltılmıştır. Alümina kolonu kullanılarak temizleme ve zenginleştirme işlemine devam edilmiştir. Kolon elüsyon solüsyonu diklorometan:hekzan (1:4) karışımından oluşmaktadır. Kolondan çıkan hacim, döner buharlaştırıcı-azot gazı uygulaması ile izooktan çözücü değişimi yapılarak nihai hacim 1 mL’ye düşürüldükten sonra 50 ng¹³C₁₂PCB 105 (10 µL) internal standart eklenen ekstrakt GC-MS analizine hazır hale getirilmiştir.

Düşük çözünürlüklü GC-MS sisteminin kullanıldığı PCB analizleri elektron etki iyonizasyonu (EI) - seçilmiş iyon görüntüleme (SIM) modunda yapılmıştır. 2 µL ekstraktın “splitless” enjeksiyonu sonrası taşıyıcı gaz olan helyum (1.1. mL/dk) ile kolona (DB-5, 30 m, 0.25 mm i.d., 0.25 µm film kalınlığı) giren numunedeki PCB içeriği için uygulanan sıcaklık programı: 90°C’de, 1 dakika; 15°C/dak→160 °C; 3°C/dak→210 °C ve son olarak 10°C/dak→ 310°C (10 dakika bekle) olarak uygulanmıştır. Enjektör, iyon kaynağı (70 eV), kuadropol ve auxiliary sıcaklıkları sırasıyla 200°C, 230°C ve 150°C ve 310 °C olarak ayarlanmıştır.

İnternal standart kalibrasyonu yöntemi ile belirlenen konsantrasyonlar için cihaz tespit sınırı (IDL) belirlenmiştir. Cihaz tespit sınırı, sinyal/gürültü oranının 3 olacağı hedef analit konsantrasyonuna kadar inilerek, analiz edilen ekstrakt ve örneklenen hava hacmi dikkate alınarak tahmin edilmiştir. Metodtespit sınırı (MDL) ise şahit (blank) numunelerde belirlenen ortalama analit konsantrasyonuna $3 \times$ Standart sapma değerinin eklenmesi ile belirlenmiş, şahit numunelerde belirlenmeyen analitler için ise $MDL=IDL$ olarak kabul edilmiştir.

2.2. Geri-izleme modellemesi ve potansiyel kaynak katkı fonksiyonu

Olası uzun mesafeli taşınım kaynak bölgelerinin tespiti için öncelikle geri-izleme modellemesi Hybrid-Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) adlı program kullanılarak uygulanmıştır. Bu model, National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA) Air Resources Laboratory (ARL) tarafından geliştirilmiştir (Draxler ve Hess, 2005). Geri-izleme modellemesi sayesinde reseptör bölgede tespit edilen kirleticinin bu noktaya gelmeden önce atmosferde nasıl bir yol izlediği tahmin edilebilmektedir. Zamanda geriye doğru olan bu yolun/yörünge'nin bulunması için meteorolojik verilerin yanı sıra belirli parametrelerin (başlangıç yüksekliği, maksimum ulaşacağı yükseklik, yörünge uzunluğu) mantık çerçevesinde programa girilmesi gerekmektedir. Modelleme esnasında yörünge uzunluğu (120 saat) sabit tutularak, dört farklı başlangıç yüksekliği (300, 450, 600 ve 750 m) kullanılmıştır. Maksimum ulaşacağı yükseklik ise 10 km ile sınırlandırılmıştır. Model örnekleme periyodu için günlük olarak çalıştırılmıştır.

Geri-izleme modellemesinden elde edilen sonuçların ölçülen derişimler ile birlikte değerlendirildiği PSCF (Potansiyel Kaynak Katkı Fonksiyonu) kullanılarak olası uzun mesafeli taşınım kaynak bölgeleri belirlenmiştir. PSCF belirli bir hücre (i,j) içerisine düşen yüksek derişimli yörünge bitim noktalarının sayısının (m_{ij}), aynı hücre içerisindeki bitim noktalarının toplam sayısına (n_{ij}) oranıdır.

