

## BİR BİLGİSAYAR TEKNİK SERVİSİNDE İÇ HAVA VE ÇÖKELMİŞ TOZDA BROMLU DİFENİLETERLER

Mesut GENİŞOĞLU<sup>1(\*)</sup>, Elif GÜNGÖRMÜŞ<sup>2</sup>, Aysun SOFUOĞLU<sup>2</sup>, Perihan B. KURT KARAKUŞ<sup>3</sup>, Aşkın BİRGÜL<sup>3</sup>, Sait C. SOFUOĞLU<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Urla/İzmir

<sup>2</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Urla/İzmir

<sup>3</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Osmangazi/Bursa

### ÖZET

Kalıcı organik kirleticiler grubunda bulunan bromlu difenil eterler (PBDE), yangın önleme standartlarının sağlanabilmesi adına elektronik ekipmanlarda yüksek miktarlarda kullanılmışlardır. Bilgisayar teknik servisi çalışanları; kaynak yoğunluğu nedeniyle bu kimyasallara yüksek derecede maruz kalıyor olabilirler. Bu durumun anlaşılması için bilgisayar teknik servisinde gaz ve çökelmiş tozda bromlu difenileter türdeşlerinin (BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 ve -209) konsantrasyonları üç ay süreyle (Mart – Mayıs 2016) izlenmiştir. Gaz fazı örnekleme aktif örnekleme metoduyla haftada bir (n=12), pasif örnekleme metoduyla ayda bir (n=3) yapılmıştır. Çökelmiş toz örnekleri de ayda bir defa (n=3) toplanmıştır. Gaz fazında bulunan  $\sum$ PBDE konsantrasyonlarının ortalaması iç ortam aktif örnekleme ile  $594 \pm 355$  pg/m<sup>3</sup>, iç ortam pasif örneklemede  $1310 \pm 238$  pg/m<sup>3</sup> ve dış ortam pasif örnekleme ile  $18,6 \pm 8,49$  pg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Türdeş derişim profiline BDE-209 hakim olup  $\sum$ PBDE<sub>iç</sub>/ $\sum$ PBDE<sub>dış</sub> oranının “1” değerinden epeyce büyük olması, kaynağın iç ortamda bulunduğunu göstermektedir. Çökelmiş toz örneklerinde ölçülen  $\sum$ PBDE derişimlerinin ortalaması  $1945 \pm 892$  ng/g olarak hesaplanmıştır. PBDE türdeşlerinin çökelmiş toz ve gaz faz arasında dağılımı ifade eden dağılım katsayısı değerleri (K<sub>D</sub>) hesaplanmıştır. Aktif örnekleme temel alınarak hesaplanan ortalama log<sub>10</sub>K<sub>D</sub> değerleri (BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 ve -209 için sırasıyla -3,65, -3,26, -3,07, -3,02, -2,45, -3,01, -2,32 ve -2,55 m<sup>3</sup>/μg) ile pasif örnekleme üzerinden hesaplananlar benzer bulunmuştur. Bu değerler, literatürde bildirilen değerler ile uyum göstermektedir.

### ANAHTAR SÖZCÜKLER

Bilgisayar teknik servisi, Bromlu difenileterler, Çökelmiş toz, İç ve dış hava, Yanma geciktiriciler.

### ABSTRACT

Brominated diphenyl ethers (PBDEs), a group of persistent organic pollutants, have been extensively used in electronic equipments in order to provide fire retardancy/prevention standards. Computer technical service workers are probably exposed to these chemicals at high levels due to strength of sources at these facilities. Therefore, concentrations of brominated diphenylether congeners (BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 and -209) in indoor air gas phase and settled dust were monitored for three months (March - May 2016). Gas phase sampling were performed once a week (n=12) using active sampling method and once a month (n=3) by passive sampling

(\*) mesutgenisoglu@iyte.edu.tr

method. Samples of settled dust were collected once a month (n=3). Mean  $\Sigma$ PBDE concentrations in gas phase were determined as  $594 \pm 355$  pg/m<sup>3</sup> with indoor active sampling,  $1310 \pm 238$  pg/m<sup>3</sup> with indoor passive sampling, and  $18,6 \pm 8,49$  pg/m<sup>3</sup> with outdoor passive sampling. The congener concentration profile is dominated by BDE-209 and a large  $\Sigma$ PBDE<sub>in</sub>/ $\Sigma$ PBDE<sub>out</sub> value indicates that the source is indoors. The average concentrations of  $\Sigma$ PBDE in settled dust samples was calculated as  $1945 \pm 892$  ng/g. The partitioning coefficient values ( $K_D$ ), which represent the distribution of BDE congeners between the settled dust and the gas phase, were also calculated. The mean  $\log_{10}K_D$  values calculated based on the active sampling (-3,65, -3,26, -3,07, -3,02, -2,45, -3,01, -2,32 and -2,55 m<sup>3</sup>/μg for BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 and -209, respectively) were found to be similar to those calculated based on the passive sampling. These values are consistent with those in the literature.

## KEYWORDS

Brominated diphenylethers (PBDEs), Computer technical service, Flame retardants, Indoor and outdoor air, Settled dust.

