

İÇ ORTAM TOZU PBDE SEVİYELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mihriban CİVAN^(*), Merve KARA

Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe Kampüsü, 41380 Kocaeli

ÖZET

Yeni yönetmelikler ve rekabetten dolayı tüketim malzemelerinde, mobilyalarda, bina ve bina yalıtım malzemelerinde kullanılan kimyasalların sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu kimyasallara gün içinde ne kadar maruz kaldığımız tam olarak kestirilemese de, kullanılan kimyasalların sayısı ve insanların iç ortamlarda geçirdikleri sürelerin artmasından dolayı maruziyetin son yıllarda arttığı kolayca tahmin edilebilmektedir. Bu kimyasallar arasında polibromlu difenil eterler (PBDE) yangın geciktirici olarak iç ortamda bulunan bir çok malzemeye ilave edilmiştir. Sonuçta kalıcı özelliklerinden, 2010 yılı öncesi üretilmiş malzemelerde bulunmalarından ve deka PBDE'lerin henüz birçok ülkede yasaklanmamış olmasından dolayı bu kirleticiler hala iç ortamda yüksek seviyelerde ölçülmektedir.

Bu çalışmada 20 evin iç ortam tozlarında 13 PBDE izomeri ölçülmüştür. Bunun için grubumuza ait elektrik süpürgesi ile önceden belirlenmiş ve bir hafta süpürülmemiş evlere giderek evin bütün odalarından toz numunesi toplanmıştır. Numunler çapı 10µm olan elekten geçirilmiş ve ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Ekstraksiyon için Odabasi ve Cetin (2012) önerdiği yöntem temel alınarak geliştirilmiştir. Analitik yöntemin geri kazanımını değerlendirmek için standart kullanılmış ve PBDE izomerlerinin geri kazanım oranları %70-%115 aralığında hesaplanmıştır. Daha sonra numunler Agilent 7890 GC- 5977A MS (EI kaynak) ile analizleri yapılmıştır.

Ölçümler sonucunda evlerin hepsinde ölçülen PBDE kirleticileri arasında en yüksek seviyede PBDE-209 tespit edilmiştir. En yüksek 10 PBDE izomerinin toplamı 1100 - 3892,3 ng/gr ölçülmüştür. Evlerin yola yakınlığı ve lokasyonu ile PBDE kirletici seviyeleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

ABSTRACT

The consumer products, furnishings, personal care products and new building insulation materials has resulted in a corresponding increase in both amount and the number of these new chemicals in the materials due to the recent regulations and the product market competition. Thus the number of chemicals and the exposure of these chemicals have been dramatically increased every passing day. While exposure levels to these chemicals are largely undocumented, they are likely to have increased as a wider variety of chemicals came into use, people began spending more time indoors. The polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) have been widely used as additive flame retardants in plastics, soft furnishings, electrical and electronic equipment. Hence these pollutants have been still measured high

* mihriban.civan@kocaeli.edu.tr

levels in indoor environments since they have persistence characteristics and deca-PBDE have not been banned in most of the countries.

In the current study, A total of 20 dust samples were collected from homes and analyzed for 13 PBDE isomers. The dust were collected with Nilfisk vacuum cleaner belonging to our research group in the all rooms of the selected houses. Non-dust particles, hair, and debris were hand-picked from all samples. Samples were homogenized by sieving through a 100 µm stainless steel sieve, extracted and them column clean up following the description of Cetin ve Odabasi (2010). The PBDE-spiked dust was used to examine the recovery of the analytical methods for the measurements of PBDE concentrations, and the recoveries were in the range of 70–115% depending on individual congeners. The samples were analyzed with Agilent 7890 GC- 5977A MS (EI source).