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

Hücre içine düşen bitim noktalarının toplam sayısı az ise, PSCF sonucunda yüksek belirsizliklere sebep olabilir. Bu belirsizlikleri en aza indirmek için PSCF sonuçları keyfi ağırlıklandırma fonksiyonu (W_{ij}) ile çarpılmaktadır.

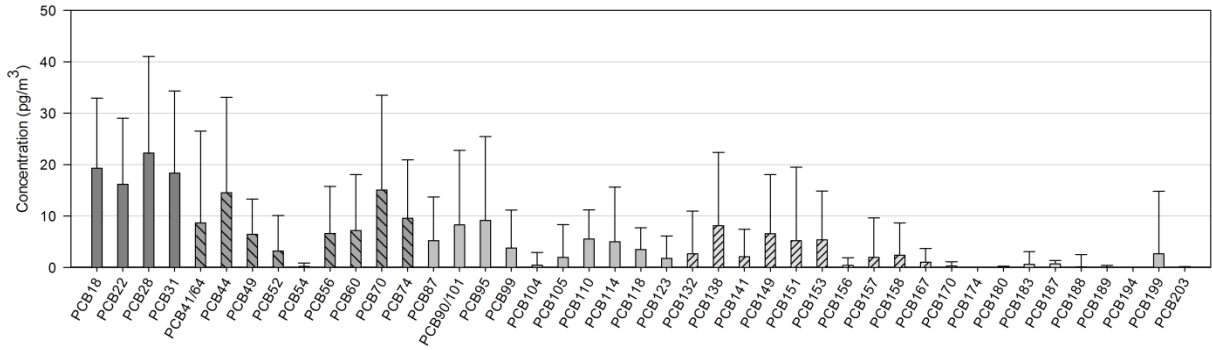
$$W_{ij} = \begin{cases} 1.00 & n_{ij} > 2 \times ort \\ 0.75 & ort < n_{ij} < 2 \times ort \\ 0.50 & 0.5 \times ort < n_{ij} < ort \\ 0.15 & 0 < n_{ij} < 0.5 \times ort \end{cases} \quad (2)$$

'ort' belli bir hücre (i,j) içerisine düşen ortalama yörünge bitim noktası sayısıdır.

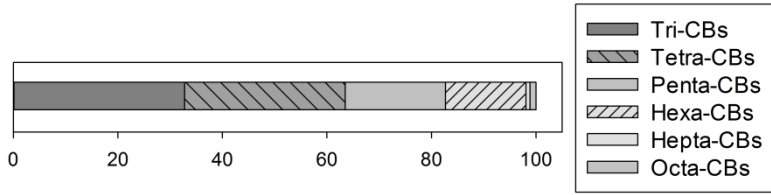
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Örnekleme periyodu süresince haftalık olarak toplanan hava örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen 43 adet PCB bileşiğinin ortalama derişim değerleri Şekil 1'de görülmektedir. Gaz ve partikül faz birlikte düşünüldüğünde, $\Sigma_{43}PCB$ için ortalama derişim $232 \pm 224 \text{ pg/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, PCB'ler yoğun olarak gaz fazda bulunmaktadır. $\Sigma_{43}PCB$ derişiminin yaklaşık 95%lik kısmı gaz fazda ölçülmüştür. PCB 18 ve PCB 28'in

belirlenme sıklığı diğer hedef PCB'lere göre daha fazla gözlenmiştir. Ortalama gaz+partikül derişimleri sırasıyla $22,26 \pm 18,79$ ve $19,30 \pm 13,63$ pg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu bileşikler PCB 31 ($18,37 \pm 15,94 \text{pg/m}^3$) ve PCB 22 ($16,18 \pm 12,86$) takip etmektedir. Tri-PCB homolog grubundan octa-PCB homolog grubuna kadar klor atomu sayısının giderek artması ile ters orantılı olarak Σ_{43} PCB derişimine katkı azalmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Hedef PCB bileşiklerinin gaz+partikül fazda ölçülen ortalama derişimleri