## 1. GİRİŞ

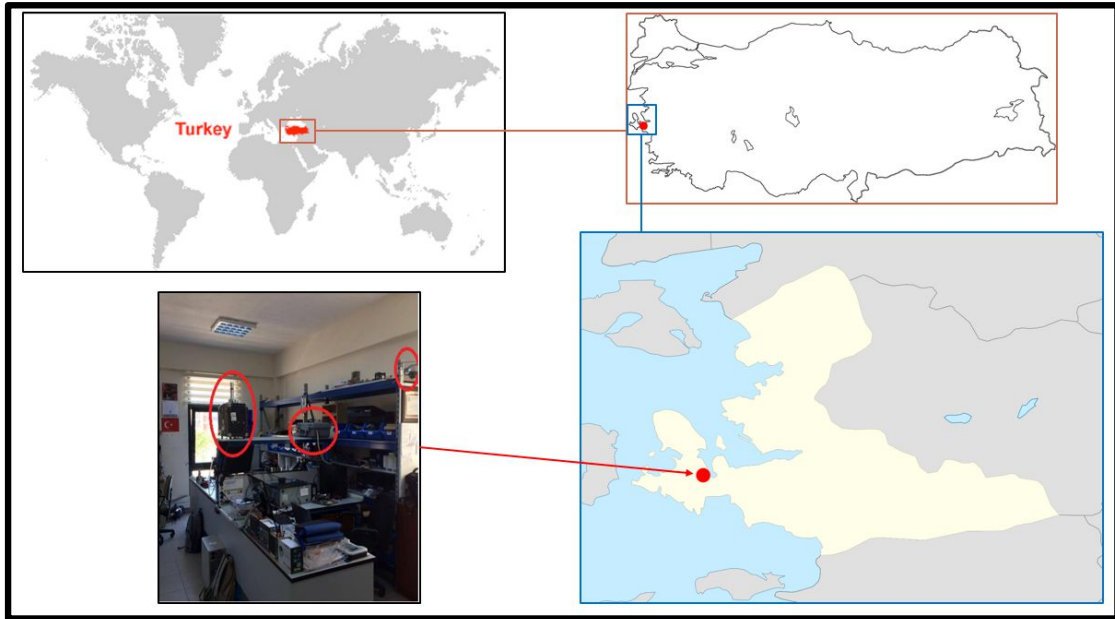
Kalıcı Organik Kirleticiler (KOK'lar) karbon içerikli organik kimyasallardır. Doğaya salındığında: (i) çevresel ortamlarda uzun yıllar boyunca bozunmadan kalabilir, (ii) toprak, su ve havanın da içinde olduğu doğal süreçlerle kullanıldıkları alanların dışındaki uzun mesafelere dağılabilir, (iii) lipofilik yapıları nedeniyle insanların da içinde bulunduğu canlı organizmalarda birikime uğrarlar ve besin zincirinde yukarı gidildikçe yüksek konsantrasyonlara ulaşabilirler, (iv) insanlar ve çevre için toksiktir (URL1). KOK'lar, endüstriyel süreçlerde yoğun bir şekilde kullanılmaları, parçalanmaya karşı dirençleri ve lipofilik yapıları nedeniyle biyolojik birikime uğrarlar, dolayısıyla en yaygın bulunan çevresel kirleticilerdendir. Onlarca yıldır süregelen insan faaliyetleri sonucu çevreye salınan KOK'lar geniş bir alana yayılarak daha önce kullanılmadıkları bölgelerde bile çevre kirliliğine sebep olmaktadır (URL1). Öyle ki, suda çözünürlüklerinin düşük olması ve lipofilik yapılarından dolayı yağlı dokularda birikime uğramaları nedeniyle konsantrasyonları 70000 kat artış gösterebilir. Balıklar, yırtıcı kuşlar, memeliler ve memeliler grubunda bulunan insanlar, besin zincirinin üst basamaklarında bulduklarından dolayı yüksek konsantrasyonlara maruz kalmakla beraber seyahat ve göç sebebiyle KOK'ların taşınımına katkıda bulunmaktadır.

Bir grup KOK olan bromlu difenil eterler (PBDE), yanma geciktirici olarak kullanılmıştır. PBDE'lerin başlıca kullanıldığı yerler; poliüretan köpükler, plastikler, elektronik ekipmanlar, tekstil ve mobilyalardır (Kurt-Karakuş vd., 2017). PBDE'ler tarih boyunca en çok kullanılan yanma geciktiriciler olmasına karşın toksik olmaları ve uzun yıllar bozunmadan kalabilmeleri gibi özellikleri nedeniyle çevresel bir sorun teşkil etmektedir. Bu sebepten dolayı ticari penta-BDE ve okta-BDE'lerin 2008 yılında Stockholm Sözleşmesine dahil edilmesinin ardından 2016 yılında ticari deca-BDE'ler de sözleşmeye dahil edilmiştir. PBDE'ler üzerine yapılan düzenlemelerle yeni PBDE kaynaklarının hayatımıza girmesi kısıtlanmış olsa da bu maddeleri içeren ürünlerin ve yapıların halen hayatımızda olması nedeniyle PBDE'lere maruziyet devam etmektedir. Kaynak yoğunluğunun yüksek olması ve elektronik ekipmanların açılarak işlem uygulanması gibi sebeplerden dolayı teknik servisler PBDE'lere maruziyetin yüksek olabileceği yerlerdendir.

Mesleki maruziyet açısından önem arz eden PBDE'ler, bu çalışma kapsamında üç ay süre boyunca bilgisayar teknik servisinde iç hava ve çökelmiş tozda izlenmiştir.

## 2. GEREÇ VE YÖNTEM

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilgi İşlem Daire Başkanlığı bünyesinde faaliyetlerini sürdüren bilgisayar teknik servisi örnekleme noktası olarak seçilmiştir. Örnekleme Mart ve Mayıs ayları (2016) arasında üç ay süreyle yapılmıştır. İç ortam havasının örnekleme için aktif ve pasif örnekleme cihazları kullanılmıştır. Bir pompaya bağlı poliüretan köpük (PUF) haznesiyle haftada bir gün (n=12) 24 saat süreyle örnekleme yapılmıştır. PUF haznesinden önce yerleştirilen bir cam elyaf filtre üzerine partikül örnekleme de yapılmış ancak bu bildiriye sadece gaz faz verileri kullanılmıştır. Aktif örnekleme debisi sabit 20 l/dk'da tutulmuştur. Paralel olarak aylık (n=3) pasif örnekleme de yapılmıştır. Pasif örnekleme için disk tipi PUF kullanılmıştır. Ayrıca pasif örneklemeyle eşzamanlı olarak, yatay yüzeylere çökelmiş toz örnekleme de yapılmıştır (n=3). İç ortam tozu bir fırça yardımıyla 1 m<sup>2</sup>'lik alandan alüminyum folyo üzerine süpürülmüştür. Toplanan tüm örnekler önceden fırınlanmış (450 °C) alüminyum folyo içerisine konduktan sonra kilitli poşet içerisinde ekstraksiyon yapılabilecek şekilde -20 °C'de saklanmıştır.