The highest PBDE levels were observed for BDE 209, with a mean concentration of 814.2 ng/gr. The total of most abundant 10 PBDE congeners were measured as 1100 - 3892,3 ng/gr ölçülmüştür. There were not found correlation between the proximity of the home to the roads and the level of PBDE measured in the homes.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

İç Ortam Tozu, Polibromlu Difenil Eterler (PBDE)

1.GİRİŞ

Yeni yönetmelikler ve rekabetten dolayı tüketim malzemelerinde, mobilyalarda, bina ve bina yalıtım malzemelerinde kullanılan kimyasalların sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu kimsayallara gün içinde ne kadar maruz kaldığımız tam olarak kestirilemese de, kullanılan kimyasalların sayısı ve insanların iç ortamlarda geçirdikleri sürelerin artmasından dolayı maruziyetin son yıllarda arttığı kolayca tahmin edilebilmektedir. İç ortam havasında ve tozunda bulunan kirleticilere insanlar nefes alma, ciltte adsorblama ve çiğneme ile maruz kalmaktadırlar. İç ortam tozları büyük yüzey alanlarına sahip olmalarından dolayı kirleticilerin adsorblanmaları için iyi bir zemin oluşturmaktadır. Evin her yerinde buldukları için evin kirlilik seviyesini temsil eden iyi bir göstergedir (Besis ve Samara, 2012). İç ortam tozları; deri, saç, akar gibi biyolojik kökenli kirleticileri, pişirme, ısınma amaçlı ve sigara yanmasından kaynaklı partikül maddeleri ve dışarıdan içeriye taşınan toprakları barındıran heterojen bir yapıya sahiptir (Wilford vd., 2005). Toza adsorblanan organik kirleticiler biyotik (mikrobiyal gibi), abiyotik (fotoliz gibi), kimyasal (parçalanma) bozulma prosesleri veya faz transferi (buharlaştırma, çözünme gibi) geçirmediği için iç ortamda uzun süre durabilmektedirler (Maertens vd., 2004). Gaz fazı kirleticileri havalandırma veya reaksiyonlarla ile ortamdan uzaklaşırken tozda tutunan kirleticiler uzun süre iç ortamda kalmaktadır. Tozlar iç ortamda çöküp tekrar havalandıklarından dolayı kirletici maruziyetinde önemli bir kaynak oluşturmaktadır (Cao vd., 2012; Wang vd., 2013) Tozda bulunan bu kimyasallar arasında Kalıcı Organik Kirleticiler (KOK) küresel ölçekte ticari ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan, doğada uzun süre bozulmadan kalma, uzun mesafeler boyunca taşınma, yağ dokuda birikme ve gıda zinciri içinde biyolojik birikime yol açma özelliklerinden dolayı en çok dikkat çeken çevre kirleticileri arasında yer almaktadır. KOK grubu kirleticilerden Polibromlu Difenil Eterlerler (PBDE) 1970 yılından beri yangın geciktirici olarak iç ortamda bulunan plastikler, tekstil ürünleri, televizyon setleri,

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

yalıtım malzemeleri, mobilya ve süngerler ve bilgisayar kasaları gibi birçok tüketim malzemelerine ilave edilmiştir (Besis ve Samara, 2012). Malzemeye ilave edildiğinden ve malzeme ile kimsasal bir bağ oluşturmadığından dolayı bu kirleticiler zaman içinde malzemeden ortama salınıp ortamda birikmeye başlarlar.

Yapılan çalışmalarda kanda, anne sütünde, kordon kanında ölçülen PBDE seviyeleri ile çocuklarda bir çok gelişimsel ve nörogelişimsel problemlerle ilişkisi olduğunu göstermektedir (Lee vd., 2007, Herbstman v.d. 2010, Vizcanio vd., 2011). Ayrıca literatürde bu kirleticilere maruz kalmanın karaciğer ve böbrek bozukluklarına sebep olabileceği vurgulanmıştır (Albina vd., 2010; Alonso vd., 2010; Costa vd., 2008). Bu olumsuz sonucun temelinde PBDE kirleticilerin tiroid bezlerinin çalışmasını etkilemesi yatmaktadır. Tiroid hormonlarının düzeninin bozulmasından dolayı vücuttaki hemen hemen bütün dokuların fonksiyonlarının farklılaşmakta ve dokuların zarar görmesi sonucunda vücutta bütün sistemlerin çalışmaları farklılaşmaktadır (Talsness, 2008). Bu sebeple PBDE grubu kirleticiler “lipofilik endokrin bozucular” olarak tanımlanmaktadır (Chao vd., 2014)