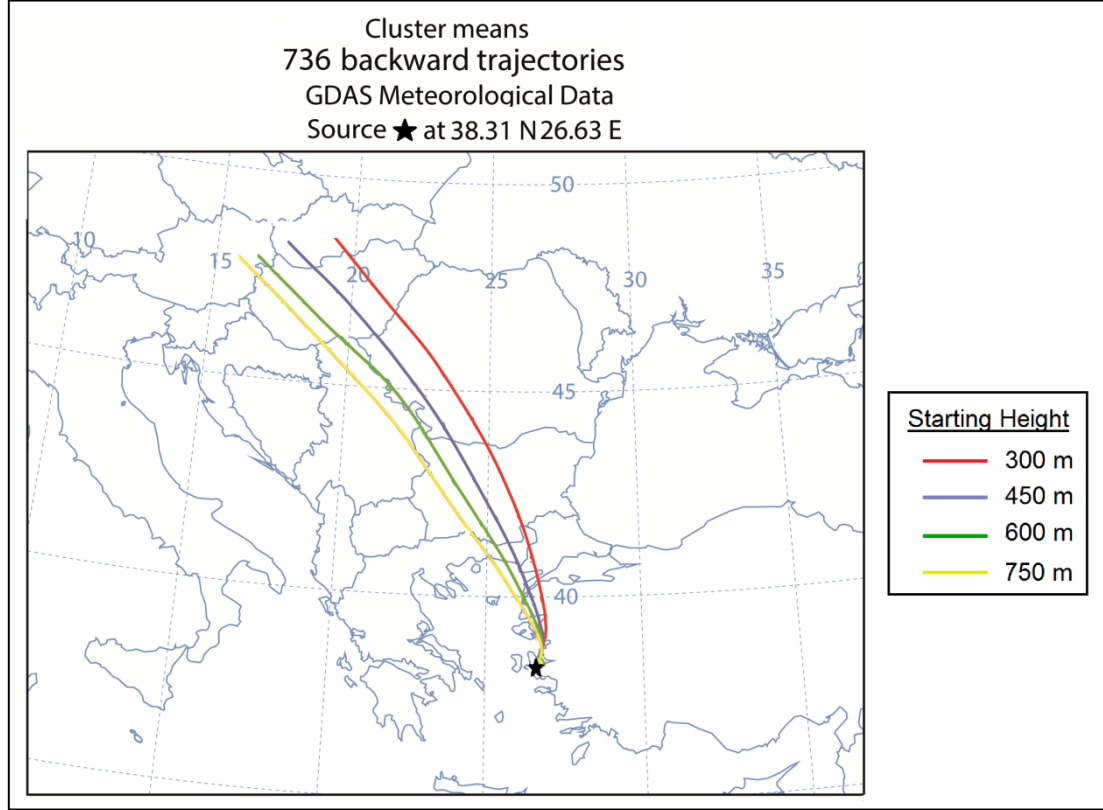
Şekil 2. PCB homolog gruplarının Σ_{43} PCB derişimine katkıları

Baskın olarak bulunan tri- ve tetra-PCB homolog gruplarının katkıları sırasıyla 41 ± 17 ve 31 ± 9 olarak belirlenmiştir. Bu gruplar içerisinde yer alan PCB bileşikler diğer gruplardakilere göre daha az sayıda klor atomu içermekte, suda daha fazla çözünmemekte, daha uçucu ve daha kolay metabolize edilmektedir. Tri- ve tetra-PCB'lerin genellikle atmosferde yoğun olarak bulunmaları sıralanan bu özelliklere dayanmaktadır. Az sayıda klor atomu içeren homolog grupların aksine, fazla sayıda klor içeren homolog gruplar içerisinde yer alan PCB'ler genel olarak biyolojik bozunmaya karşı daha dirençlidir. Bu bileşikler atmosferde serbest halde kalmak yerine kaynak bölgeye yakın olan toprak yüzeylere çökme eğilimindedir. Hedeflenen PCB bileşiklerinin Türkiye'de üretimleri ve kullanımları 1996'dan beri yasaktır. Fakat bu bileşikler halen kontrolsüz atık yakımı, metal ergitme ve rafinasyon süreçleri, termal enerji üretimi, kağıt üretimi gibi endüstriyel işlemlerin yan ürünü olarak açığa çıkmaktadır.

