

İÇ VE DIŞ ORTAM HAVA ÖRNEKLERİNDE POLİAROMATİK HİDROKARBONLARIN (PAH'ların) İNCELENMESİ: BURSA ÖRNEĞİ

*Fatma ESEN **
*Gizem KAYIKÇI **

Alınma: 28.07.2017; düzeltme: 12.12.2017; kabul:22.12.2017

Öz: Bu çalışmada, Bursa ilindeki on iki farklı ev ortamından alınan iç ve dış ortam hava örneklerinde Poliaromatik hidrokarbonların (PAH'ların) konsantrasyonları belirlenmiştir. Örneklemeye kapı ve pencerelerin açık olduğu yaz ve havaların soğumaya başladığı sonbahar dönemini yansıtmaması bakımından 2014 yılı Temmuz ve Aralık ayları arasında gerçekleştirilmiştir. PAH konsantrasyonları pasif örnekleyiciler kullanılarak toplanmıştır. Yaz dönemi için PAH konsantrasyonu oturma odası, mutfak ve dış ortam havasında sırasıyla 20 ± 17 , 22 ± 28 , 10 ± 6 ng/m³ olarak belirlenmiştir. Sonbahar dönemi için ise PAH konsantrasyonu oturma odası, mutfak ve dış ortamda sırasıyla 27 ± 19 , 21 ± 10 , 20 ± 11 ng/m³ değerlerini almıştır. Yaz dönemi oturma odası ve mutfak örneklerinde çocukların kanser potansiyellerinin yetişkinlere göre iki kat daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Sonbahar döneminde çocukların kanser olma potansiyelleri yetişkinlerden yaklaşık 2,5 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan tanı oranlarına göre yaz ve sonbahar dönemleri için PAH kirletici kaynağının yanma kökenli olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: iç ortam, PAH, Bursa, kanser riski

Investigation of Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) in Indoor and Outdoor Air Samples: Bursa Case

Abstract: In this study, the concentrations of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) were determined at indoor and outdoor air samples taken from twelve different home environments in Bursa province. The sampling was carried out between July and December 2014 to reflect the autumn when the doors and windows were open and the ambient air began to cool off. The samples were collected using passive samplers for PAH analysis. The PAH concentrations for the summer period were 20 ± 17 , 22 ± 28 , 10 ± 6 ng / m³ in the living room, kitchen and outdoor environment, respectively. For the autumn period, PAH concentrations were 27 ± 19 , 21 ± 10 , 20 ± 11 ng / m³ in the living room, kitchen and outdoor environment, respectively. It has been estimated that the cancer potentials for children in the summer period at the living room and kitchen samples were two times higher than for adults. In the autumn, children's cancer potentials were found to be about 2.5 times higher than the ones for adults. Based on the calculated diagnostic ratio, it was determined that the PAH contaminant source for summer and autumn seasons was the combustion.

Keywords: indoor, PAH, Bursa, cancer risk

1. GİRİŞ

İç ortama ait hava kalitesi verileri aktif örnekleme tekniğinin pahalı ve iç ortam için gürültülü olmasından dolayı az ya da eksiktir. Ucuz ve örneklemenin kolay olmasından dolayı pasif örnekleme teknikleri aktif örnekleme göre iç ortam için daha uygun olabilmektedir.

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fak. Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa
İletişim Yazarı: Fatma Esen (payan@uludag.edu.tr)

Poliaromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), poliklorlu bifenilleri (PCB'ler), polibromlu difenileterler (PBDE'ler) ve organoklorlu pestisitler (OCP) gibi pek çok kalıcı organik kirleticiler (KOK) birçok çalışma kapsamında dış ortam havasında belirlenmiştir (Pekey ve diğ., 2007; Çetin ve Odabaşı, 2008; Bozlaker ve diğ., 2008; Cindoruk ve diğ., 2008; Esen ve diğ., 2010; Gaga ve Ari, 2011).

İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü iç ortamda geçirdiklerinden dolayı PAH'lara maruziyeti değerlendirmek önem arz etmektedir. Son yıllarda, iç ortam hava kalitesinin insan sağlığı üzerine olan etkileri giderek artan ilgi görmektedir. Pek çok kaynaktan iç ortam havasına yayılan kirleticiler akut ve kronik sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Birleşmiş Milletler'de yapılan bir araştırmaya göre insanlar bir günlük zamanın %90'ını binalarda geçirmektedir (Robinson ve Nelson, 1995). Bu değer göz önüne alındığında iç ortam hava kalitesinin önemi daha çarpıcı hale gelmektedir.

Yarı uçucu organik bileşikler iç ortama çeşitli yollardan girebilir. İç ortamlara gaz ve partikül fazdaki PAH'lar pencereler, kapılar, binadaki çatlaklar ve havalandırma sistemleri vasıtasıyla, örneğin taşıtların egzozundan çıkan PAH'lar havalandırma için sağlanan dış hava ile birlikte içeriye transfer olabilir (Cheng ve diğ., 2013; Krugly 2013). İkinci tür kaynak direk iç ortamda gerçekleşen yanmadır (gazlı ocakta pişirme yapmak, sigara içmek, mum yakmak) ki bu faaliyetler sıklıkla tekrarlanabilir. Hindistan'da mutfaktaki ocaklarda kullanılan yakıtların ortam havasındaki PAH'ların artışına sebep oldukları belirlenmiştir (Kulkarni ve Venkataraman, 2000). İç ortamdaki yanmadan kaynaklanan yarı uçucu organik bileşikler, dış ortamdaki yanma sonucu oluşan yarı uçucu organik bileşiklerin iç ortama transferinden çok daha büyük bir kaynak olabilmektedir.