PBDE’ler molekül ağırlıklarına ve halka yapısına göre penta bromo difenil etherler (Penta-PBDE), okta bromo difenil etherler (Octa-PBDE), ve deka bromo difenil etherler (Deca-PBDE) olmak üzere piyasada üç ticari grubu vardır. Bu olumsuz etkilerinden dolayı penta ve okta PBDE karışımları Stokholm Sözleşmesinde listeye dahil edilmiş olup ayrıca Avrupa Birliği, Japonya, Çin ve Amerika’nın çeşitli eyaletlerinde üretimi, kullanımı, ithalatı ve ihracatı yasaklanmıştır (Ali vd., 2011). Ülkemiz Stokholm Sözleşmesi’ne 12 Ocak 2010 tarihinde resmen taraf olmuştur. Ancak “Bromine Science Environmental Forum (BSEF)’dan alınan bilgilere göre toplam PBDE üretiminin %83 oluşturan deka PBDE karışımları piyasada en yaygın olarak bulunmakta ve şu anda bir çok ülkede ticari olarak kullanılmaktadır (Besis ve Samara, 2012, BSEF, 2009). Bu grup içinde PBDE 209 izomeri iç ortamda seviyesi en yüksek PBDE kirleticisidir (Vizcanio vd.,2011). Bu sebeple iç ortama hem deka PBDE katkı malzemeli ürünlerden hem de yasak öncesi üretilmiş ürünlerden kirlilik salınmaktadır. Türkiye’de PBDE üretimi olmamış, PBDE içeren ürünler Stokholm sözleşmesine taraf olunmadan önce ithal edilmiştir Ulusal Uygulama Planı, 2014).

Son yıllarda, Japonya’da (Takigami vd.,2009), İngiltere’de (Harrad vd., 2008), Çin’de (Yu vd., 2012), İsviçre’de (de Wit vd., 2012), Bulgaristan’da (D’Hollander vd., 2010), Filipinler’de (Fulong ve Espino, 2013), ABD’de, Almanya’da (Fromme vd., 2014; Sjodin vd., 2008), Pakistan ve Kuwait’de (Ali vd., 2013) ve daha bir çok ülkede iç ortam tozunda PBDE seviyeleri değerlendirilmiştir. Ülkemizde ise iç ortam tozunda PBDE seviyeleri ile ilgili sınırlı çalışma mevcuttur. Bilgimiz dahilinde Türkiye’de iç ortam tozunda PBDE seviyelerini ölçen iki çalışma mevcuttur. Cetin ve Odabası (2012) İzmir’in farklı bölgelerinde bulunan ofis, ev ve araba camlarının iç ve dış filmde topladıkları tozlarda PBDE kirleticilerini ölçmüş ve bu kirleticilerin havadan tutulma mekanizmalarını incelemiştir. İç ortam tozu PBDE seviyeleri ile ilgili diğer çalışma Karakus-Kurt tarafından tamamlanan Tübitak destekli projedir. Ancak projenin içeriği, ölçülen kirletici grupları ve çıktıkları ile ilgili bir yayına ulaşılmamıştır (Karakus-Kurt 2012). Bu sebeple yapılan çalışma Türkiye için PBDE iç ortam kirlilik seviyelerini gösteren ilk çalışmalardan biri olmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Örnekleme