Türkiye'de üretimi/kullanımı yasak olan PCB bileşiklerin halen yapılan ölçümlerde belli bir seviyenin üzerinde tespit ediliyor olması, bu bileşiklerin uzun mesafeler boyunca taşınabilme özelliğinden kaynaklanabilmektedir. Uzun mesafeli taşınım kaynak bölge tahmini için öncelikle meteorolojik verilerin kullanıldığı geri-izleme modellenmesi uygulanmıştır. Örnekleme periyodu içerisinde yer alan her gün için program çalıştırılmış, geri-izleme

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

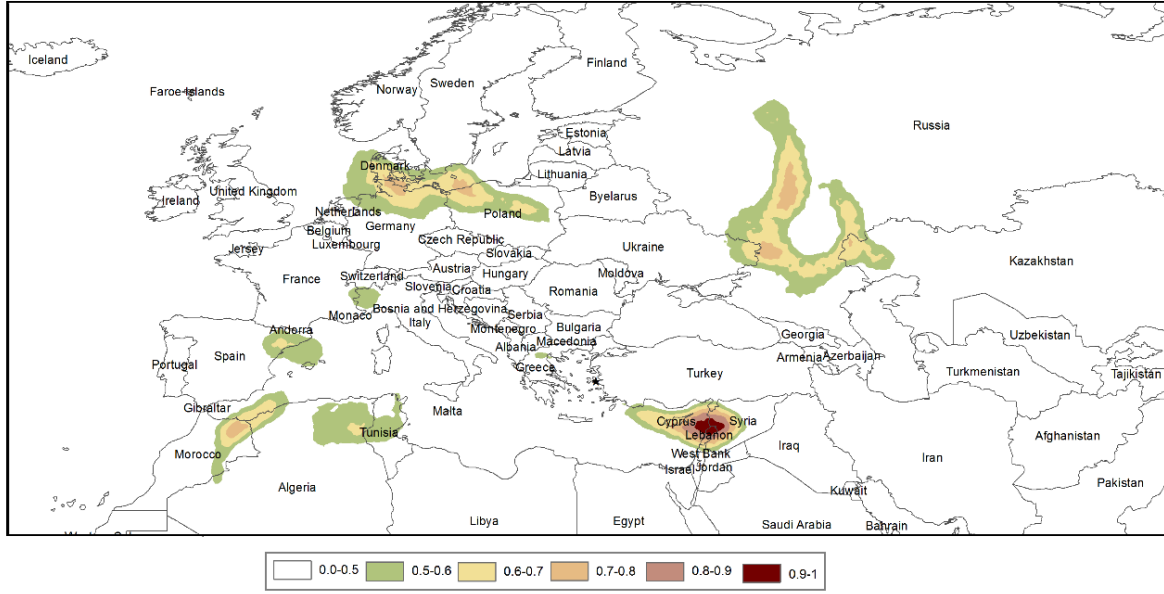
yörüngeleri oluşturulmuştur. Şekil 3’de görüldüğü üzere İzmir için örnekleme periyodu boyunca baskın yörünge yönü kuzey-kuzeybatı olarak belirlenmiştir.