PAH'lar, tümör başlatıcı, geliştirici ve ilerletici özellikleri olan potansiyel kanserojenlerdir. Deneysel hayvanlarında yapılan çalışmalarda, bu bileşiklerin bağışıklık sistemini baskılayıcı oldukları ve insanlarda akciğer, mesane ve deri kanserine neden oldukları görülmüştür. PAH'lar yağ dokularında çözünebildiklerinden biyoakümülyasyon vasıtasıyla besin zincirine girebilmektedir. Özellikle Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b+k)fluoranthene ve Benzo(a)pyrene insanlar üzerinde olası kanserojenik etkileri olan PAH bileşikler olarak bilinmektedirler (Gaga ve Ari, 2011).

Örnekler, çalışma alanı olarak seçilen Bursa şehrinde bulunan toplam 12 adet evin oturma odası ve mutfaklarından pasif örnekleme yöntemi ile toplanmıştır. Yaz döneminde 12 adet evin oturma odası ve mutfağından olmak üzere toplam 24 adet iç ortam hava numunesi ve belirlenen 6 adet evden dış ortam hava numunesi toplanmıştır. Sonbahar dönemi 9 adet evin oturma odası ve mutfağından olmak üzere 18 adet iç ortam hava numunesi ve 5 adet evin de dış ortamından hava numunesi toplanarak PAH'ların mevcut durumlarının tespiti amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşabilmek için; (1) PAH'ların mevsimlere göre konsantrasyonlarının belirlenmesi, (2) insan sağlığına etkilerinin ve kanser riskinin hesaplanması, (3) tanı oranları kullanılarak Temel Bileşen Analizi (PCA) ile PAH kaynaklarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

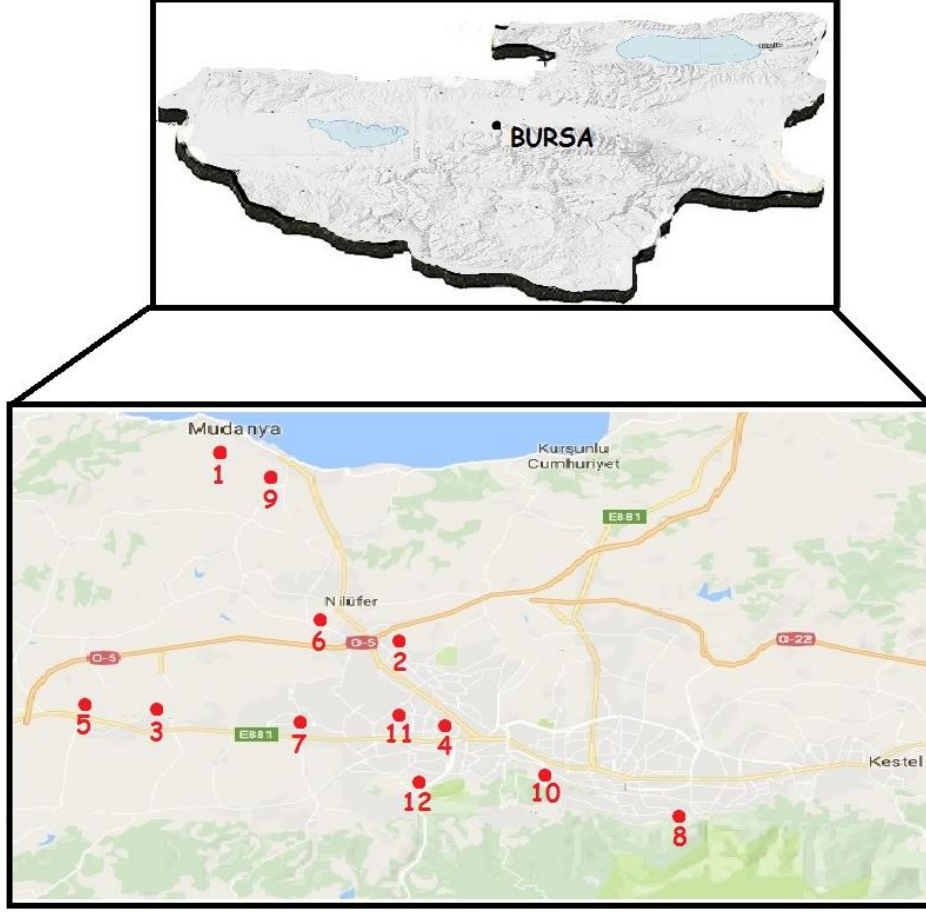
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Örnekleme Programı

Bu çalışma ile Bursa ili sınırları içinde kalan 12 adet evin iç ortamından ve aynı zamanda 6 evin de dış atmosferinden PAH örnekleme yapılmıştır. Örnekler 18.07.2014-01.09.2014 ve 18.10.2014-01.12.2014 tarihleri arasında toplam 2 farklı dönemde toplanmıştır. Örnekler iç ortam ve dış ortam için olan pasif örnekleycileri kullanılarak toplanmıştır.

İç ve dış ortam örnekleri yaz ve sonbahar dönemlerinde Mudanya (1), Yenibağlar mahallesi (2), Altınşehir mahallesi (3), Karaman mahallesi (4), 100. Yıl mahallesi (5), Balat (6), Ataevler (7), Yıldırım (8), Dereköy (9), Selimiye mahallesi (10), Cumhuriyet mahallesi (11) ve Çamlıca (12) noktalarındaki evlerden toplanmıştır (Şekil 1). Örnekleme yapıldığı evler Nilüfer, Osmangazi ve Mudanya ilçelerinde yer almaktadır. Evler seçilirken örnekleme

noktalarının anayola yakın, uzak olma durumu ile evlerde sigara kullanımı ve ısınma türü gibi özellikleri göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 1:
Örnekleme noktalarının Bursa haritasında gösterilmesi