Şekil 1. Örnekleme noktası ve konumu.

Analitik işlemler sırasında oluşan geri kazanımların belirlenmesi için örneklere ekstraksiyondan önce, izleme standardı olarak BDE-77 enjekte edilmiştir. Çökelmiş toz örnekleri hegzan:aseton (1:1) çözeltisiyle ultrasonik banyo içerisinde ekstrakte edilirken gaz faz örnekleri hegzan:aseton (1:1) çözeltisiyle Soxhlet ekstraksiyonuna tabi tutulmuşlardır. Ekstraksiyon sonrası döner buharlaştırıcıda hacmi 5 mL'ye düşürülen ekstrakt, azot gazı altında hacmi 1 mL'ye düşürülmüştür. Derişim sonrası deaktive alümina (450 °C'de en az 4 saat fırınlanmış, %6 oranında ultra saf su ile deaktive edilmiş) ve sodyum sülfat (450 °C'de en az 4 saat fırınlanmış) içeren kolonda temizlik

prosedürü uygulanmıştır. Temizlik işlemi öncesi 10 mL elüsyon çözeltisiyle (diklorometan:hegzan; 1:4) kolona ön temizlik uygulanmıştır. Ekstrakt kolona verildikten sonra 35 mL diklorometan:hegzan (1:4) çözeltisiyle elüsyon yapılmıştır. Temizlik işlemi sonrası elde edilen çözeltinin hacmi döner buharlaştırıcıyı müteakip azot gazı altında 1 mL'ye düşürülerek izo-oktan içerisinde toplanmıştır. Konsantre edilen ekstraktlar, negatif kimyasal iyonizasyon (NCI) modunda Agilent 6890 GC-5973 MSD ile Tablo 1'de belirtilen BDE türdeşleri hedeflenerek analiz edilmiştir.

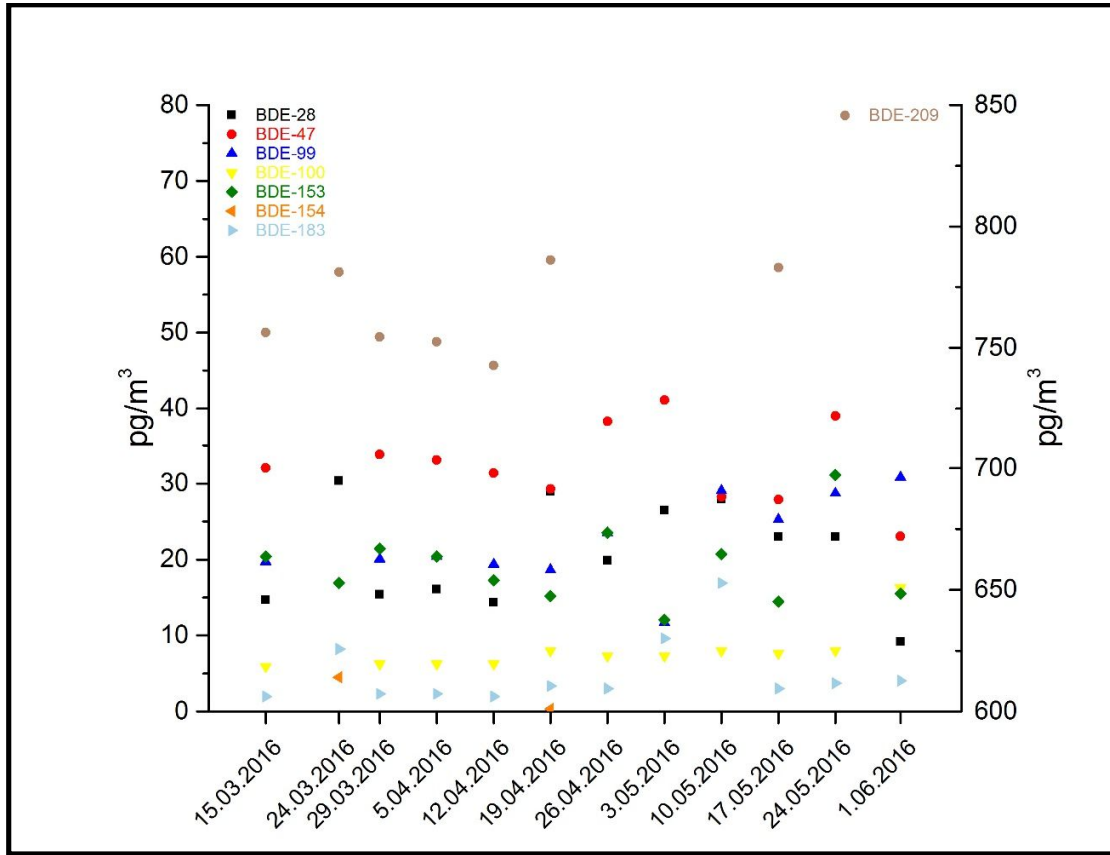
**Tablo 1.** Analizi yapılan BDE türdeşleri ve buhar basınçları

Bileşik	BDE Türdeşi	*Buhar Basıncı (Pa)
2,4,4'-tribromodiphenyl ether	BDE-28	$9,07 \times 10^{-4}$
2,2',4,4'-tetrabromodiphenyl ether	BDE-47	$1,9 \times 10^{-4}$
2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether	BDE-99	$1,8 \times 10^{-5}$
2,2',4,4',6-pentabromodiphenyl ether	BDE-100	$5,50 \times 10^{-6}$
2,2',4,4',5,5'-hexabromodiphenyl ether	BDE-153	$2,1 \times 10^{-6}$
2,2',4,4',5,6'-hexabromodiphenyl ether	BDE-154	$2,64 \times 10^{-7}$
2,2',3,4,4',5',6-heptabromodiphenyl ether	BDE-183	$4,68 \times 10^{-7}$ <sup>a</sup>
decabromodiphenyl ether	BDE-209	$1,2 \times 10^{-10}$

\* (Kurt-Karakuş vd., 2017)