İç ortam toz örneklemesi Allen vd.(2008) ve Rudel vd. (2003) tarafından kullanılmış yöntem takip edilmiştir. Aralık 2014-Mart 2015 döneminde Kocaeli ilinde farklı dış ortam kirlilikleri olan 5 farklı semtte bulunan toplam 20 adet evden Hepa 14 filtreli toz torbalı (0.3µm ve daha büyük partikülleri %99,5 verimle tutabilen) süpürge ile toplanmıştır. Her ev için ayrı toz torbası kullanılmış ve süpürme işlemine başlamadan önce süpürge ucu ve borusu isooktan çözeltisi ile silinmiştir. Arazi şahidi için toz yerine sodyum sülfat tuzu toplanmıştır (Hassan ve Shoeib vd., 2015). Numuneler toplandıktan sonra toz torbası süpürgeден çıkartılarak daha önceden aseton ve hegzan karışımli çözelti ile temizlenmiş amber cam kavanoz içinde Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde bulunan derin dondurucuya yerleştirilmiştir .

2.2. Numune hazırlama

Toplanan örnekler önce 100µm çapında eleklerle elenmiş içlerinde bulunan kıllar ve halı tozları ayıklanmıştır. Daha sonra toz numuneleri amber cam kavanozda buzdolabında kolon temizleme işlemine kadar bekletilmişlerdir.

Ekstraksiyon için 1 gr tartılan numunelere geri kazanım (recovery) standart enjekte edilerek 15 ml aseton:hxn karışımı ilave edilip bütün gece oda sıcaklığında bekletilmiştir. Ertesi gün numuneler 1 saat ultrasonik banyoda karıştırılmıştır. Sıvı fazı alınan örnekler hegzan ilavesi ile solvent değiştirme yapılmış ve daha sonra azot gazı altında miktarları 1-2 ml'ye kadar düşürülerek önzenginleştirme işlemi gerçekleştirmişlerdir.

2.3. Clean-up (temizleme)

Temizleme kolonu için silika jel, alumina ve susuz sodyum sülfat kullanılmıştır. Bu kimyasalların kolon için hazırlanması aşağıdaki gibidir:

Silika jel, 130 C⁰'de etüvde bütün gece (16 saat) bekletilir. Daha sonra deiyonize su ile ıslatılıp iyice çalkalanarak % 5 oranında deaktive edilmiştir. Desikatörde soğutulup balon joye alınmıştır. Her 3 gr silica gel için 140 µL DI su koyulup iyice çalkalanıp %4.5 oranında deaktive edilmiştir. Oda sıcaklığında karanlıkta 1 saat bekletilip daha sonra 12 saat içinde kolonda kullanılmıştır. Alumina ve sodium sulfate 450 C⁰'lik fırında 6 saat yakılarak aktive edilmiştir. Her 2 gr alumina için 145 deiyonize su koyulur ve %6 oranda deaktive edilmiş olur. Cam yünü ise hegzan ile yıkanıp süzöldükten sonra etüvde kurutulmuştur.

Temizleme kolonunda (L: 20 cm, D:1 cm) sırasıyla 1 gr cam yünü, 3 gr silica jel, 2 gr alumina ve en üstte sodyum sülfat ile hazırlanmıştır. Kolonlar GC derece saflığında 20 ml dikolorometan ve arkasından 20 ml petrolüyum eteri ile ön yıkama yapılarak solvent akış hızı 0,1 ml/sn olarak ayarlanmıştır. Daha sonra önzenginleştirilme yapılmış örnek (2 ml) gas-tight şırınga ile kolona verilmiştir. Örnek kolona verildikten sonra kolondan 50 ml petrolüyum eteri geçirilerek PCB ve PBDE örneklerinin ayrılması sağlanmıştır. Kolondan geçirilmiş olan PBDE ve PCB örnekleri önce rotary ile hacmi 5 ml düşürölüp daha sonra azot gazı altında miktarları azaltılıp hegzan solventi ilave edilmiştir. Son olarak örnekler 250 µl kadar uçurulup, 250 µl kalan örnek viallerde GC analizi için buzdolabında bekletilmiştir.

