EV TOZLARINDA AĞIR METAL VE ÇOK HALKALI AROMATİK HİDROKARBON (PAH) DERİŞİMLERİ

Parisa BABAEİ(*), Betül KURADA, Gülen GÜLLÜ

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendislik Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara

ÖZET

Halk sağlığının önemli bir göstergesi olan iç ortam hava kalitesi, insan sağlığının yanı sıra yaşam kalitesini de önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, dış ortam hava kalitesinin yanı sıra iç ortam hava kalitesinin izlenmesi ve kontrolü de önem taşımaktadır. Bu çalışmada 2012 yılında Ankara'nın çeşitli noktalarında bulunan evlerden toplanan ev tozlarındaki ağır metal kirliliği hakkındaki çalışma sonuçları ortaya konulmaktadır. Nisan 2012' den Haziran 2012'ye kadar olan sürede önceden belirlenen evlerden araştırmacılar tarafından elektrik süpürgesi ile toplanan toplam 47 toz örneği, çözünürleştirilme işlemlerden sonra eser elementler ve PAH bileşikleri için analiz edilmiştir. Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre cihazı kullanılarak As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn elementleri tayin edilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre en yüksek aritmetik ortalamaya sahip elementler sırasıyla Mg (8900.34 µg g^{-1}), Fe (4408.57 µg g^{-1}), Zn (449.98 µg g^{-1}) ve Cu (104.51 µg g^{-1}) olarak gözlenmiştir. Toz örnekleri ultrasonik ekstrasyon yöntemi ile ekstrakte edildikten sonra, GC-MS cihazında okunarak her bir örnekteki PAH derişimleri belirlenmiştir. En yüksek PAH derişimi Nap(732 ng g^{-1}), en düşük ise DahA(25 ng g^{-1}) bileşiğinde görülmüştür.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Ankara, İç ortam Hava Kalitesi, Ev Tozları, Ağır Metaller, PAH

ABSTRACT

Indoor air quality, an important indicator of public health, affects not only human health but also the quality of life. Therefore, the monitoring and control of outdoor air quality as well as indoor air quality is also important. In this study, results obtained from pollution of heavy metals in household dusts collecting from houses in various points of Ankara were presented by experimental analyses in 2012 year. A total of 47 samples were collected by researchers in predetermined houses throughout Ankara during the period April, 2012 to June, 2012 and analysed for trace elements and PAHs. Trace elements like As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn were determined bu using the atomic absorption spectrophotometric method after wet digestion. According to the statistical analysis the highest arithmetic means were observed for the elements Mg (8900.34 µg g-1), Fe (4408.57 µg g-1), Zn (449,98 µg g-1) and Cu (104,51 µg g-1). PAHs concentration in dust samples have being analyzed by GC-MS after extracted by ultrasonic extraction method. The highest PAH concentration was

* parisababaei@hacettepe.edu.tr

observed for Nap (732 ng g^{-1}) compound and the lowest was observed for DahA (25 ng g^{-1}) compound.

KEYWORDS

Ankara, Indoor Air Quality, Household Dust, Heavy Metals, PAH

1. GİRİŞ

Son yıllarda hızla artış gösteren çevre kirliliğinin temelinde insanoğlunun sanayileşmeye verdiği önem yatmaktadır. Hızlı sanayileşme çok hızlı bir şekilde çevre kirliliğini de beraberinde getirmiştir. Bu kirlilik doğal çevreye ve insan sağlığına dolaylı ya da doğrudan zarar vermektedir.

Sanayi devriminden sonra, özellikle son yıllarda, toksik metallerden kaynaklanan çevre kirliliği çok artmış ve ciddi ekolojik problemlere neden olmuştur (Akgüç, 2008).

Gerek doğal, gerekse endüstriyel kullanımlarına bağlı olsun kayaçlarda, yeraltı sularında ve toprakta bulunan bazı elementlerin (alüminyum, arsenik, kurşun ve cıva gibi) belirli sınır değerler üzerinde bulunması, canlıların sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Karpuzcu, 1999).

Çevresel çalışmalar özellikle 1960"lı yıllarda iç ortam hava kalitesine odaklanmaya başlamıştır. Günümüzde iç ortam hava kalitesinin insan sağlığı açısından çok önemli olduğuna dair pek çok kanıt vardır. İç ortamda yapılan çalışmalarda, iç ortamların dış ortamlardan daha yüksek seviyelerde kirletici içerdiği belirlenmiştir. Amerikan Çevre Koruma Örgütü'nün (EPA) çalışmaları, iç ortamdaki kirleticilerin seviyesinin dış ortamdan yaklaşık 5-100 kat daha fazla olabileceğini göstermiştir. İnsanların, zamanlarının %80'ini iç ortamlarda geçirdiği düşünüldüğünde, iç ortam kirleticilerinin ne kadar önemli olduğu daha iyi anlaşılmaktadır (US EPA, 1991). Türkiye'de iç ortamda ağır metaller ve PAH kirliliğinin tespitine yönelik oldukça sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (Menteşe vd, 2006); (Cetinkaya, 2005).