### 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

İç ortam havasında bulunan BDE türdeşlerinin aktif örnekleme yöntemiyle elde edilen konsantrasyon verileri Şekil 2'de görülmektedir. Gaz fazında bulunan BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-183 ve BDE-209'un konsantrasyonlarının sırasıyla 9-30, 28-41, 12-31, 6-16, 12-31, 2-17 ve 542-786 pg/m<sup>3</sup> aralığında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen konsantrasyon değerlerine göre BDE-209'un baskın tür olduğu görülmektedir. Haftalık alınan aktif örneklerde elde edilen BDE türdeşlerinin konsantrasyonlarının değişiminin bir ifadesi olan değişkenlik katsayısı (CV) hesaplanmıştır. Aktif gaz örneklemeğinde BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-183 ve BDE-209 için elde edilen değişkenlik katsayıları sırasıyla %31, %34, %39, %25, %84 ve %10 civarındadır. Genel olarak düşük değişkenlik katsayıları elde edilmiş olmasına rağmen BDE-183'nin değişkenlik katsayısı %84 gibi yüksek bir değerdir. BDE-183'ün değişkenlik katsayısının nispeten yüksek çıkmasının sebebi genel olarak gözlenen konsantrasyonların düşük olması ve Mayıs ayında alınan ilk iki numunede elde edilen yüksek konsantrasyon değerlerinin standart sapmayı arttırmış olması olabilir. Bu durumun sebebinin kısa süreli kaynak girişinden dolayı iç ortamda BDE-183 konsantrasyonunun artması ve kaynak çıkışıyla beraber ortamda konsantrasyonların normal seviyelere düşmüş olabileceği düşünülmektedir. Gaz fazla elde edilen BDE-209 konsantrasyonlarının nispeten yüksek oluşu ve değişkenlik katsayısının düşük olması iç ortamda güçlü bir BDE-209 kaynağının bulunduğunu göstermektedir. Ticari penta-BDE'lerin içeriğinde bulunan BDE-47/BDE-99 oranı genellikle 0,8-1 aralığında değişmektedir (Tian vd., 2010; Hazrati vd., 2010). Gaz fazında aktif örneklemeyle elde edilen BDE-47/BDE-99 oranı 0,88 olarak belirlenmiştir. Bu durum ticari penta-BDE ürünlerinin BDE-47 ve BDE-99'un emisyon kaynağı olduğu düşüncesini desteklemektedir.



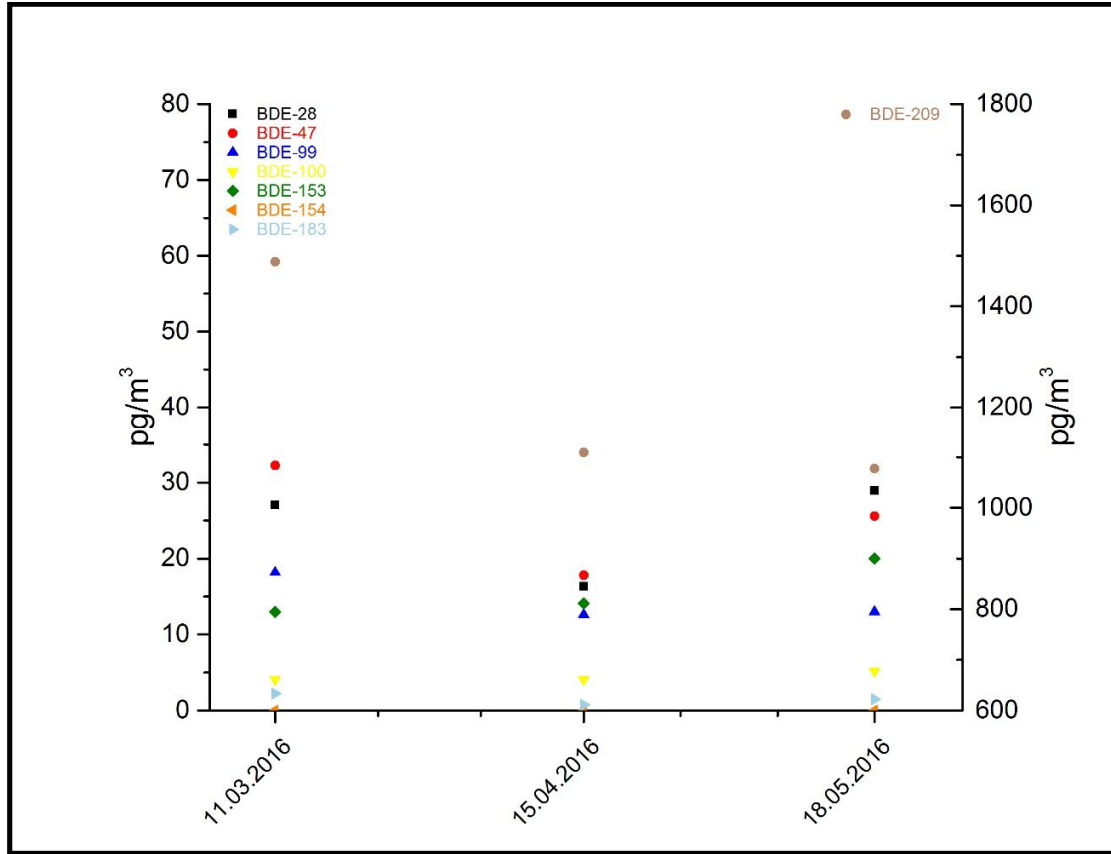
Şekil 2. İç ortam havasında aktif örneklemeyle belirlenen BDE türdeşlerinin konsantrasyonları (sağ eksen BDE-209, sol eksen diğer türdeşler içindir)