2.4. Analiz

Temizleme işlemi ile hazır hale getirilen örnekler, konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla GC-MS (Agilent Technologies 5977A-7890B) cihazında analiz edilmiştir. Cihazın kalibrasyonu 13 hedef PBDE bileşiği (Accustandard) ve 4 geri kazanım (recovery) standartları için 6 farklı konsantrasyonda hazırlanmış kalibrasyon çözelti karışımları ile yapılmıştır. Hedef kirlleticiler: 2,2',4-TriBDE (BDE 17), 2,4,4'-TriBDE (BDE 28), 2,2',4,4'-TetraBDE (BDE 47), 2,3',4,4'-TetraBDE (BDE 66), 2,2',4,4',6-PentaBDE (BDE 100), 2,2',4,4',5-PentaBDE (BDE 99), 2,2',3,4,4'-PentaBDE (BDE 85), 2,2',4,4',5,5'-Hexabromobiphenyl (BDE 153), 2,2',4,4',5,6'-HexaBDE (BDE 154), 2,2',4,4',5,5'-HexaBDE (BDE 153), 2,2',3,4,4',5',6-HeptaBDE (BDE 183), 2,3,3',4,4',5,6-Hepta BDE (BDE 190), 2,2',3,4,4',5,5',6-OctaBDE (BDE 203), 2,2',3,3',4,4,5, 5',6,6'- DecaBDE (BDE 209). Kalibrasyon çözeltisi konsantrasyonları 10, 25, 50, 100, 250 ve 500 ng/ml (ppb) olarak hazırlanmıştır. Fırın sıcaklığı 100 C'de 1 dakika bekleme, 10 C/dak'lık artışla 300 C ye çıkıp 1 dakika bekleme ve en son 8 C/dakikalık artışla 320 C'ye çıkarılmış ve 320 C'de 6 dakika beklemiştir. Enjeksiyon port sıcaklığı 300 C'dir. Analiz için HP-5MS kolon (15 m×250 µm×0.25 µm) kullanılmıştır.

Kalite kontrol hedef kirleticilerin geri kazanım (recovery) oranları çıkarılmış PBDE için 0.2 ile 0.6 ng/gr arasında bulunmuştur. Arazi şahidi olarak kullanılan sodyum sülfatın (n=4) analizinin yapılmış ve PBDE209 kirleticisi 1.8 ng/gr ölçülmüştür, bu kirleticici için örneklerde şahit düzeltmesi yapılmıştır.

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Kocaeli ilinde toplam yirmi evde toplanan iç ortam tozu 13 PBDE izomeri için analizler yapılmış ve literatürle birlikte seçilen PBDE'ler için sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Ölçümler sonucunda evlerin hepsinde ölçülen PBDE kirleticileri arasında en yüksek ortalama değeri PBDE-209 (814,2 ng/gr) ve onu PBDE 183 (78.24 ng/gr) takip etmiştir.

PBDE 209 izomeri en düşük 307,3 en yüksek 4028 ng/gr olarak ölçülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalarda en yüksek kirleticici BDE 209 ölçülmüştür. Ortalama değerlerine baktığımızda BDE 209 kirleticisi için Durban/Güney Afrika'da 731 ng/gr, Otawwa/Canada'da 630 ng/gr, Antwerp/ Bulgaristan'da 614 ng/gr ve Otawwa/Canada 630 ng/gr olarak ölçülmüştür (Abafe vd., 2014, Ali vd., 2011, Wilford vd., 2005, Wang vd., 2014).Bu şehirlerdi BDE 209 kirleticisi Kocaeli ilinde ölçülen 814,2 ng/gr değerine yakındır. Ancak Shanghai/Çin'de ölçülen 1098,6 ng/gr ve Boston, Massachusetts/USA'de ölçülen 1811 ng/gr değerlerinden düşüktür (Allen vd.,2008, Yu vd.,2012). Dekabromo difenil etherler (Deca-BDE) grubu içinde BDE 209 izomeri iç ortamda seviyesi en yüksek PBDE kirleticisidir (Vizcanio vd.,2011). Özellikle USA'de yangından koruma yönetmeliğine göre iç ortamda kullanılan malzemelere diğer ülkelere kıyasla daha fazla PBDE kirleticisi ilave edilmektedir (Allen vd., 2008). Literatürde Çin'de bulunan yüksek seviyede PBDE209 izomeri için literatürde iç ortam hacimlerinin küçük olması ve iç ortamlarında PBDE miktarı fazla olan tüketim malzemeleri bulundurmaları olarak açıklamaktadırlar (Kang vd., 2011, Yu vd., 2012). Ayrıca PBDE209 fiziksel özelliklerinden dolayı gaz fazından çok partikül fazında bulunan bir kirleticidir. Bu sebeplerden evlerde PBDE209 kirleticisi yüksek bulunmaktadır.