İç ve dış ortam hava örnekleri örnekleme materyali olarak poli ürethan köpüğün (PÜK) kullanıldığı pasif örnekleyciler ile toplanmıştır. Pasif hava örnekleycileri, örneklenecek ortama belirli bir süre için yerleştirilir ve örnekleme ortamındaki kirleticiler ile pasif örnekleycideki örnekleme materyalinin denge konumuna ulaşması için beklenilir. Bu sebeple, pasif örnekleme ile anlık yerine belirli bir zaman dilimindeki kirletici verileri elde edilir. Dış ortam ve iç ortamda kullanılan pasif hava örnekleycilerin (Şekil 2) çalışma prensipleri genel olarak aynıdır. Ancak dış ortam hava örnekleycileri dış etkenlerden korunmak amacıyla iç ortam örnekleycilerinden farklı dizayn edilmiştir. Çalışmada dış ortam için hava örnekleme hacmi ortalama $6,5 \text{ m}^3/\text{gün}$ (Kurt-Karakuş, 2015) iç ortam hava hacmi de $2,5 \text{ m}^3/\text{gün}$ (Wilford ve ark., 2004) olarak kabul edilmiştir.

2.2. Örneklerin Analizi

PÜK disklerin temizliği için 1 gece saf suda bekletilmiş ardından Sokslet ekstraksiyonuyla sırasıyla aseton (ACE), ACE ve ACE/hekzan (HEX)(1:1) karışımı ile birer gün ekstrakte edilmiştir. Temizleme işlemi takiben, PÜK diskler vakumlu desikatöre yerleştirilerek tamamen kurumaları sağlanmıştır. PÜK disk alüminyum folyolara sarılarak kilitli buzdolabı

poşetlerine konulmuş, örnekleme noktalarına götürülene dek derin dondurucuda muhafaza edilmiştir. Örnekleme bölgesine PÜK'ler derin dondurucudan alındığı şekli ile götürülmüştür. Gerek iç gerekse de dış ortam hava örneklerinin ekstraksiyon işleminde klasik yöntem olan sokset sistemi kullanılmıştır. Örneklerdeki PAH'ların solvent fazına geçirilmesi ve sonra konsantrasyon haline getirilmesi, temizleme sürecindeki işlem verimlilikleri geri kazanım (surrogate) bileşiklerinin kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Toplanan örneklere geri kazanım bileşiklerini içeren standart eklendikten sonra 24 saat ACE:HEX (1:1) karışımı ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon işleminden sonra elde edilen örnekler döner buharlaştırıcı vasıtası ile buharlaştırılarak hacimleri yaklaşık 5 mL'ye kadar azaltılmıştır. Kalan hacmin üzerine 15 mL hekzan eklenerek tekrar 5 mL'ye kadar hacim azaltılmıştır. Bu işlem 2 kez tekrarlandıktan sonra örnek, HEX içine alınmıştır. Daha sonra hacim yüksek saflıktaki azot gazı ile 2 ml'ye indirilmiş, örnek 3 g silisik asit, 2 g alümina ve 2 g sodyum sülfat içeren bir kolondan geçirilmiştir. Kolon önce 20 ml diklorometan (DCM) ardından 20 ml petrolümether (PE) ile temizlenmiştir. Kolonun altına 40 ml'lik bir şişe konarak kolona 2 ml'lik örnek ilave edilip ardından 20 ml DCM eklenerek PAH örnekleri toplanmıştır. Daha sonra solvent HEX'a değiştirilerek PAH örneklerinin hacmi 1 ml indirilmiş ve GC-MS ölçümleri için viallere alınmıştır (Esen ve diğ., 2006; Taşdemir ve Esen, 2007). Örneklemede değerlendirilen PAH türleri: floren (FLN), fenantren (PHE), antrasen (ANT), floranten (FL), piren (PY), benzo(a)antrasen (BaA), krisen (CHR), benzo(b)floranten (BbF), benzo(k)floranten (BkF), benzo(a)piren (BaP), indeno(1,2,3-cd)piren (IcdP), benzo(g,h,i)perilen (BghiP)'dir.



Şekil 2:
Dış ortam ve iç ortam pasif hava örnekleyicileri

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

3.1. PAH Konsantrasyonları

Bu çalışmada yaz ve sonbahar dönemi için on iki farklı örnekleme noktasındaki PAH konsantrasyonları ölçülmüştür. Örnekleme noktaları; Mudanya, Yenibağlar, Altınşehir, Karaman, 100. Yıl mahallesi, Balat, Ataevler, Yıldırım, Dereköy, Selimiye mahallesi, Cumhuriyet mahallesi ve Çamlıca'dır. Sonbahar döneminde bu noktalardan Yıldırım, Selimiye ve Cumhuriyet mahallelerinden örnek alınamamıştır. Örnekleme noktalarından iç ortam ve dış ortam örnekleri toplanmıştır. Evlerin iç ortamlarında, oturma odası ve mutfaklarından örnekler alınmıştır. Mudanya, Yenibağlar, Altınşehir, Karaman, Yıldırım ve Dereköyde bulunan örnekleme noktalarının dış ortamlarından da örnekler alınmıştır. Böylece iç ve dış ortamdaki

kaynaklanan kirleticilerin düzeyleri, mevsimsel değişimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Verimleri düşük olan bazı PAH türleri hesaplama dâhil edilmemiş olup 8-11 PAH türü için sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yaz döneminde alınan örnek sonuçlarına göre evlerin iç ortam aktiviteleri ve konumlarının önemli olduğu görülmektedir. İç ortam örnekleme noktalarına ait oturma odalarında ölçülen PAH konsantrasyonları 0,38 ile 60,59 ng/m³ arasında değişmektedir. Maksimum konsantrasyon değeri sigara içilen bir evde ölçülürken, minimum değer örneklenen tür sayısının az olduğu bir evde ölçülmüştür. Oturma odasından alınan örneklerin ortalama PAH konsantrasyonu 20,31±17,92 ng/m³ olarak hesaplanmıştır.