Her evde hava kirliliğine sebep olan birçok kaynak vardır. EPA'nın iç ortam hava kalitesi raporunda, iç ortam hava kirliliğine sebep olan çeşitli kaynaklar belirlenmiştir. Bu kaynaklara; petrol, gaz, gazyağı, kömür, odun ve tütün ürünleri gibi yanma kaynakları olanlar, yapı malzemeleri ve mobilya, asbest içeren yalıtım, dolap veya bazı preslenmiş ahşap ürünleri, ev temizliği ve bakımı, kişisel bakım, ya da hobi için kullanılan ürünler, ısıtma ve soğutma sistemleri, nemlendirme cihazları ve dış ortamdan kaynaklanan kirlilikler (karbon dioksit, su buharı, ozon, formaldehit, uçucu organik bileşikler, metaller vb.) örnek verilebilir.

İç ortam hava kirleticileri arasında, özellikle polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) ve ağır metaller toksik ve kanserojenik etkileri nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir.

Metallerin atmosferde bulunuşunda etkili kaynaklar birçok çalışma tarafından tanımlanmıştır. Fe, Mn ve V yerkabuğu kaynaklı elementler olarak tanımlanmışken, deniz kenarındaki bölgelerde Fe bulunduğu da belirtilmiştir (Yatkin vd, 2007). Ayrıca trafiğin yoğun olduğu bölgelerdeki kaba partikül madde değerlendirilirken yol tozu ve yerkabuğu kaynaklı

olabileceği dikkate alınmalıdır (Canepari vd, 2009). Trafik kaynaklı yol tozunun bileşimi yakıtın yanması, taşıt bileşiminde bulunan materyaller, yol materyali ve yol bakımı gibi faktörlere göre değişkenlik gösterebilmektedir (Slazekova vd, 2007). Genel olarak yol tozunun bileşiminde bulunan metaller V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Mn ve Pb'dir. Fuel oil yanmasından kaynaklanan V ve Ni, ve fuel oil ve kömürün yanması sonucu kömürün içindeki zenginliğine göre miktarı değişen Cd ve Cr, atmosfere verilen tipik elementlerdir. Endüstriyel kaynaklı elementler ise proses kaynaklı emisyonların tipine göre çeşitlilik göstermektedir (Yatki vd, 2007).

Çok halkalı aromatik hidrokarbonlar pirolitik prosesler sonucunda oluşurlar. Özellikle karbonizasyon gibi doğal proseslerin yanı sıra, organik maddelerin yanması ile de meydana gelir. Yüzlerce çeşit PAH bileşiği vardır. En iyi bilineni benzo(a)piren (BaP) dir. BaP, kok üretiminden, motorlu taşıt araçlarından, kok ve petrol ürünü ile çalışan elektrik santrallerinin faaliyetleri sonucunda atmosfere yayılır. PAH'lar temelde kömür ve ham yağ oluşumu, doğalgaz yakılması, atık yakılması, araç trafiği, yemek pişirme ve tütün kullanımı gibi endüstriyel ve diğer insan aktiviteleri sonucu, özellikle tam yanmamış organik maddelerin piroliz prosesi sonucu oluşur (WHO, 2003). Ev içinde PAH'lar genellikle sigara dumanından, odun ya da kömür kullanımı ile özellikle ızgara gibi yüksek ısıda yemek pişirme sırasında açığa çıkar (Raiyani, 1993).

Danimarka'da yapılan çalışmada 500 yatak odası ve 151 kreşten alınan örneklerde 3 çeşit PAH (piren, BaA ve BaP) derişimleri belirlenmiştir. Yatak odaları ve kreşlerden alınan örneklerdeki PAH derişimleri benzer miktarlarda bulunmuştur. Aradaki küçük farkların sebebinin ise evlerin ve kreşlerin bulunduğu yerdeki trafik olabileceği düşünülmüştür. Yemek pişirme aktivitesi her iki ortamda da benzer özelliktedir. Her iki örnek grubunda da Piren konsantrasyonu, BaP ya da BaA konsantrasyonlarından 5 ila 10 kat daha fazla bulunmuştur (Langer, 2011). Berlin'de yapılan bir çalışmada iç ortam (ev tozu) ve dış ortam PAH derişimleri 123 evde belirlenmiştir. İç ortam hava örnekleri iki farklı periyotta (yaz ve kış) ve sigara içilen ve içilmeyen evlerden alınmıştır. PAH'ların ortalama derişimleri sigara içilen evlerde daha yüksek tespit edilmiştir. Sonuçlara göre sigara içilmeyen evlerde PAH kaynağının çoğunlukla trafik olduğu sonucuna varılmıştır (Fromme, 2004).