İç ortamda gaz formunda bulunan PBDE'lerin pasif örneklemeyle elde edilen konsantrasyonları Şekil 3'te görülmektedir. BDE türdeşlerinden BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-183 ve BDE-209'un konsantrasyonları sırasıyla 16-29, 18-32, 12-18, 4-5, 13-20, 0,8-2 ve 1077-1487  $\text{pg}/\text{m}^3$  aralığındadır. Pasif örneklemeyle elde edilen değerlerin özellikle BDE-209 türdeşinde aktif örneklemeyle elde edilenlerden yüksek olduğu görülmektedir. Pasif örneklemeyle elde edilenlerin kısmen partikülleri de örneklemeyle elde edilenlerdir (He ve Balasubrahmanian, 2012). Partikül fazında bulunan türdeşlerin pasif örneklemeyle tutunmasıyla, muhtemelen gaz fazda olduğundan daha yüksek değerlerde PBDE konsantrasyonları elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar; pasif örneklemeyle elde edilen değerlerin partikül fazından gerçekleşen girişimler nedeniyle gerçek değerinden uzaklaşabileceğini göstermektedir. Pasif örneklemeyle elde edilen konsantrasyonların hesaplanan değişkenlik katsayıları; BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-183 ve BDE-209 için sırasıyla %23, %23, %17, %11, %20, %41 ve %15'dir. Pasif örnekleme verilerinden elde edilen değişkenlik katsayıları aktif örneklemeyle elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermekle beraber nispeten düşük seviyelerdedir. Bu durum örnekleme süresi boyunca elde edilen konsantrasyon verilerinin benzer seviyelerde olduğunu göstermektedir. Pasif örnekleme ile uzun zaman ortalaması bir konsantrasyon ölçülürken aktif örneklemede



günlük/kısa süreli etkilerin değişkenliğe yansıyor olması bu durumun oluşmasına katkıda bulunmuş olabilir. Pasif örneklemede BDE-47/BDE-99 oranı 1,73 olarak belirlenmiştir. Ticari penta-BDE'lerde BDE-47/BDE-99 oranının 0.8-1.0 aralığında olduğu göz önüne alındığında elde

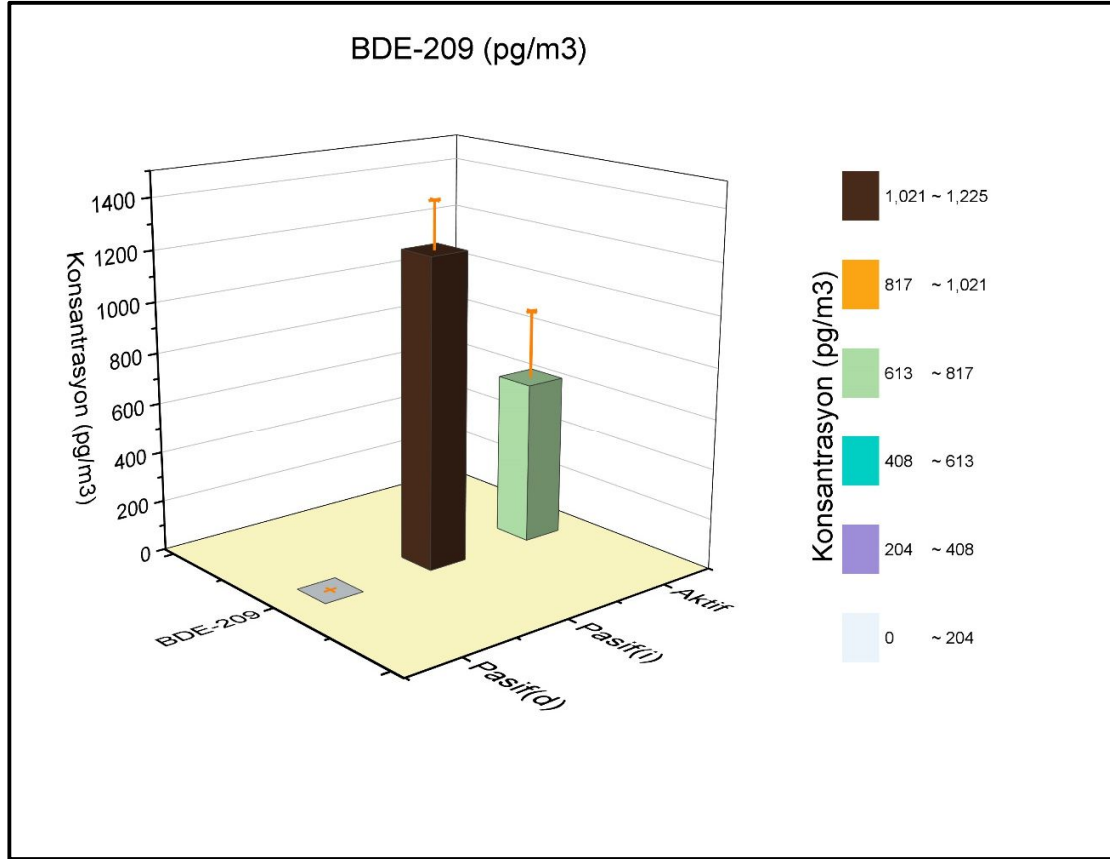


Şekil 3. İç ortam havasında pasif örneklemeyle belirlenen BDE türdeşlerinin konsantrasyonları (sağ eksen BDE-209, sol eksen diğer türdeşler içindir)

edilen BDE-47/BDE-99 oranının nispeten yüksek olduğu görülmektedir. Bilgisayar teknik servisinde PBDE'ler üzerine yapılan çalışmamızın diğer kısmında (Genisoglu vd., 2017) PM<sub>1</sub> ve PM<sub>10</sub>'a bağlı PBDE'lerden BDE-47/BDE-99'un oranlarının sırasıyla 1,63 ve 1,56 olduğu belirlenmiştir. Pasif örneklemede elde edilen yüksek BDE-47/BDE-99 oranının diğer kısımda partikül madde üzerinden elde edilenler ile benzerlik göstermesi, pasif örnekleme esnasında partikül tutunumu dolayısıyla bir girişim yaşandığı ve tam anlamıyla gaz fazda bulunan konsantrasyonu temsil etmeme ihtimalinden dolayı yüksek değerler elde edildiği kanısını desteklemektedir. BDE-209'un iç ortamdan aktif ve pasif örneklemeyle elde edilen konsantrasyonları (Şekil 4) bu kanyığı destekleyen diğer bulgudur.