PBDE 28 (%85 evde) ve 153 (%90 evde) dışında diğer kirleticiler bütün toz numunelerinde ölçülmüştür. Ortalama en yüksek \sum_{10} PBDE izomerinin toplamı 1100 -3892,3 ng/gr ölçülmüştür. Kirleticilerin en düşük ve en yüksek konsantrasyonları arasındaki fark evlerde

PBDE konsantasyonlarının farklı seviyelerde olduğunu göstermektedir. En düşük ve en yüksek değerler arasındaki fark özellikle PBDE154 (1.74-565.58 ng/gr) ve PBDE209 (307,3-4 028 ng/gr) için belirgindir. Özellikle PBDE 154 kirleticisi yalıtım malzemelerinde kullanılan poliüretan köpük’de bulunmaktadır (Wu vd, 2015). İki yıldan daha kısa süre önce yalıtım yapılan evlerde PBDE 154 kirleticisi seviyesi yalıtım yapılmayan evlere göre oldukça yüksek seviyede bulunmuştur. Her ne kadar BDE-47, -99, ve 100 kirleticilerin kaynakları iç ortam yanında araç emisyonları olarak da gösterilse de örnekleme yapılan evlerin yola yakınlığı ve lokasyonu ile PBDE kirletici seviyeleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Chao vd. 2014, Wang vd.,2011, Wit vd. 2012).

Tablo1. Çalışmada ölçülen ve diğer ülkelerde rapor edilen ev iç ortam tozu ortalama PBDE konsantrasyon (ng/g) seviyeleri

Yer	n		BDE_47	BDE_85	BDE_99	BDE_100	BDE_138	BDE_153	BDE_154	BDE_183	BDE_209
Kocaeli/Türkiye*	10	Ortalama	45.21	8.5	40.55	30.69	39.38	61.48	113.29	78.24	814,2
	10	Ortanca	16.15	1.81	18.43	7.74	10.92	<LOD	20.81	34.82	580,7
	10	Aralık	2.34-331.86	0.5-47.26	0.37-169.46	0-189.46	0-197.57	<LOD-443.92	1.74-565.58	2.71-286	307,3-4 028
Durban/Güney Afrika ¹	10	Ortalama	183	-	541	46.9	-	77.6	76.2	44	731
	10	Ortanca	156	-	507	36.9	-	64.5	97.2	44.5	656
	10	Aralık	56.1-466	-	150-1140	<0.41-150	-	33.6-182	<0.41-134	5.65-106	59.2-2190
Antwerp/Bulgaristan ²	39	Ortalama	21	-	37	-	-	-	-	11	604
	39	Ortanca	8	-	9	-	-	-	-	2	317
	39	Aralık	0.5-307	-	0.6-748	-	-	-	-	0.1-262	15-5295
Boston, Massachusetts/USA ³	20	Ortalama	337.6	19.2	536.4	76.9	5.2	47	35	15.1	1811
	20	Aralık	22.5-5596	0.5-438.1	86.6-8847	5.2-1475	0.5-112.2	1.8-783.5	0.5-626.4	2.6-410.9	227.8-263,000
Shanghai/China ⁴	11	Ortalama	15.7	0.7	14	2.1	0.7	5.9	1.7	12.6	1,098.6
	11	Ortanca	11.8	0.2	7.2	1.1	0.4	4.8	1.2	8.2	604.6
	11	Aralık	4.2-51.9	0-4.0	3.1-54.0	0.1-9.9	0-1.8	2.0-11.4	0.3-3.9	5.2-42.9	119.5-3,488.0
Ottawa/Canada ⁵	68	Ortalama	300	17	430	73	4.1	49	37	19	630
	68	Ortanca	1100	190	1800	490	37	470	380	44	1100
	68	Aralık	21-33,000	<0.7-9700	19-60	4.1-21	<0.7-2000	3.1-25	1.5-18	<0.7-650	74-10,000
Guangzhou/Hong Kong ⁶	15	Ortalama	120	8.3	43	47.3	75.7	41.6	40	1.6	985
	15	Ortanca	52.4	6.7	35.5	51.8	48.9	7.2	28.8	1.3	377
	15	Aralık	28.8-600	4.1-21.6	7.7-109	16.1-82.5	29.1-282	3.1-175	10.2-106	1.1-3.1	161-3450
Copenhagen/Denmark ⁷	43	Ortalama	62.5	-	3.04	78.1	12.8	-	9.96	6.49	-
	43	Aralık	3.29-962	-	<LOQ-67	2.72-1764	0.351-292	-	0.547-182	0.121-143	-