Bu çalışmada, evlerin iç ortamlarında kirlilik kaynaklarının belirlenmesinde ev tozlarının kullanılabilirliği incelenmiştir. Ev tozlarının ağır metal ve PAH içeriklerinden iç ortam hava kalitesine olumsuz katkısı bulunan kaynaklar tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Nisan 2012' den Haziran 2012 'e kadar olan sürede ev tozu örnekleri Ankara İl'inde ikamet eden seçilmiş gebelerin evlerinden alınmıştır. Örnekleme yapılan evler Ankara'nın merkez ilçeleri olarak adlandırılan Akyurt, Altındağ, Çankaya, Etimesgut, Gölbaşı, Kazan, Keçiören, Mamak, Sincan ve Yenimahalle semtlerinde yer almaktadır. Örneklerin alındığı evlerin fiziksel özellikleri (yola yakınlık, ısıtma türü, yaşayan birey sayısı, halı, boya türü vb.) ile evlerdeki kişilerin yaşam özellikleri (sigara kullanımı, temizlik sıklığı, yemek pişirme sıklığı vb.) anket yolu ile kayıt altına alınmıştır.

2.1. Ağır metallerin analiz yöntemi

Toz örnekleri araştırmacılar tarafından belirlenmiş evlerden elektrik süpürgesi ile alındıktan sonra ağzı kapalı olacak şekilde plastik torbalara konularak laboratuvara getirilmiştir ve analiz edilinceye kadar derin dondurucuda saklanmıştır. Numuneler analiz öncesi içindeki büyük çöp, saç v.s. parçalarından temizlenmiş, 24 saat süreyle 120°C de fırında kurutulmuştur. Toz örneklerinde ağır metallerin analizini yapabilmek için gerekli bileşenlerin sulu faza geçirilmesi için mikrodalga ile çözünürleştirme işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmada çözünürleştirme işlemi CEM Marka Mars 6 Model Mikrodalga Numune Yakma/Çözündürme sistemi ile yapılmıştır. Toz örneğinden 0,5 g'lık bir kısım alınarak mikrodalga cihazına özel olan teflon kaplara konulmuş ve üzerine 10 ml, HNO3 (Merck, %64) eklenmiştir (EPA-SW-846 3051).

Çözünürleştirme işlemi bütün toz örneklerine uygulanarak ağır metal içerikleri çözelti fazına çekilerek AAS ´de okunabilecek hale getirilmiştir. Hazırlanan çözeltilerdeki metallerin tayininde B3 000641 AA-Perkin Elmer marka atomik absopsiyon spektrofotometresi kullanılmıştır. Fe, Ca, Mg, Ni, Zn, Mn, Pb ve Cu elementlerinin analizi Alevli Atomlaştırıcı AAS' de, Cr, V, Cd elementleri Grafit Fırın AAS' de ve Sb, Sn ve As elementleri de AAS' de yerleştirilen hidrür sistemi ile analiz edilmiştir. Civa ise oda sıcaklığında buharlaşan bir element olduğu için civa analizinde soğuk buhar yöntemi adi verilen bir sistemde atomlaştırılarak ölçüm yapılmıştır.

2.2. PAH derişimlerinin belirlenmesi için kullanılan analiz yöntemi

Numuneler analiz öncesi temizlenmiş ve her numuneden 1'er gram tartılarak şişelere konmuştur. Her numuneye ekstraksiyon ve temizleme (clean-up) işlemleri sırasındaki kayıpları belirlemek için belirlenen miktarda (20 µl) 50 ppm'lik vekil standartlar (surragate) enjekte edilmiştir. Bu örnekler 40 ml diklorometan (DCM) ve petrol eteri (PE) (¼) karışımı içinde 24 saat bekletilmiştir. 24 saat solüsyonda bekletilen örnekler 1 saat ultrasonik olarak ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon işleminden sonra örnekler cam yününden süzülerek tortulardan arındırılmış ve ön zenginleştirme ve clean-up işlemi için hazırlanmıştır.

Clean-up kolonunun hazırlanması için 15 cm boyunda ve 0,5 cm çapında cam malzeme kullanılmıştır. Kolon sırasıyla cam yünü, bir gram alüminyum oksit, bir gram florisil ve bir gram sodyum sülfat ile hazırlanır. Kullanımdan hemen önce 10 ml hekzan ile yıkanarak kolon temizlenir.