İç ortamda yapılan pasif örnekleme eş zamanlı olarak dış ortamda da örnekleme yapılmıştır. Dış ortam örneklerinden elde edilen veriler, dış ortamda bulunan BDE türdeşlerinin ( $C_{dış}$ ) iç ortamda gözlenen konsantrasyonlarının ( $C_{iç}$ ) çok altında olduğunu göstermektedir (Şekil 5).  $C_{iç}/C_{dış}$  oranının 1'in çok üstünde olması PBDE kaynaklarının genellikle iç ortamda bulunduğu kanısını

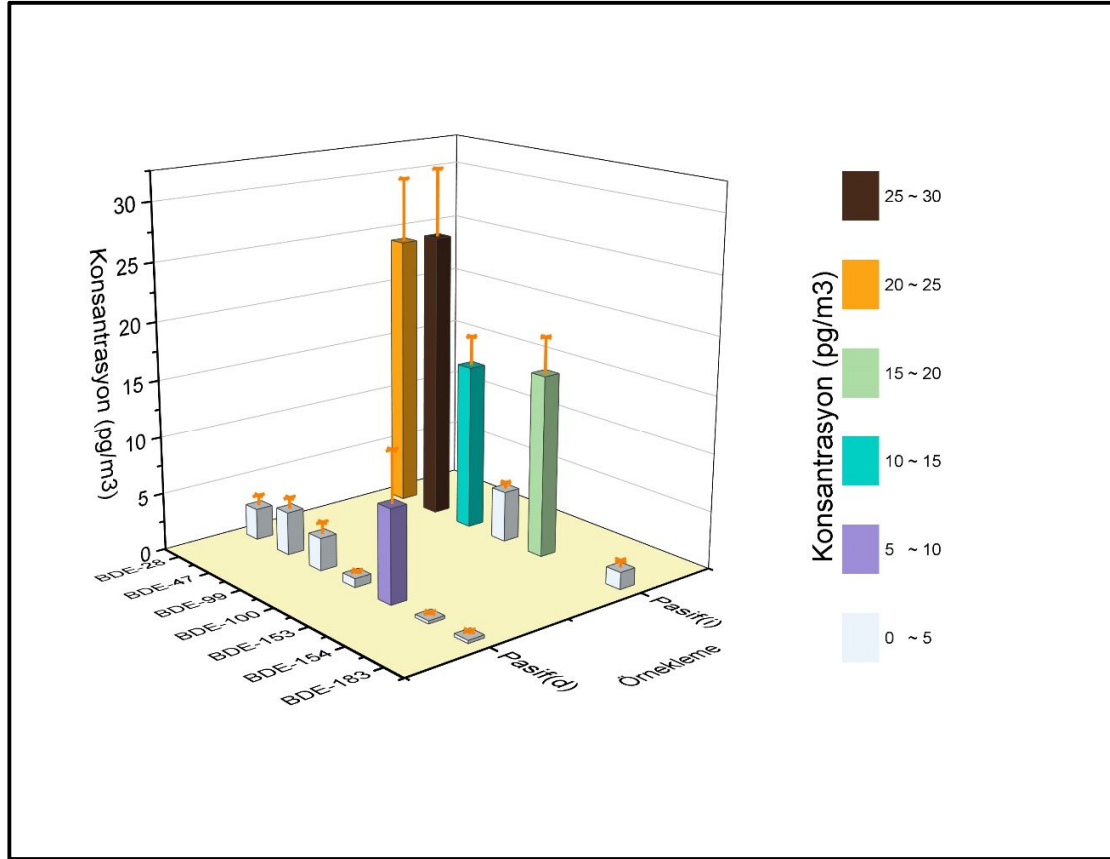
desteklemektedir. İç ve dış ortamdan yapılan pasif örneklemede elde edilen BDE-153 konsantrasyonları sırasıyla 15,7 ve 8,08  $\text{pg}/\text{m}^3$ 'tür. Bu durumda, iç ortamda belirlenen BDE-153 konsantrasyonunun yaklaşık %52'sinin dış ortam kaynaklı olduğu görülmektedir.



Şekil 4. BDE-209'un iç ortam (aktif ve pasif örnekleme) ve dış ortam (pasif örnekleme) konsantrasyonları

Toplanan çökelmiş toz örneklerinden elde edilen konsantrasyon verileri Şekil 6'da görülmektedir. Çökelmiş tozda bulunan BDE türdeşlerinden BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154, BDE-183 ve BDE-209'un konsantrasyonları sırasıyla 4-6, 13-25, 8-32, 5-12, 9-122, 2-3, 20-28 ve 118-2748  $\text{ng}/\text{g}$  aralığındadır. Gaz fazdakine benzer bir şekilde çökelmiş tozda da BDE-209 baskın türdeşdir. Örnekler arasında elde edilen verilerin değişkenlik katsayıları BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154, BDE-183 ve BDE-209 için sırasıyla %18, %29, %52, %41, %68, %19, %14 ve %38'dir. BDE-153 türdeşinin aktif ve pasif gaz örneklemesinden elde edilen konsantrasyon verileri daha dar bir aralıkta iken çökelmiş toz örneklemesinde elde edilen konsantrasyon verileri daha değişken olduğu toz örneklemesinde elde edilen %68 gibi yüksek bir değişkenlik katsayısı ile desteklenmektedir. Yüksek moleküler yapıdaki BDE türdeşleri daha çok toz formunda bulunmaktadır (Li vd., 2015). Toz örneklemeyle elde edilen BDE türdeş profilinde BDE-153'ün yüzdesinin gaz formunda elde edilen profile göre üst sıralarda oluşu iç kaynak değişikliğine ve dış havanın bir kaynak olmasına ek olarak BDE-153'ün yüksek moleküler

yapısından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Toz örneklerinde belirlenen BDE-47/BDE-99 oranı 1,10'dur ve ticari penta-BDE ile benzerlik göstermektedir. Bu nedenle BDE-47 ve BDE-99'un ticari penta-BDE kaynaklı olduğu söylenebilir.