İç ortam mutfaklardaki örnekleme noktalarına ait ölçülen PAH konsantrasyonları 0,31 ile 106,78 ng/m³ arasında değişmiş olup, mutfaklardan alınan örnekleme noktalarının ortalama PAH konsantrasyonları ise 22,96±28,30 ng/m³ olarak hesaplanmıştır. Odun ateşinde yemek yapılan evin mutfağında maksimum değer ölçülürken, mutfağında yemek yapılmayan evde minimum değer ölçülmüştür.

Yaz dönemi dış ortam örneklerine ait ölçülen PAH konsantrasyonları 6,07 ile 20,79 ng/m³ arasında değişmektedir. Dış ortam örnekleme noktalarının ortalama PAH konsantrasyonu ise 10,19±6,13 ng/m³ tür

Dış ortamda ölçülen PAH bileşiklerine ait konsantrasyon değerleri, iç ortama göre (oturma odası ve mutfak) daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum daha önce yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Masih ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ortalama PAH konsantrasyonları mutfak, oturma odası ve dış ortam için sırasıyla 1946,84 ng/m³, 1666,78 ng/m³, 1212,37 ng/m³ olarak hesaplanmıştır. Benzer durum yaptığımız çalışmada da mevcuttur. Yaz dönemi ortalama PAH konsantrasyon değerleri mutfak > oturma odası > dış ortam olarak belirlenmiştir (Masih ve diğ., 2010).

Sonbahar dönemi oturma odasındaki ortalama PAH konsantrasyonlarının yaz dönemine göre yükseldiği gözlenmiştir. Bu durumun ısınmadan kaynaklı oluşan kirleticilerin artışından sebep olduğu söylenebilir. Bir ev hariç diğer evlerde ısınma amacıyla doğalgaz kullanılmasına rağmen sonbahar döneminde dış ortamda artan kirletici konsantrasyonlarının içeriye girebileceği düşünülmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalarda sonbahar döneminde yüksek PAH konsantrasyon değerlerinde artış gözlenmesinin sebebi saman, odun vb. yakıtların yakılması gibi ısınmadan kaynaklı olduğu bulunmuştur (Shen ve diğ., 2013; Zhang ve diğ., 2007).

Sonbahar dönemi iç ortam oturma odalarında ölçülen PAH konsantrasyonları 6,81 ile 59,87 ng/m³ arasında değişmekte olup, ortalama PAH konsantrasyonları 27,29±19,90 ng/m³ olarak hesaplanmıştır. Maksimum konsantrasyon değeri bahçesinde odun ateşi yakılan bir evde ölçülürken, minimum değer sonbahar mevsiminde eve hava temizleme cihazı takılan bir evde ölçülmüştür.

Sonbahar döneminde örnekleme noktalarının mutfaklarında ölçülen PAH konsantrasyonları ise 0,24-36,72 ng/m³ aralığında değişmiştir. Mutfaklardan alınan örneklerde ortalama PAH konsantrasyonları 21,64±10,52 ng/m³ olarak tespit edilmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi bahçesinde odun ateşi yakılan evin mutfağına da dumanların gitmesinden dolayı maksimum PAH konsantrasyonu ölçülmüştür. Minimum değer ise tür sayısının az olduğu bir evde tespit edilmiştir.

Sonbahar döneminde dış ortamda ısınma kaynaklı evlerin bacalarından çıkan emisyonların etkili olduğunu söylemek mümkündür. Bunun yanı sıra ulaşım ve endüstriden kaynaklanan PAH kirleticilerinin varlığı da söz konusudur.

Sonbahar dönemi dış ortam örneklerine ait ölçülen PAH konsantrasyonları 6,74 ile 32,75 ng/m³ arasında değişmektedir. Dış ortam örnekleme noktalarının ortalama PAH konsantrasyonu 20,39±11,29 ng/m³ tür. Dış ortam örneklemede her iki örnekleme döneminde de ana ve ara yola yakın evlerde maksimum PAH konsantrasyonları ölçülürken, minimum değerler sadece ara yola yakın evlerde ölçülmüştür.

3.2. PAH'ların İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

PAH'lar şehir atmosferlerinde yüksek konsantrasyonlarda bulunmalarından ve insan sağlığına ispatlanmış zararlı etkilerinden dolayı son yıllarda dünyada hava kirliliği çalışmalarında oldukça fazla yer almaktadır. Bu çalışmada PAH kirleticileri insan sağlığını direk etkileyecek evlerin iç ve dış ortamlarında örnekleme yapılmış olup ölçüm sonuçları kanser riski açısından değerlendirilmiştir.

PAH kirleticilerinin kanser potansiyelini hesaplarken literatürde BaP ekivalent (BaP_{eq}) konsantrasyonundan yararlanılmaktadır. PAH'ların sağlık riski değerlendirmesi Tablo 1'deki Nisbet ve LaGoy'un (Nisbet ve LaGoy, 1992) TEF değerleri kullanılarak BaP_{eq} konsantrasyonları hesaplanmıştır. PAH bileşiklerinin BaP ekivalent (eşdeğer) konsantrasyon değerleri Tablo 1'deki gibi bulunmuştur.

$$\sum BaP_{eq} = \sum (C_n * TEF_n) \quad (1)$$

Burada, $\sum BaP_{eq}$, toplam toksisite denklik konsantrasyonu (ng/m^3), C_n , örnekteki her bir PAH türüne ait konsantrasyon (ng/m^3), TEF_n : örnekteki her bir PAH türü için toksisite denklik faktörünü (birimsiz) ifade etmektedir.