Ön-zenginleştirilme yapılarak miktarları 1-2 ml'ye düşürülen örnekler gas-tight şırınga ile kolona verilir. Örneklerde PCB ve PAH analizi yapılacağından iki aşamalı bir işlem gerçekleştirilir. Örnek kolona verildikten sonra kolondan 40 ml hekzan geçirilerek PCB örneklerinin ayrılması sağlanır. Bunun ardından kolondan 60 ml (1:1) hekzan-etil asetat karışımı geçirilerek PAH örnekleri ayrılır. Kolondan geçirilmiş olan PAH örnekleri azot gazı altında miktarları 3-4 ml'ye düşünceye kadar solvent uçurma işlemi gerçekleştirilir. Ardından bu örneklere 4-5 ml hekzan eklenerek miktarları 1 ml'ye düşürülünceye kadar azot gazı altında uçurulmaya devam edilerek son zenginleştirmesi yapılır. Bu şekilde çözücü değişimi yapılan örnekler viallere alınarak GC-MS'de okunmaya hazır hale getirilir.

3. SONUÇLAR

Toplam 47 evin elektrikli süpürgesinin torbasından alınan ev içi toz örneklerinde ölçülen Ni, Pb, Fe, Zn, Cd, V, As, Cr, Cu, Hg, Mg, Mn, Sb ve Sn ağır metal sonuçları ve EPA'nın öncelikli listesinde yer alan ve bu çalışma kapsamında ölçülen 16 PAH bileşiğinin istatistiksel sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. İstatiksel incelemelerde Statgraphics Centurion V.16.1 programı kullanılmıştır. Tabloda görünen yüksek standart sapmalar çevre analizlerinde sıkça karşılaşan bir durumdur.

Tablo 1. Ev tozlarında ölçülmüş ağır metallerin (µg g^{-1})ve PAH ların (ng $g^{-}1$) ortalama konsantrasyonları

	Aritmetik ortalama	Ortanca	Standart sapma	Min	Max	Aralık
Ca	16710.70	11494.70	13148.80	3318.00	52976.00	49658.00
Mg	8840.45	8566.35	4563.03	306.65	20145.40	19838.70
Fe	4311.17	3608.17	4900.52	436.98	31718.80	31281.90
zn	448.52	433.09	146.63	127.98	745.72	617.74
Cu	107.39	72.46	151.71	28.49	1032.86	1004.36
Pb	81.90	67.62	62.26	16.83	378.23	361.40
Ni	79.68	31.79	284.82	6.30	1874.75	1868.45
Mn	79.22	62.94	100.76	1.05	625.29	624.24
V	41.78	37.08	28.79	0.18	115.70	115.53
Cr	24.91	28.99	13.22	0.04	50.38	50.34
Sn	4.96	5.29	3.86	0.10	13.66	13.56
As	2.51	1.67	2.44	0.08	12.01	11.94
Cd	2.35	0.64	3.35	0.01	12.61	12.60
Hg	0.51	0.15	1.28	0.01	8.04	8.04
Sb	0.27	0.18	0.20	0.00	0.53	0.52
Naphthalene(Nap)	589.99	226.49	809.09	12.01	3836.90	3824.89
Phenanthrene (Phe)	477.98	331.43	645.15	13.70	3576.66	3562.96
Anthracene (Ant)	356.85	82.01	649.85	7.38	3443.79	3436.40
Fluoranthene (Flt)	354.44	83.64	882.01	6.53	4505.57	4499.04
Pyrene (Pyr)	270.69	75.27	667.49	3.86	3340.19	3336.33
Chrysene (Chr)	255.34	73.94	521.34	9.88	2551.27	2541.39
Benzo(a)anthracene (BaA)	199.53	47.69	432.24	11.47	2130.85	2119.38
Acenaphthylene (Acy)	193.22	142.14	172.80	13.41	1022.38	1008.98
Benzo(k)fluoranthene (BkF)	188.27	58.21	388.65	18.06	1900.30	1882.24
Flourene (Flu)	146.43	147.04	98.06	6.78	402.18	395.40
Benzo(b)fluoranthene (BbF)	125.53	32.92	331.82	13.19	1613.98	1600.79

Tablo 1. Devamı…

	Aritmetik ortalama	Ortanca	Standart sapma	Min	Max	Aralık
Benzo(a)pyrene (BaP)	123.87	25.04	303.52	5.08	1426.17	1421.09
Benzo(g,h,i)perylene (BgP)	69.40	19.33	144.02	0.34	665.12	664.77
Acenapthene (Ace)	56.00	46.89	47.10	1.44	200.32	198.88
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene (Ind)	44.76	32.47	36.30	2.10	189.07	186.97
Dibenzo(a,h)anthracene(Dah A)	25.17	17.96	31.34	0.58	197.16	196.58