*Bu çalışma; ¹Abafe et al. (2014); ²Ali et al. (2011); ³Allen et al. (2008); ⁴Yu et al.,2012; ⁵Wilford et al., (2005); ⁶Wang et al. (2014); ⁷Vorkamp et al. (2011)

4. TARTIŞMA

Ölçümler sonucunda evlerin hepsinde ölçülen PBDE kirleticileri arasında en yüksek seviyede PBDE-209 tespit edilmiştir. En yüksek 10 PBDE izomerinin toplamı 1100 - 3892,3 ng/gr ölçülmüştür. İç ortam tozunda PBDE seviyeleri diğer ülkelerde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, Çin ve USA’dan düşük seviyede, Asya ve Avrupa ülkeleri ile yakın değerlerdedir. Evlerin yola yakınlığı ve lokasyonu ile PBDE kirletici seviyeleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Sunulan çalışmanın devamında örnekleme sayısı arttırılacak ve dış ortam numuneleri analiz edilecektir. İstatistiksel değerlendirmeler, kaynak belirleme çalışması örnekleme sayısı arttığında yapılacaktır. Dış ortam ölçümleri ile kirleticilerin dış ortamdaki iç ortama taşınımını hakkında bilgi sahibi olunacaktır.

KAYNAKLAR

- Abafe, O.A., Martincigh, B.S. 2014. “Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls in Indoor Dust in Durban, South Africa”, *Indoor Air*, doi: 10.1111/12168.
- Albina, M.L., Alonso, V., Linares, V., Bellés, M., Sirvent, J.J., Domingo, J.L., Sánchez, D.J., 2010. Effects of exposure to BDE-99 on oxidative status of liver and kidney in adult rats. *Toxicology* 271, 51-56.
- Ali, N. Van den Eede, A. C. Dirtu, H. Neels, A. Covaci, 2012, Assessment of human exposure to indoor organic contaminants via dust ingestion in Pakistan, *Indoor Air*, 22: 200–211.
- Ali N., Covaci A., Goosey E., Harrad S., Neels H. 2011. ‘Novel Brominated Flame Retardants in Belgian and UK Indoor Dust: Implications for Human Exposure’, *Chemosphere*, 83, 1360–1365.
- Allen, J.G., McClean, M.D., Stapleton, H.M. and Webster, T.F. 2008. “Critical Factors in Assessing Exposure to PBDEs via House Dust”, *Environ. Int.*, 34, 1085– 1091.
- Alonso, V., Linares, V., Bellés, M., Albina, M.L., Pujol, A., Domingo, J.L., Sánchez, D.J., 2010. Effects of BDE-99 on hormone homeostasis and biochemical parameters in adult male rats. *Food and Chemical Toxicology* 48, 2206e2211
- Besis A., Samara C. 2012. Review Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in the Indoor and Outdoor Environments e A Review on Occurrence and Human Exposure. *Environmental Pollution*, 169, 217-229
- Chao H.R., Chun-Wen L., Ding-Yan L., Huei-Lin H., Kuan-Chung C., Yan-You G., Yi-Chyun H. 2014. “Impact of Brominated POPs on the Neurodevelopment and Thyroid Hormones of Young Children in an Indoor Environment”, A Review, *Aerosol and Air Quality Research*, 14, 1320–1332.
- Costa, L.G., Giordano, G., Tagliaferri, S., Caglieri, A., Mutti, A., 2008. Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants: environmental contamination, human body burden and potential adverse health effects. *Acta Bio Medica* 79, 172-183.