Tablo 1. Örnekleme noktalarına ait PAH bileşiklerinin BaP ekivalent faktör değerleri (ng/m^3)

PAH	TEF*	Yaz			Sonbahar		
		İç ortam (Mutfak)	İç ortam (Oturma Odası)	Dış Ortam	İç ortam (Mutfak)	İç ortam (Oturma Odası)	Dış Ortam
PHE	0,001	0,0107	0,0095	0,0044	0,0104	0,0116	0,0072
ANT	0,01	0,0863	0,0755	0,0302	0,0695	0,0928	0,0582
FL	0,001	0,0009	0,0009	0,0014	0,0013	0,0017	0,0042
PY	0,001	0,0009	0,0003	0,0009	0,0013	0,0009	0,0023
BaA	0,1	0,0010	0,0117	0,0063	0,0027	0,0170	0,0161
CHR	0,01	0	0,0012	0,0016	0	0,0020	0,0042
BbF	0,1	0,0017	0	0,0016	0,0165	0,0088	0,0049
BkF	0,1	0,0065	0,0047	0,0052	0,0097	0,0139	0,01048
BaP	1	0,0021	0	0,0046	0,0014	0,0100	0,0207
IcdP	0,1	0	0,0013	0	0	0,0034	0
BghiP	0,01	0	0	0	0,0001	0,0002	0
Toplam		0,1103	0,1052	0,0563	0,1131	0,1625	0,1285

*PAH'lar için önerilen Toksikite Ekivalent Faktörü Değerleri (Nisbet ve LaGoy, 1992).

Bu çalışmada PAH bileşiklerinin ekivalent konsantrasyonları mutfak, oturma odası ve dış ortam örneklerinde sırasıyla 0,1103, 0,1052 ve 0,0563 ng/m^3 arasında değişmektedir. Bu değerler hem uluslararası standart değer olan 10 ng/m^3 'ün hem de WHO'nun belirlediği (1 ng/m^3) (WHO, 1998) standart değerinin altında kalmaktadır. Sonbahar döneminde hesaplanan mutfak, oturma odası ve dış ortam kanser risk değerleri ise sırasıyla 0,1131, 0,1625 ve 0,1285 ng/m^3 olarak bulunmuştur. Bu değerler standartların çok altında kalmaktadır. Buna rağmen sonbahar döneminde hesaplanan kanser risklerinin yaz dönemine göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Her ne kadar sınır değerlerin altında olsa da kanser riskini daha da azaltmak için bir takım önlemler alınabilir. İç ortamlarda sigara içilmemesi, mutfaklarda yemek yaparken yağ ve yemeğin yakılmaması, kırsal alanlarda odun ateşinde yemek yapılmaması, dış ortamda ısınma amaçlı yakılan yakıtların kirletici vasfı düşük ve kontrollü olması, gelişmiş ateş yakılmasının (tarlalarda anız yakılması gibi) engellenmesi, taşıtların bakımlı ve egsoz gazı

testlerini yaptırılmış olması gibi parametrelere dikkat edilirse gerek iç ortam, gerekse de dış ortam için PAH konsantrasyonlarının azaltılabileceği düşünülmektedir.

Solumun yoluyla maruziyette solumun hızı, kirleticinin havadaki konsantrasyonunun bir fonksiyonudur ve aşağıdaki şekilde hesaplanır (Lehmann ve ark., doi:10.1289/ehp.1408564).

$$ADD=C* IR * F*CF_1 * Abs_{air}/BW \quad (2)$$

Burada;

ADD= Birim vücut ağırlığı başına günlük ortalama maruziyet dozu ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{gün}$)

C= Kirletici konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{g}$ veya ng/m^3)

IR= Soluma oranı (6-<12 yaş için $12 \text{ m}^3/\text{gün}$, yetişkinler için $15,9 \text{ m}^3/\text{gün}$ (USEPA, 2011))

F= İç ortamda harcanan zaman yüzdesi (birimsiz, 6-12 yaş için 0,91, yetişkinler için 0.80)

CF_1 = Dönüşüm faktörü ($\mu\text{g}/1000 \text{ ng}$)

$Ab_{S_{hava}}$ = Soluma için göreceli absorpsiyon faktörü (birimsiz, 0,9, Hanedar 2009)

BW=Vücut ağırlığı (6-<12 yaş için 31,8 kg, yetişkinler için 80 kg (USEPA 2011)).

Hesaplanan ortalama solumun maruziyet dozu ($\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{gün}$) ile kanser potansiyel faktörünün ($(\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{gün})^{-1}$) çarpımı birimsiz bir değer olan solumun kanser riskini verir (Hanedar, 2009):

Kanser riski= (Solumun Dozu ($\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{gün}$)) x (Kanser Potansiyeli $1/(\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{gün})$)

Literatürden alınan solumun yoluyla kanser potansiyeli faktör değerleri (Tablo 2) (Hanedar 2009) ile çocuk ve yetişkinler için mevsimsel olarak hesaplanan PAH'lara maruziyet dozu (Tablo 3) kullanılarak kanser riskleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değer bir milyondaki kanser olma ihtimalindeki artışa dönüştürmek için 10^6 ile çarpılarak Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 2. Solumun yoluyla kanser potansiyeli faktör değerleri ($\text{kg}\cdot\text{gün}/\text{mg}$)

PAH Bileşiği	Solumun yoluyla kanser potansiyeli faktör değerleri
BaA	0,39
CHR	0,039
BbF	0,39
BkF	0,39
BaP	3,9

Tablo 3. Solumun yoluyla maruziyet dozları ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{gün}$)

ÖrnekNok.	Yaz				Sonbahar			
	Çocuk		Yetişkin		Çocuk		Yetişkin	
	Mutfak	Oturma Odası	Mutfak	Oturma Odası	Mutfak	Oturma Odası	Mutfak	Oturma Odası
1	0,00012	0,00018	0,000056	0,000084	0,00017	0,00012	0,000077	0,000055
2	0,00005	0,00022	0,000022	0,0001	0,00044	0,00042	0,0002	0,0002
3	0,051	0,00014	0,000067	0,000063	0,00021	0,00022	0,000098	0,0001
4	0,059	0,00025	0,000045	0,00011	0,00028	0,00013	0,00013	0,00006
5	0,081	-	0,00011	-	0,00011	0,000057	0,00005	0,000026
6	0,088	0,000026	0,0001	0,000012	0,000071	-	0,000033	-
7	0,023	0,00002	0,000013	0,0000094	0,00016	0,000068	0,000073	0,00003
8	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0,00011	0,000082	0,000049	0,000038	0,00041	0,00059	0,00019	0,0003
10	0,017	0,000022	0,000019	0,000011	-	-	-	-
11	0,000009	-	0,0000043	-	-	-	-	-
12	0,000077	0,000098	0,000036	0,000045	0,00016	0,000094	0,000076	0,00004