Bu çalışmada yapılan istatistiksel analize göre en yüksek aritmetik ortalamaya sahip elementler sırasıyla Ca (17928.6 µg g-1), Mg (8900.34 µg g-1), Fe(4408.57 µg g-1), Zn (449.98 µgg-1) ve Cu(104.51 µg g-1) olarak gözlenmiştir. Bu elementlerden Ca, Mg ve Fe, dünya ana kayaç elementleridir [60]. En düşük konsantrasyona sahip olan elementler Sb (0.15 µg g-1), Hg (0.62 µg g-1), As (2.38 µg g-1), Cd (3.52 µg g-1) ve Sn (6.03 µg g-1) olarak gözlenmiştir. PAH bileşenlerinde ise Nap (589.99 ng g^{-1}) ve Phe (477.98 ng g^{-1}) en küksek derişimlere sahip ve Ace (56.00 ng g^{-1}) ve Flu (146.43 ng g^{-1}) en düşük konsantrasyonlara sahipler.

3.1. Ev içi ortamındaki faktörlerin ağır metal ve PAH lar üzerinde etkileri

Örnekleme için gidilen evlerde yapılan anketlerde evle ilgili çeşitli sorular sorulmuştur. Bunlardan ev içinde sigara içilme durumu, evin yakınından ana cadde geçip geçmediği, konut ısıtma türü ve evin bulunduğu kat ile evlerde bulunan toplam PAH ve ağır metallerin derişimleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için verilere ANOVA testi uygulanmıştır. ANOVA testi sonuçlarından ortaya çıkan farklılıklar Tablo 2 ‘de verilmektedir.

Her gün değişik şekilde yararlandığımız motorlu karayolu taşıtları havaya verdikleri kirletici gaz ve taneciklerle çevremizi ve soluduğumuz havayı kirletmektedir. Araç egzozlarından çıkan partiküller, havada bulunan maddelerin çökmesi, çıplak toprak yüzeylerden kaynaklanan tozlar, inşaat ve hafriyat çalışmaları sonucu oluşan tozlar ve yağmur suları ile taşınan toprak cadde tozlarının kaynağını oluşturmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda cadde tozlarında metal derişimlerinin tayini önemli bir yer almaktadır (Kara, 2011). Cadde tozlarındaki ağır metallerin kaynaklarından biride araç emisyonlarıdır. Ağır metaller, atmosferik çökelme ile toprak üzerinde birikirler ve toprakta bozulmadan uzun süre kalabilirler. Cadde tozlarında biriken ağır metaller atmosferik çökelti sonucu oluşan ağır metal kirliliğinin önemli bir göstergesidir. Trafik emisyonlarından kaynaklanan ve cadde tozlarında biriken ağır metaller Pb, Zn, Cd, Cr, Cu ve Ni olarak belirtilmiştir (Al-Rajhi, 1996).

Kirletici kaynaklarının her birinden atmosfere verilen PAH bileşiklerinin türleri ve miktarları birbirinden farklıdır (Esen, 2006). Atmosferik çökelmeden meydana gelen taşınım topraktaki PAH’ların önemli bir kaynağını oluşturmaktadır (Esen, 2006). PAH derişimleri ile ilgili yapılan birçok çalışmada yerleşim bölgeleri için en önemli kaynağın trafik, özellikle de dizel motorlu araçlar olduğu görülmüştür. Örnekleme yapılan bölgelerdeki PAH bileşiklerinin kaynaklarını belirlemek amacıyla ise diagnostik PAH oranları kullanılmaktadır (Ravindra vd, 2007).

Tablo 2 . Anket çalışmasına ilişkin ANOVA testi sonuçları

	Ana cadde	Evin katı	Konut ısıtma türü	Ev içinde sigara içilme
zn				**
Ni	*			
Pb	***	**		
Cu				**
Mn			*	***
Hg	**		**	
Cd	***	**	***	*
As		*	**	
Sb	**	*		
Sn				
Acy				*
Ace				**
Flu	**		*	
Phe	*			
Ant	**			
Flt			*	
Pyr	*		**	
BaA	***		*	
Chr			*	
BbF	*			
BkF	**			
Ind	*		**	
Bap			*	
BgP	***		*	
∑ PAH				***
∑ HMW/∑ LMW			***	
Flt/Flt+Pyr			*	
BaP/BgP	***		**	
BaA/BaA+Chr			**	
Ind/Ind+BgP	*		*	
BbF/BkF	**			
Ind/BgP	*			
Pyr/BaP	*			
Flu/Pyr	**			
Flu/Flu+Pyr	**			