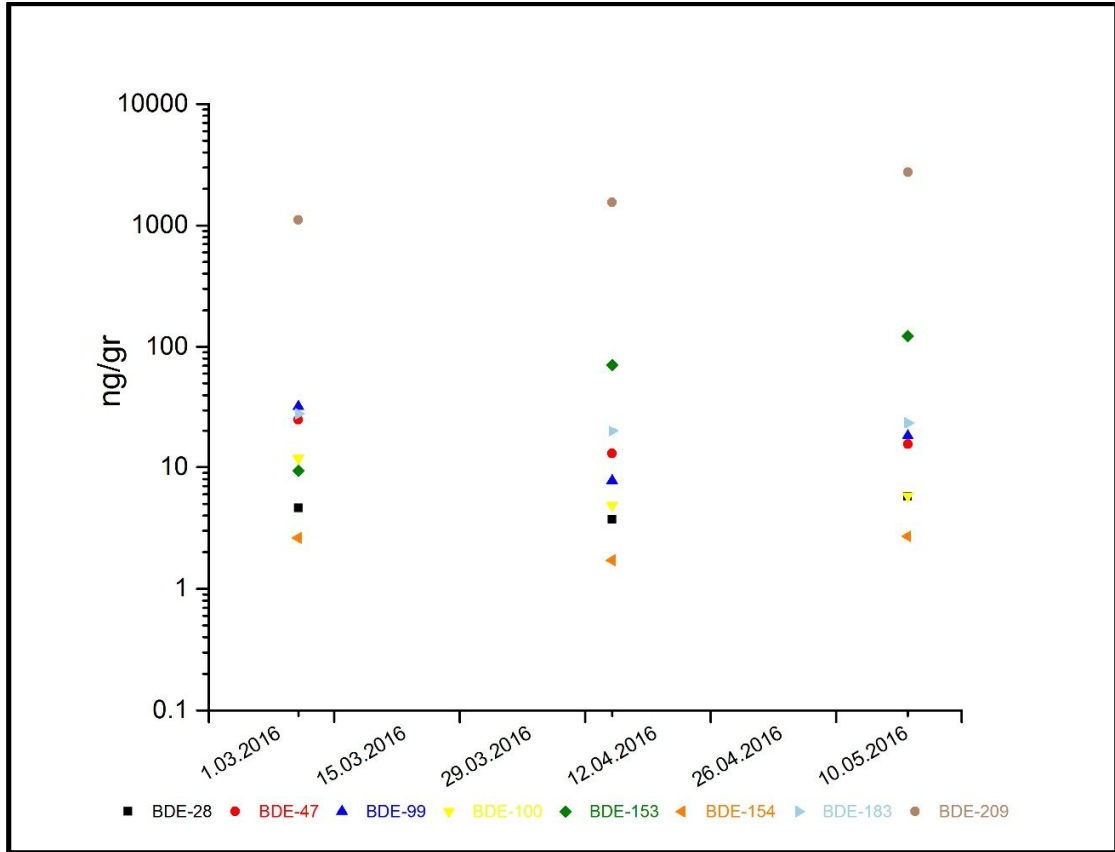
**Şekil 5.** Bazı BDE türdeşlerinin pasif örneklemeyle iç ve dış ortamda belirlenen konsantrasyonları

BDE türdeşlerinin çökelmiş toz ve gaz faz arasında dağılımını ifade eden dağılım katsayısı değerleri ( $K_D$ ) Denklem 1'e göre (Wei vd., 2016) hesaplanmıştır (Tablo 2). Aktif örnekleme temel alınarak hesaplanan ortalama  $\log_{10}K_D$  değerleri ile pasif örnekleme üzerinden hesaplananlar benzer bulunmuştur. Boston'da (A.B.D.) Watkins ve arkadaşlarının (2013) PBDE'ler üzerine yaptığı çalışmada elde edilen verilerden hesaplanan çökelmiş toz ve gaz fazı dağılım katsayıları bu çalışmada elde edilen verilerle uyumluluk göstermektedir. Ancak, BDE-209 için hesaplanan  $\log_{10}K_D$  değeri Watkins ve arkadaşlarının (2013) yayınladığı konsantrasyonlardan hesaplanan değere yakın olmasına karşın Wei ve arkadaşlarının (2016) bulunduğu değerden düşük çıkmıştır. Bu durumun sebebinin, Wei ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada çökelmiş toz-gaz fazı dağılım katsayısı hesabında kullandığı örnek sayısının 3 adet olması ve seçtiği örnekleme noktalarının evler olmasına karşın bu çalışmada bilgisayar teknik servisi ve Boston'da ofisler olması dolayısıyla örnekleme noktalarında bulunan kaynak türü ve yoğunluk farkı olduğu düşünülmektedir.



$$K_D = X_D / C_G \quad (1)$$

Denklemden;  $K_D$  ( $m^3/\mu g$ ), çökelmiş toz ve gaz arası bölüşüm katsayısı;  $X_D$  ( $\mu g/\mu g$ ), çökelmiş toz BDE türdeş konsantrasyonu;  $C_G$  ( $\mu g/m^3$ ), gaz fazı BDE türdeş konsantrasyonunu ifade etmektedir.



Şekil 6. BDE türdeşlerinin çökelmiş toz örneklerinde belirlenen konsantrasyonları

**Tablo 2.** PBDE'lerin bazı çalışmalarda elde edilen log<sub>10</sub>K<sub>D</sub> değerleri

Çalışma	Bu çalışma*	Bu çalışma**	Wei vd. 2016	Watkins vd. 2013***
BDE-28	-3,65	-3,71	-3,62	-3,88
BDE-47	-3,26	-3,15	-2,70	-2,58
BDE-99	-3,07	-2,88	-1,74	-1,95
BDE-100	-3,02	-2,77	-1,89	-1,99
BDE-153	-2,45	-2,36	-0,90	-1,62
BDE-154	-3,01		-1,09	-1,60
BDE-183	-2,32	-1,79		-3,39
BDE-209	-2,55	-2,83	5,34	-2,62

\*Aktif örnekleme, \*\*Pasif örnekleme ile hesaplanan değerler.