Tablo 4. Kanser Risk Oranları (1/milyon)

Örnekleme Noktaları	Yaz				Sonbahar			
	Çocuk		Yetişkin		Çocuk		Yetişkin	
	Mutfak	Oturma Odası	Mutfak	Oturma Odası	Mutfak	Oturma Odası	Mutfak	Oturma Odası
1	0,047	0,04	0,022	0,019	0,143	0,03	0,066	0,014
2	0,018	0,057	0,008	0,027	0,108	0,13	0,05	0,06
3	1,998	0,035	0,016	0,016	0,052	0,063	0,024	0,029
4	2,313	0,058	0,006	0,027	0,072	0,035	0,033	0,016
5	3,299	-	0,068	-	0,019	0,015	0,009	0,007
6	3,455	0,004	0,023	0,002	0,009	-	0,005	-
7	0,913	0,001	0,0005	0,0004	0,04	0,018	0,019	0,008
8	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0,041	0,032	0,019	0,015	0,12	0,25	0,055	0,11
10	0,671	0,006	0,003	0,003	-	-	-	-
11	0,004	-	0,002	-	-	-	-	0,011
12	0,03	0,02	0,014	0,009	0,043	0,024	0,02	0,011

Örnekleme noktalarının solunum yoluyla maruz kalınan kanser potansiyellerinin mevsimlere göre hesabının yer aldığı sonuçlar Tablo 5’de gösterilmektedir. Tablo 5’den görüleceği gibi yaz dönemi oturma odası ve mutfak örneklerinde çocukların kanser potansiyellerinin yetişkinlere göre iki kat daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Sonbahar dönemi oturma odası örneklerinde çocuklar için kanser potansiyeli 0,104 iken yetişkinler için bu değer 0,049 olarak bulunmuştur. Çocukların kanser olma potansiyelleri yetişkinlerden yaklaşık 2,5 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu oran sonbahar dönemi mutfaklarında hesaplanan kanser risk potansiyelleri ile paralellik göstermektedir.

Tablo 5. Mevsimlere göre solunum yoluyla maruz kalınan kanser potansiyelleri

	Birey	Kanser Potansiyeli
Yaz Dönemi	Çocuk	0,063
Oturma Odası	Yetişkin	0,029
Sonbahar Dönemi	Çocuk	0,104
Oturma Odası	Yetişkin	0,049
Yaz Dönemi	Çocuk	0,073
Mutfak	Yetişkin	0,034
Sonbahar Dönemi	Çocuk	0,102
Mutfak	Yetişkin	0,047

3.3. Temel Bileşen Analizi

Temel bileşen analizi (PCA) çok değişkenli bir istatistiksel analiz olup, orijinal verilerin varyanslarını oluşturan daha küçük bir veriye dönüştürür (Agarwal ve diğ., 2009). Temel bileşenler analizi, veri setiyle ifade edilmiş olan bilgiyi alternatif formda ifade etmek amacıyla uygulanan bir metottür.

Değişkenler arasındaki bağımlılık yapısının yok edilmesi veya boyut indirgeme amacıyla kullanılan temel bileşenler analizi tek başına kullanılan bir analiz olduğu gibi, başka analizler için veri hazırlama tekniği olarak da kullanılmaktadır. Değişkenler arasında bir bağımlılığın bulunması ve dolayısı ile bağımsız olmamaları durumunda istatistik analiz sonuçlarının yorumu oldukça güç olmaktadır. Bu gibi durumlarda kullanılan tekniklerin başında temel bileşenler

analizi gelmektedir (Sangül, 2007). PCA için varyansın toplamı PAH konsantrasyonlarına uygulanmıştır. Yaz dönemi iç ortam örneklerinin PCA Analizi Tablo 6'da yer almaktadır. Yapılan çalışmada PCA sonucuna göre baskın kirletici kaynağı olarak araç emisyonları, biokütle/odun ve kömür yanmaları olduğu tespit edilmiştir. PAH bileşiklerinin 0,5'ten büyük değerleri esas alınmıştır. Öz değerler, % varyans, % kümülatif toplam ve PAH kaynakları ilgili olduğu bileşikler Tablo 6'da gösterilmiştir.

PCA hesaplarında evlerin oturma odası ve mutfaklarından alınan örneklerin ortalama PAH konsantrasyonları alınarak iç ortam örnekleri olarak belirtilmiştir.

Tablo 6'daki birinci grup bileşen PC1'e göre en yüksek PAH Fenantren (7,009) bileşiğinde gözlenmektedir. İkinci sırada ise Antrasen (5,504) bileşiğini görmek mümkündür. PC1, varyansı %97 oranında açıklamaktadır. ANT, PY, BaA, CHR, BbF, BkF ve BaP kirleticileri kömürün yanmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca PHE, ANT, PY, BaA ve CHR kirleticileri odun yanmasından kaynaklanmaktadır (Khalili ve diğ., 1995).

İkinci grup bileşen PC2'de Floranten (1,108) bileşiğinin yüksek olduğu hesaplanmıştır. Bu bileşiği araç aktivitelerinden kaynaklanan emisyonların oluşturduğu söylenebilir (Gupta ve diğ., 2011; Masih ve diğ., 2010). Böylece PC2'nin mobil emisyonlardan kaynaklandığı söylenebilir.