*P< 0.05, **P< 0.01, ***P< 0.005

Yapılan tek yönlü ANOVA testleri ’ne göre, ana caddeye yakın olan evlerde ölçülen Ni, Pb, Hg, Cd ve Sb ortalama konsantrasyon değerleri, ana caddeye yakın olmayan evlere göre daha yüksek gözlemlenmiştir. PAH sonuçlarına bakıldığında trafiğin yoğun olduğu bölgelerde ve ana caddeye yakın olan evlerde PAH bileşikleri ana caddeye yakın olmayan evlere göre daha yüksek ortalamaya sahipler.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlarla uygulanan ANOVA testine göre Konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda, ev tozlarında ağır metal konsantrasyonlarına etki eden faktörlerden biri de evin bulunduğu kat olarak belirlenmiştir. Zemin, birinci ve ikinci katta yer alan evlerde trafik emisyonlarından kaynaklanan metallerin derişimlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Rashed, 2008).

Bu çalışmada farklı katlarda bulunan evler arasında ANOVA testi yapılmıştır. ANOVA testlerinin sonuçları zemin kat ve birinci katta olan evlerin tozlarında trafik kaynaklı olan ağır metallerin (Cd, Sb, Pb) derişimlerinin daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. İkinci kat ve daha yukarıda olan evlerde ise As miktarının daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Yapılan bu teste göre evin bulunduğu katın PAH derişimlerini etkilememektedir.

Evsel ısınmadan kaynaklanan kirliliğin ana kaynağı sobalarda kullanılan kömürdür. Bu konuda yapılan çalışmalarda kömürün yanma sırasında ortaya çıkan ağır metaller As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn olarak belirlenmiştir (T.K.R, 2013). Yanma prosesleri sonucu ortaya çıkan PAH ların en önemli kaynaklarından biri evlerde kömür kullanımıdır. 4 ve 5 halkalı PAH bilesiklerinden olan Flu, Pyr, BaA, Chr, BbF, BkF ve BaP için en önemli kaynağın kömür yakılması olduğu görülmüstür. Ayrıca diagnostik PAH oranları kullanılarak yapılan bir baska hesaplamada yine bu bilesikler için birincil kaynağın kömür olduğu doğrulanmıstır. (Zuo ve diğerleri, 2007).

Yapılan ANOVA testi sonucu yakıt olarak kömür kullanılan evlerde Mn, Hg, Cd ve As miktarının daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Sobalarda kullanılan kömür, evlerde Flt, Pyr, BaA, Chr, Ind, Bap ve BgP bileşenlerinin daha yüksek gözlemlenmesine sebep olmuştur. Bu bileşenlerden oluşan diagnostik oranlarda buna işaret etmektedir.

Sigara dumanı çeşitli kirleticiler içermektedir. İç ortamda PAH'ların ve metallerin ana kaynaklarından birinin de sigara olduğu bilinmektedir (Lara vd, 1995; Dingenen, 2004). Sigara dumanında bulunan ağır metaller ve PAH lar iç ortamda sağlık açısından ciddi sorunlara yol açabilmektedir (Chen ve diğerleri, 2006; Galazyn, 2008).

Bu çalışmanın sonuçlarına uygulanan ANOVA testi ev içinde sigara içilen evlerde Cu, Cd, Mn, Mg, Zn ve toplam PAH derişimleri ev içinde sigara içilmeyen evlerden daha yüksek olduğunu göstermektedir.

3.2. İç ortam tozlarında gözlenen ağır metal ve PAH seviyelerinin literatür ile kıyaslanması

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için benzer örnekleme noktalarında yapılan araştırmaların incelenmesi önem arz etmektedir. Bu bakımdan kapalı ortam toz örneklerinde ağır metal ve PAH analizleri için literatür de yer alan çalışmalar incelenmiş ve karşılaştırma için seçilen çalışmalar Tablo 3 ve Tablo 4' te özetlenmektedir.
Tablo 3 ve 4 ' te görülebileceği gibi, bu çalışmada elde edilen sonuçlar, literatür ' de yer alan çalışmalara benzer olduğu ve Kanada gibi bazı ülkelerde ağır metallerin derişimi bu çalışmanın sonuçlarına karşın daha yüksek gözlenirken Bahreyn gibi ülkelerde daha düşük gözlenmektedir.

Yapılan literatür karşılaştırılmasına göre bu çalışmada bulunan PAH derişimleri Avustralya'da yapılmış olan çalışmadan oldukça düşük seviyede, İtalya'da yapılmış olan çalışmadan da yüksek miktarlarda bulunmuştur.

4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, evde bulunan kirleticilerin ev tozlarında çökelip birikmesi, ortam hava kalitesinin uzun süreli durumunu göstermesi, örneklemenin pratik ve kolay bir şekilde yapılabilmesi gibi nedenlerle ev tozu örneklerinin kullanımının uygunluğu, bu çalışmada ağır metal ve PAH kirleticileri için ortaya konmaya çalışılmıştır.