- Herbstman, J.B., Sjödin, A., Kurzon, M., Lederman, S.A., Jones, R.S., Rauh, V., Needham, L.L., Tang, D., Niedzwiecki, M., Wang, R.Y., Perera, F., 2010. Prenatal exposure to PBDEs and neurodevelopment. *Environmental Health Perspectives* 118, 712-719.
- Kang Y, Wang HS, Cheung KC, Wong MH., 2011. “Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in indoor dust and human hair.” *Atmospheric Environment*;45:2386–93.
- Lee S.J., Ikonomou M.G., Park H., Baek S.Y., Chang Y.S. 2007. “Polybrominated diphenyl ethers in blood from Korean incinerator workers and general population” *Chemosphere*, 67, 489-497.

Meeker, J.D., Johnson, P.I., Camann, D., Hauser, R., 2009. Polybrominated diphenyl ether (PBDE) concentrations in house dust are related to hormone levels in men. *Science of the Total Environment* 407, 3425-3429.

Odabasi M., Cetin B., 2012. “Determination of octanol–air partition coefficients of organochlorine pesticides (OCPs) as a function of temperature: Application to air–soil exchange, *Journal of Environmental Management*, 113, 432-439.

Talsness, C. E. 2008. “Overview of toxicological aspects of polybrominated diphenyl ethers: A flame-retardant additive in several consumer products”, *Environmental Research*, 108, 158–167.

Ulusal Uygulama Planı, 2014, Kalıcı Organik Kirleticilere İlişkin Stockholm Sözleşmesi, T.C. Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı.

US Environmental Protection Agency (USEPA), 2010. Method 1614A: Brominated Diphenyl Ethers in Water, Soil, Sediment and Tissue by HRGC/HRMS. Washington, DC, United States Environmental Protection Agency, Office of Science and Technology.

Vizcaino E, Grimalt JO, Lopez-Espinosa MJ, Llop S, Rebagliato M, Ballester F. 2011. “Polybromodiphenyl ethers in mothers and their newborns from a nonoccupationally exposed population (Valencia, Spain)” *Environmental International*, ;37:152–7.

Vorkamp K., Thomsen M., Frederiksen M., Pedersen M., Knudsen L.E., 2011, Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the indoor environment and associations with prenatal exposure, *Environment International* 37, 1–10.

Wang W., Zheng J., Chan C.Y., Huang M., Cheung K.C., Wong M.H. 2014 “Health risk assessment of exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) contained in residential air particulate and dust in Guangzhou and Hong Kong” *Atmospheric Environment*, 89, 786-796.

Wilford, B.H., Shoeib, M., Harner, T., Zhu, J., Jones, K.C., 2005. Polybrominated diphenyl ethers in indoor dust in Ottawa, Canada: implications for sources and exposure. *Environmental Science and Technology*, 39, 7027-7035.

Yu, Y.X., Pang, Y.P., Chen Li, Jun-Ling L, Xin-Yu Zhang, et al., 2012, Concentrations and seasonal variations of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in in- and out-house dust and human daily intake via dust ingestion corrected with bioaccessibility of PBDEs, *Environment International* 42, 124–131.