Üçüncü grup bileşen için Antrsen (0,662) bileşiğinin majör kirletici kaynağının araç emisyonları ve biyoyakıt yanmaları olduğu görülmektedir (Masih ve diğ., 2010; Gupta ve diğ., 2011). Dördüncü grup bileşen için herhangi bir yorum yapılamamaktadır.

Tablo 7'de sonbahar dönemi iç ortam örneklerine ait PAH bileşiklerinin temel bileşen analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 6. Yaz dönemi iç ortam örneklerine ait PAH bileşiklerinin temel bileşen analizi

PAH Bileşikleri	PC1	PC2	PC3	PC4
PHE	7,009	-0,018	-0,574	0,091
ANT	5,504	-0,282	0,662	-0,082
FL	-0,152	1,108	0,161	0,009
PY	-1,577	0,019	-0,229	-0,466
BaA	-1,972	0,031	-0,006	0,183
CHR	-2,024	-0,035	-0,004	0,185
BkF	-2,252	-0,264	-0,011	-0,010
BaP	-2,276	-0,262	0,008	0,055
IcdP	-2,260	-0,297	-0,007	0,036
Özdeğer	11,696	0,171	0,094	0,034
Varyans(%)	97,470	1,422	0,783	0,282
Kümülatif (%)	97,470	98,892	99,675	99,958
Muhtemel kaynaklar	Araç/ Odun/ Kömür	Araç/ Odun/ Kömür	Araç/ Kömür	-

0,5'ten büyük değerler koyuyla yazılmıştır.

Tablo 7. Sonbahar dönemi iç ortam örneklerine ait PAH bileşiklerinin temel bileşen analizi

PAH Bileşikleri	PC1	PC2	PC3	PC4
PHE	6,861	0,196	0,371	-0,157
ANT	4,848	0,011	-0,563	0,120
FL	-0,201	-0,496	0,269	0,288
PY	-0,666	-0,535	0,137	0,204
BaA	-1,395	-0,596	-0,024	-0,050
CHR	-1,705	2,754	0,019	0,024
BbF	-1,486	-0,604	-0,023	-0,099
BkF	-1,582	0,773	-0,026	-0,031
BaP	-1,552	-0,611	-0,058	-0,087
Özdeğer	7,992	0,936	0,051	0,019

Varyans(%)	88,800	10,399	0,562	0,210
Kümülatif(%)	88,800	99,199	99,761	99,971
Muhtemel kaynaklar	Araç/ Odun/ Kömür	Araç/ Odun/ Kömür	-	-

0,5'ten büyük değerler koyuyla yazılmıştır.

Birinci grup PC1'e göre özellikle Fenantren (6,861) ve Antrasen (4,848) için kirlетici kaynağı dizel motor egzozları olduğu bilinmektedir (Harrison ve diğ., 1996). Ayrıca PHE ve ANT odun ve kömür yanmalarından kaynaklanan PAH bileşikleridir (Khalili ve diğ., 1995). PC1 varyansı %88 oranında açıklamaktadır.

İkinci grup PC2'de Krisen (2,754) ve Benzo(k)floranten (0,773) bileşikleri araç emisyonları ve odun/kömür yanmalarından kaynaklanmaktadır (Agarwal ve diğ., 2009; Gupta ve diğ., 2011).

Bu nedenle sonbahar döneminde kirlетici kaynağına genel katkı olarak PC1 Ve PC2'de trafik ve taşıtlar, kömür yanması ve odun yanmasının etkili olduğunu söylemek mümkündür.

4. SONUÇ

Bu çalışma Bursa ili sınırları içerisinde farklı semtlerde yer alan toplam 12 adet evin iç ortam havasından ve belirlenen evlerin 6 tanesinin de dış ortam havasındaki PAH'ların seviyelerinin belirlenmesi amacıyla yaz ve sonbahar dönemi olmak üzere örnekler toplanmıştır. Yaz mevsiminde PAH konsantrasyonları oturma odası, mutfak ve dış ortamda sırasıyla $20,31\pm 17,92$ ng/m³, $22,96\pm 28,30$ ng/m³ ve $10,19\pm 6,13$ ng/m³ olarak tespit edilmiştir. Dış ortamda ölçülen PAH bileşiklerine ait konsantrasyon değerlerinin, iç ortama göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Genel olarak sonbahar döneminde örneklenen PAH konsantrasyonlarının yaz dönemine göre yükseldiği gözlenmiştir (Oturma odası: $27,29\pm 19,90$ ng/m³, mutfak: $21,64\pm 10,52$ ng/m³ ve dış ortam: $20,39\pm 11,29$ ng/m³). Bu durumun ısınmadan kaynaklı oluşan kirlетicilerin artışının sebep olduğu söylenebilir.

Yaptığımız bu çalışmada insan sağlığına olan etkisinin belirlenebilmesi amacıyla örnekleme noktalarına ait PAH bileşiklerinin BaP ekivalent faktör değerleri (ng/m³) hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler standartların altında (<1 ng/m³) kalmaktadır. Yaz dönemi kanser risk değerlerinin iç (oturma odası, mutfak) ve dış ortam örneklerinde sırasıyla 0,11, 0,11 ve 0,06 ng/m³ arasında değiştiği gözlenmektedir. Sonbahar döneminde hesaplanan iç (oturma odası, mutfak) ve dış ortam kanser risk değerleri sırasıyla 0,11, 0,16 ve 0,13 ng/m³ olarak bulunmuştur. Bu değerler standartların çok altında kalmaktadır. Tanı oranları kullanılarak temel bileşen analizi uygulanmıştır. PCA ve korelasyon hesaplarına göre iç ortam yaz ve sonbahar dönemlerindeki PAH kirlетicileri araç emisyonları, kömür ve odun yanmaları gibi birincil kirlетici kaynaktan oluşmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) (Proje No:113Y580) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