Bu amaçla ev süpürgelerinden toplanan ev tozlarının ağır metal ve PAH derişimlerinin analizileri ardından kayıt edilen ev içi koşulları istatistik yöntemlerle analiz edilerek kirlilik kaynakları belirlenmiştir. Ağır metallerden kurşun, civa, kadmiyum, nikel vb. antropojenik elementlerve PAH bileşenlerinden Flu, Phe, Ant vb, dış ortamda bulunan taşıt emisyonlarından kaynaklanmakta ve dışarıdan iç ortama taşınarak iç ortamı kontamine etmektedir. Sobalı evlerde kömür kullanımı ve ev içinde içilen sigara dumanı ise en önemli iç ortam ağır metal ve PAH kaynakları olarak tespit edilmiştir.

Analiz sonuçları iç ortam hava kirliliğine neden olan etmenlerin tesbitinde ev tozlarının kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Kapalı ortam toz örneklerinde gözlenen ortalama ağır metal sonuçları (µg gr^{-1})

Ölçüm yeri	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	As	Kaynak
Ankara, Türkiye	3.5	29.6	104.5	0.6	91.8	79.3	80.7	6.03	449.9	2.3	Bu Çalışma
Asvan, Mısır	3.72	--	--	--	188	--	102	--	--	--	Rashed (2008)
Bahreyn	1.9	11	--	--	--	10	517	--	202	--	Akhtar vd. (1993)
Amman, Ürdün	2.9	66	133	--	284	31	169	--	1985	--	AlMomani (2007)
Gize, Mısır	2.7	83.1	122	--	--	46.6	254.4	--	152.3	--	Salwa (2012)
Ottava, Kanada	6.4	86.7	206	3.6	269.3	62.9	405.5	22	716.9	7.3	Rasmussen vd. (2001)
Istanbul, Türkiye	0.8	55	156	--	136	52	28	--	832	--	karakus (2012)
Kwung Tong, Hong Kong	4.3	--	310.8	--	216.2	--	157.4	--	1408.8	--	Tong ve Lam (2000)
UK	1.3	--	339		578	56.5	181	28.4	666	--	Turner vd.2006)

Tablo 4. Kapalı ortam toz örneklerinde gözlenen ortalama PAH sonuçları (ng gr^{-1})

	Hong Kong	Ottawa, Kanada	Avustralya	Palermo, İtalya	Shangai, Çin	Ankara, Türkiye
Nap	120		124210	2.2	208	1932
Acy	10	39	6920	1.4	51	287
Ace	20		201690	1.8	6	146
Flu	30	170	12630	1.2	86	320
Phe	770	2780	8770	3.2	809	800
Ant	30	485	3610	1.4	311	455
Flt	860		53640	0.38	1131	451
Pyr	690	4360	77250	0.38	657	361
BaA	220	2380	6390	0.25	381	218
Chr	540	3260	5420	0.44	1005	260
BbF		4870	11300	0.62	1995	180
BkF		1600	3480	0.59	520	244
BaP	380	2910	2970	0.26	740	111
Ind	60	3070	3340	0.097	888	80
DahA	580	549	20080	0.066	870	43
BgP	900	2790	6080	0.039	1778	58
Kaynaklar	Y.Kang vd, 2010	Maertens vd, 2008	Ayoko vd, 2007	Orrechio, 2011	Y.Ren vd, 2006	Bu çalışma

KAYNAKLAR

Akgüç, N., Özyiğit, İ.İ., Yarcı, C., 2008. Pyracantha coccinea Roem. (Rosaceae) as a Biomonitor for Cd, Pb and Zn in Muğla Province ,Turkey, Pakistan Journal of Botany, 40 (4), 1767-1776.

Al-Momani, 2007. Trace elements in street and household dusts in Amman, Jordan, Soil & Sediment Contamination, 16, 5, 485-496.

Al-Rajhi, M.A., Seaward, M.R.D., Al-Aamer, A.S, 1996. Metal levels in indoor and outdoor dust in Riyadh, Saudi Arabia, Environment International, cilt 22, no. 3, p. 315–324.

Andrew, T., Lindsey, S, 2006. Elemental concentrations and metal bioaccessibility in UK household dust", Science of The Total Environment, 371, 1–3, 74–81.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2003. Toxicological rofile information sheet, http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles.

Canepari, S., Pietrodangelo, A., Perrino, C., Astolfi, M., Marzo, M. 2009. Enhancement of source traceability of atmospheric PM by elemental chemical fractionation. Atmospheric Environment, 43, 4754-4765.

Cetinkaya, Z., Fidan, F., Unlu, M., Hasenekoglu, I., Tetik, L., Demirel, R.. 2005. Assessment of Indoor Air Fungi in Western-Anatolia, Turkey, Asian Pac J Allergy Immunol, 23(2-3): 87-92.