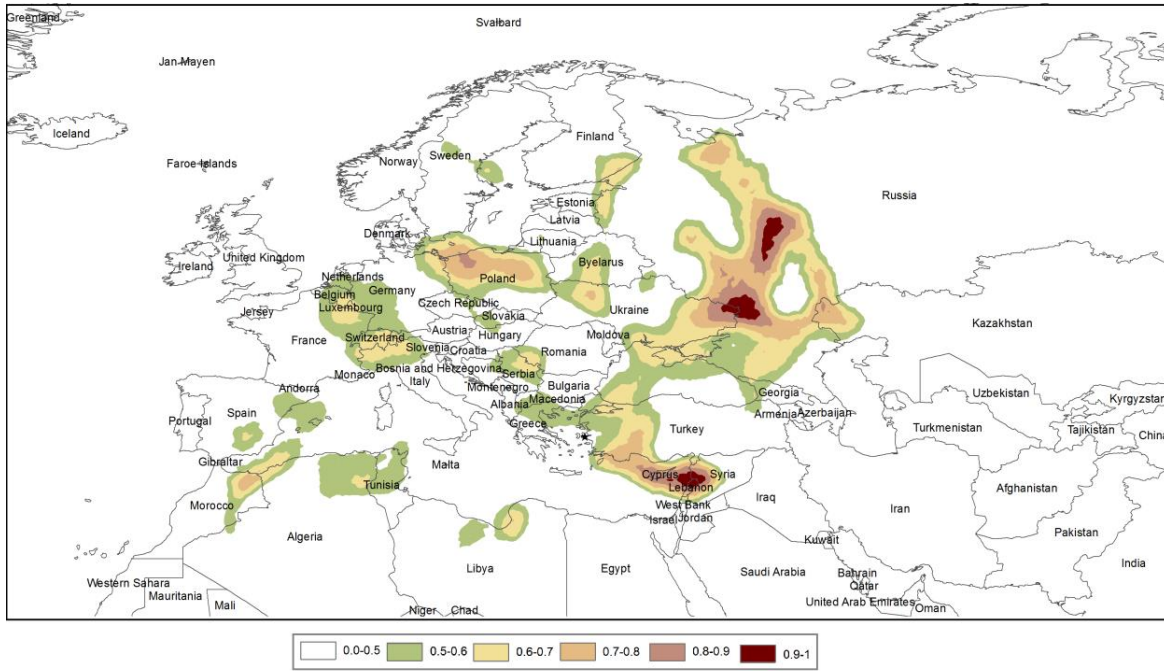
Şekil 3. Örnekleme periyodu boyunca hakim yörünge yönü

Geri-izleme modellemesi sonuçlarına ulaşılmasının ardından, edinilen bu sonuçlar örnekleme periyodu boyunca ölçülen PCB derişimleri ile birlikte kullanılarak PSCF modellemesi uygulanmıştır. PSCF sonuçları, tahmini olarak uzun mesafeli taşınım kaynak bölgelerinin belirlenmesini sağlamıştır. Örnekleme periyodu boyunca hakim yörünge yönü kuzey-kuzeybatı olarak belirlenmesine rağmen PSCF modellemesi sonucu farklı kıtalarda farklı kaynak bölgelerine işaret etmektedir. Şekil 4’te $\Sigma_{43}\text{PCB}$ için tahmin edilen potansiyel kaynak bölgeler gösterilmiştir. Orta Doğu’nun ölçüm yapılan dönemde muhtemel baskın kaynak bölge olduğu görülmüştür. PSCF değerleri özellikle Suriye ve Lübnan’ın içerisinde yer aldığı bölgede $> 0,90$ ’dır. Diğer önemli uzun mesafeli taşınım kaynak bölgeleri ise Asya kıtasında Kazakistan ve Rusya’nın, Avrupa’da Danimarka ve Polonya’nın, Afrika’da ise Tunus ve Fas’ın içinde yer aldığı alanlardır. Bu bölgelerin PSCF değerleri 0,5 ile 0,7 arasında değişmektedir. PSCF değerleri PCB homolog grupları için ayrı ayrı incelendiğinde, yine Orta Doğu muhtemel baskın kaynak bölge olarak tespit edilmektedir. En baskın homolog grup olan tri-PCB grubu, Orta Doğu’nun olduğu kadar Rusya’yı içine alan bölgenin de etkisi altında kalmaktadır (Şekil 5). Rusya’da bulunan yoğun endüstriyel bölgeler bu duruma sebep olmuş olabilir.