1. Agarwal, T., Khillare, P. S., Shridhar, V., & Ray, S. (2009) Pattern, sources and toxicpotential of pahs in the agricultural soils of Delhi, India, *Journal of Hazardous Materials*, 163(2), 1033–1039. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.058
2. Bozlaker, A., Muezzinoglu, A. and Odabasi, M. (2008) Atmospheric concentrations, dry deposition and air–soil exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) in an

- industrial region in Turkey, *Journal of Hazardous Materials*, 153, 1093-1102. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.064
3. Cheng, H., Deng, Z., Chakraborty, P., Liu, D., Zhang, R., Xu, Y., Luo, C., Zhang, G., Li, J, (2013) A comparison study of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in three Indiana cities using puf disk passive air samplers, *Atmospheric Environment*, 73, 16-21. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.03.001
 4. Cindoruk, S.S., Birgül, A., Taşdemir , Y. (2008) Islak çökeltmenin büyük su kütleleri üzerine olan etkisi ve bir ıslak çökeltme örnekleyicisinin geliştirilmesi, Van Gölü Hidrolojisi ve Kirliliği Konferansı, 21–22 Ağustos 2008, Van, 147-155.
 5. Çetin, B., Odabasi, M. (2008) Atmospheric concentrations and phase partitioning of polybrominated diphenyl ethers (pbdes) in İzmir, Turkey, *Chemosphere*, 71, 1067-1078. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.09.089
 6. Environmental Protection Agency (EPA) (2011) Exposure factors handbook: 2011 Edition (Final).
 7. Esen, F., Cindoruk, S.S., Taşdemir , Y. (2006) Ambient concentrations and gas/particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in an urban site in Turkey, *Environmental Forensics*, 7, 303-312. doi: 10.1080/15275920600996099
 8. Esen, F., Tasdemir, Y., Cindoruk, S.S. (2010) Dry deposition, concentration and gas/particle partitioning of atmospheric carbazole, *Atmospheric Research*, 95, 379-385. doi: 10.1080/15275920600996099
 9. Gaga, E.O., Ari, A., (2011) Gas-Particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an urban traffic site in Eskişehir, Turkey, *Atmospheric Research*, 99, 207- 216. doi:10.1016/j.atmosres.2010.10.013
 10. Gupta, S., Kumar, K., Srivastava, A., Srivastava, A., & Jain, V. K. (2011) Size distribution and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) in aerosol particle samples from the atmospheric environment of delhi, India. *Science of the Total Environment*, 409(22), 4674–4680. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.08.008
 11. Hanedar, A. (2009) İstanbul'da polisiklik aromatik hidrokarbonların atmosferik birikiminin ve konsantrasyon dağılımının belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
 12. Harrison, R.M., Smith, D.J.T., Luhana, L. (1996) Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location In Birmingham, UK., *Environmental Science and Technology*, 30, 825-832. doi: 10.1021/es950252d
 13. Khalili, N.R., Scheff, P.A., Holsen, T.M. (1995) PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and, gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions, *Atmospheric Environment*, 29, 533-542. doi.org/10.1016/1352-2310(94)00275-P
 14. Krugly, E., M. D. (2013) Characterization of particulate and vapor phase polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor and outdoor air of primary schools, *Atmospheric Environment*, 82, 298-306. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.042
 15. Kulkarni, P., Venkataraman, C. (2000) Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Mumbai, India, *Atmospheric Environment*, 34, 2785-2790. doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00312-X
 16. Kurt-Karakus, P.B. (2015) Kişisel iletişim.

17. Lehmann, G.M., Christensen, K., Maddaloni, M., Phillips, L.J. (2015) Evaluating health risks from inhaled polychlorinated biphenyls: Research needs for addressing uncertainty. *Environmental Health Perspectives*, 123, 109-113. doi.org/10.1289/ehp.1408564.
18. Masih, J., Masih, A., Kulshrestha, A., Singhvi, R., Taneja, A. (2010) Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor and outdoor atmosphere in the north central part in India, *Journal of Hazardous Materials*, 177,190-198. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.12.017
19. Nisbet, C. and LaGoy, P. (1992) Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), *Regulatory Toxicology Pharmacology*, 16, 290-300. doi.org/10.1016/0273-2300(92)90009-X
20. Pekey, B., Karakas, D., Ayberk, S. (2007) Atmospheric deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons to İzmit Bay, Turkey, *Chemosphere*, 67(3), 537-547. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.09.054
21. Robinson, J., Nelson, WC. (1995) National human activity pattern survey data base. United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park.
22. Sangün, L. (2007) Temel bileşenler analizi, ayırma analizi, kümeleme analizleri ve ekolojik verilere uygulanması üzerine bir araştırma, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana.
23. Shen, H., Huang, Y., Wang, R., Zhu, D., Li, W., Shen, G., Lu, Y. (2013) Global atmospheric emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons from 1960 to 2008 and future predictions, *Environmental Science and Technology*, 47, 6415-6424. doi: 10.1021/es400857z
24. Taşdemir, Y., Esen, F. (2007) Urban air pahs: concentrations, temporal changes and gas/particle partitioning at a traffic site in Turkey, *Atmospheric Research*, 84, 1-12. doi:10.1016/j.atmosres.2006.04.003
25. Wilford, B.H., Harner, T., Zhu, J., Shoeib, M., Jones, K.C. (2004) Passive sampling survey of polybrominated diphenyl ether flame retardants in indoor and outdoor air in Ottawa, Canada: Implications for sources and exposure. *Environmental Science and Technology*, 38, 5312-5318. doi: 10.1021/es049260x
26. World Health organization (WHO) (1998) Environmental health criteria 202. Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons.
27. Zhang, K., Wang, Y.S., Wen, T.W., Meslmani, Y., Murray, F. (2007) Properties of nitrate, sulfate and ammonium in typical polluted atmospheric aerosols (PM10) in Beijing, *Atmospheric Research*, 84, 67-77. doi.org/10.1016/j.atmosres.2006.05.004