\*\*\*Bildirilen konsantrasyon değerlerinden hesaplanmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma sonunda elde edilen bulgular BDE-209'un gaz ve çökelmiş toz formlarında baskın olduğunu göstermektedir. Eş zamanlı yapılan pasif ve aktif örnekleme, partikül madde girişiminden dolayı pasif örnekleme yoluyla daha yüksek konsantrasyon değerleri elde edildiğini göstermiştir. BDE-47/BDE-99 oranı çökelmiş toz ve aktif gaz örneklerinde ticari penta-BDE içeriğiyle (0,6-1,0) benzerlik gösterirken, pasif örneklemede bu değer 1,73'tür. Çalışmamızın diğer verileriyle beraber (Genisoglu vd., 2017) genel bir değerlendirme yapıldığında BDE-47/BDE-99 oranının partikül maddede, gaz ve çökelmiş toz formlarından yüksek olduğunu görülmektedir. Bu durumun partikül maddenin partikül çapının küçük olması dolayısıyla daha fazla adsorptif yüzey alanı sağlaması ve daha düşük moleküler ağırlığa sahip BDE-47'nin moleküler difüzyon hızının daha yüksek moleküler ağırlığa sahip BDE-99'dan fazla olması nedeniyle partikül difüzyon adsorpsiyonuna daha fazla uğraması olduğu konusunda bir kanı oluşmaktadır. Öte yandan, BDE-47 ve BDE-99 ile yapılan çalışmalarda elde edilen BDE-99'un varlığının BDE-47'nin adsorpsiyonunu limitleyici bir etken olduğuna yönelik (Yan vd., 2016) veriler bulunmakta ve bu noktada soru işaretleri oluşturmaktadır. Ayrıca, özellikle elektronik cihazlardan ultra-küçük boyutlu partikül salınımının da PBDE'lerin partikül faz konsantrasyonlarının yüksek değerlere ulaşmasında etkili olabildiği bildirilmektedir (Li vd., 2015). İlaveten, örnekleme ortamının farklı kompozisyonlardaki ticari BDE ürünlerinin etkisi altında olmuş olmasından da kaynaklanabilir.

Bu çalışma kapsamında gözlenen yüksek BDE konsantrasyonlarının bilgisayar teknik servisi çalışanları için mesleki maruziyet açısından önemini ortaya koymaktadır. PBDE'lerin bozunmaya karşı dirençleri ve lipofilik yapıları sağlık açısından endişeleri arttırmaktadır. Üretimi ve kullanımı mevzuatlarla limitlenmiş olan PBDE'lerin daha önce üretilmiş bilgisayar ve elektronik ekipmanlarda yüksek oranlarda bulunması ve bu kimyasalların fiziksel ve kimyasal kararlılığı göz önüne alındığında yalnız teknik servis elemanlarının değil, sökme ve geri dönüşüm tesislerinde çalışanlar için de ciddi maruziyet düzeylerine ulaşabileceği düşünülmektedir. Uygun yapılmayan sökme ve geri dönüşüm işlemleri aynı zamanda bu tesislerden BDE türdeşlerinin emisyonlarına sebep olarak geniş bir alanda PBDE kirliliğine yol açabilme riski bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı PBDE içeren elektronik ekipmanların usulüne uygun bir şekilde sökme, geri dönüşüm ve bertarafı yapılarak muhtemel emisyon kaynaklarının yok edilmesi gerekmektedir.

## TEŞEKKÜR

Çalışmamızın yapılabilmesi için katkılarından ve hoşgörülü ev sahipliklerinden dolayı teknik servis çalışanları Cengiz Duyuk, Atilla Özsayın, Metin Kaplan ve Aydın Cem Kölemezli'ye sükran borçluyuz. Örnek toplama ve işleme çalışmalarındaki katkılarından dolayı Deniz Ekerler, Mustafa Ellü ve Tugba Ugranlı-Çiçek'e teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- He, B., Balasubrahmanian, 2012. Passive Sampling of Gaseous Persistent Organic Pollutants in The Atmosphere. International Conference on Future Energy, Environment, and Materials. Energy Procedia, 16, 494-500.
- Genisoglu, M., Gungormus, E., Sofuoglu, A., Kurt-Karakus, P.B., Birgul, A., Sofuoglu, S.C., 2017. Particle-bound PBDEs in a Computer Repair Service: PM1, PM10, and settled dust. 37th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, August 20-25. Vancouver, Canada.
- Hazrati, S., Harrad, S., Alighadri, M., Sadeghi, H., Mokhtari, A., Gharari, N., Rahimzadeh, S., 2010. Passive air sampling survey of polybrominated diphenyl ether in private cars: implications for sources and human exposure. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 7(2), 157-164.
- Kurt-Karakus, P.B., Alegria, H., Jantunen, L., Birgul, A., Topcu, A., Jones, K.C. and Turgut, C., 2017. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and alternative flame retardants (NFRs) in indoor and outdoor air and indoor dust from Istanbul-Turkey: Levels and an assessment of human exposure. Atmospheric Pollution Research 8(5), 801-815.
- Li, Y., Chen, L., Ngoc, D.M., Duan, Y., Lu, Z., Wen, Z., Meng, X., 2015. Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in PM2.5, PM10, TSP and Gas Phase in Office Environment in Shanghai, China: Occurrence and Human Exposure. PLoS ONE, 10(3): e0119144.
- Tian, S., Zhu, L., Liu, M., 2010. Bioaccumulation and distribution of polybrominated diphenyl ethers in marine species from Bohai Bay, China. Environmental Toxicology and Chemistry, 29(10), 2278-2285.
- URL1. Stockholm Convention UNEP. <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/tabid/673/Default.aspx>, Erişim Tarihi: 06 Eylül 2017.
- Watkins, D.J., McClean, M.D., Fraser, A.J., Weinberg, J., Stapleton, H.M., Webster, T.F., 2013. Associations between PBDEs in office air, dust, and surface wipes. Environment International, 59, 124-132.
- Wei, W., Mandin, C., Blanchard, O., Mercier, F., Pelletier, M., Le Bot, B., Glorennec, P., Ramalho, O., 2016. Chemosphere, 153, 212-219.