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



Şekil 4. Σ_{43} PCB için tahmin edilen potansiyel kaynak bölgeler



Şekil 5. Tri-PCB homolog grubu için tahmin edilen potansiyel kaynak bölgeler

SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye’de üretimi/kullanımı Stockholm Sözleşmesi gereğince yasaklanmış olan hedef Σ_{43} PCB’lerin İYTE kampüsündeki ortalama derişimi $232 \pm 224 \text{ pg/m}^3$ ve ağırlıklı olarak gaz fazında ölçülmüştür. Düşük molekül ağırlığına ve dolayısıyla daha az klor atomu bağlı olan PCB kongenerleri baskın olarak tespit edilmiştir. Ölçülen derişimler ile meteorolojik verilerin birlikte değerlendirildiği PSCF kullanılarak olası uzun mesafeli taşınım

kaynak bölgeleri belirlenmiştir. PSCF modellemesi sonucunda özellikle Orta Doğu'nun İzmir için ölçüm yapılan dönemde muhtemel baskın kaynak bölge olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK'ın finansal destek sağladığı 112Y315 no'lu projenin bir parçasıdır

KAYNAKLAR

Bozlaker, A., Odabaşı, M., Muezzinoğlu, A., 2008. Dry deposition and soil-air gas exchange of polychlorinated biphenyls (PCBs) in an industrial area. Environmental Pollution no. 156 (3):784-93.

Draxler, R.R., Hess, G.D., 2005. HYSPLIT 4 USER's guide, technical memorandum. NOAA Washington, DC.

Kaya, E., Dumanoglu, Y., Kara, M., Altıok, H., Bayram, A., Elbir, T., Odabaşı, M., 2012. Spatial and temporal variation and air-soil exchange of atmospheric PAHs and PCBs in an industrial region. Atmospheric Pollution Research no. 3 (4):435-449.

Kuzu, S. L., Saral, A., Summak, G., Çoltu, H., Demir, S., 2014. Ambient polychlorinated biphenyl levels and their evaluation in a metropolitan city. Science of The Total Environment no. 472 :13-19.

Manodori, L., Gambaro, A., Moret, I., Capodaglio, G., Cairns, W.R.L., Cescon, P., 2006. Seasonal evolution of gas-phase PCB concentrations in the Venice Lagoon area. Chemosphere no. 62 (3):449-458.

Odabaşı, M., Çetin, B., Demircioğlu, E., Sofuoğlu, A., 2008. Air-water exchange of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) at a coastal site in Izmir Bay, Turkey. Marine Chemistry no. 109 (1-2):115-129.

Pomerantz, I., Burke, J., Firestone, D., McKinney, J., Roach, J., Trotter, W., 1978. Chemistry of PCBs and PBBs. Environ Health Perspect no. 24:133-46.

Taşdemir, Y., Salihoğlu, G., Salihoglu, N.K., Birgül, A., 2012. Air-soil exchange of PCBs: Seasonal variations in levels and fluxes with influence of equilibrium conditions. Environmental Pollution no. 169 (0):90-97.

UNEP, 2005. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants edited by Geneva United Nations Environment Programme, Switzerland.

Yenisoy-Karakaş, S., Oz, M., Gaga E.O., 2012. "Seasonal variation, sources, and gas/particle concentrations of PCBs and OCPs at high altitude suburban site in Western Black Sea Region of Turkey." Journal of Environmental Monitoring no. 14 (5):1365-1374.

Yolsal, D., Salihoğlu, G., Taşdemir, Y., 2014. Air-soil exchange of PCBs: levels and temporal variations at two sites in Turkey. Environ Sci Pollut Res Int no. 21 (5):3920-35.