Chen, S., C., Liao, C., M., 2006. Health risk assesment on human exposed to environmental polycyclic aromatic hydrocarbons pollution sources, Science of the Total Environment, 366, 112-123.

Dıngenen, R.V., Raes, F., Putaud, J.P., 2004. A European aerosol phenomenology-1: physical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe, Atmospheric Environment, 38, 2561-2577.

Esen, F., 2006. Bursa Atmosferi'ndeki Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH'ların) Gaz/Partikül Konsantrasyon Dağılımları ve Kuru Çökelme Miktarları, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

H. Fromme, T. Lahrz, M. Piloty, H. Gebhardt, a Oddoy, and H. Rüden, 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons inside and outside of apartments in an urban area.," Sci. Total Environ., vol. 326, no. 1–3, pp. 143–149.

J. M. D. Lara A. Gundel, Victor C. Lee, , Kariyawasam R.R. Mahanama, Robert K. Stevens, 1995. Direct determination of the phase distributions of semi-volatile polycyclic aromatic hydrocarbons using annular denuders, Atmos. Environ., vol. 29, no. 14, pp. 1719–1733.

Karpuzcu, M. 1999. Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 143-152.

Kurt-Karakus, PB, 2012. Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: estimation of the health risk, Environment International, 50, 47–55.

Masih, A., Taneja, A., 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) concentrations and related carcinogenic potencies in soil at a semi-arid region of India, Chemosphere, 65, 449-456.

M. E. A. Gülnihal Kara, 2011. Indoor Air Pollutants and Methods of Detection, Eur J Basic Med Sci, pp. 39-49.

M. Galazyn-Sidorczuk, M. M. Brzoska, and J. Moniuszko- ´ Jakoniuk, 2008. Estimation of Polish cigarettes contamination with cadmium and lead, and exposure to these metals via smoking, Environmental Monitoring and Assessment, vol. 137, no. 1–3, pp. 481–493.

Mentese, S., Gullu, G., 2006. Variations and Sources of Formaldehyde Levels in Residential Indoor Air in Ankara, Turkey, Indoor and Built Environment, 15(3): 273-281.

R. M. Maertens, X. Yang, J. Zhu, R. W. Gagne, G. R. Douglas, and P. a White, 2008. Mutagenic and carcinogenic hazards of settled house dust. I: Polycyclic aromatic hydrocarbon content and excess lifetime cancer risk from preschool exposure. Environ. Sci. Technol., vol. 42, no. 5, pp. 1747–53.

Rashed ,M., 2008. Total and Extractable Heavy Metals in Indoor,Outdoor and Street Dust from Aswan City, Egypt,Aswan, Egypt. Clean , 36 (10 – 11), 850 – 857.

Rasmussen, P.E., Subramanian, K.S., Jessiman, B.J, 2001. A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada, The Science of the Total Environment 267.

Ravindra, K., Bencs, L., Wauters, E., Hoog, J., Felix, D., Roekens, E., Bleux, N., Berghmans, P., Van Grieken, R., 2006. Seasonal and site-specific variation in vapour and aerosol phase PAHs over Flanders (Belgium) and their relation with anthropogenic activities, Atmospheric Environment, 40, 771-785.

Salim Akhter, M., Madany, I.M, 1993. Heavy metals in street and house dust in Bahrain, Water, Air, and Soil Pollution, 66, 1-2, pp 111-119.

Salwa Kamal, M. H, 2012. Metal concentrations and distribution in the household, stairs and entryway dust of some Egyptian homes, Air Pollution Research Department, National Research Centre, Dokki, Giza, Egypt, Atmospheric Environment 54, 207-215.

S. K. and L. M. S. T. Ong a, G. A. Ayoko , 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons in house dust samples: Source identification and apportionment, 14th Int. IUAPPA World Congr.

S. Langer, C. J. Weschler, A. Fischer, G. Bek. J. Toftum, and G. Clausen, 2011. Phthalate and PAH concentrations in dust collected from Danish homes and daycare centers, Energy Convers. Manag., vol. 52, no. 1, pp. 108–116.

Slazekova, K., Pereira, M., Reis, M., Alvim-Ferraz, M.C. 2007. Influence of traffic emissions on the composition of atmospheric particles of different sizes-Part 1: concentrations and elemental concentrations. J.Atmos Chem 58, 55-68.

S. Orrechio, 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor from decorative candles, Atmos. Environ.

S. Raiyani, C.V., Shah, S.H., Desai, N.M., Venkaiah, K., Patel, J.S., Parikh, D.J., Kashyap, 1993. Characterization and problems of indoor pollution due to cooking stove smoke, Atmos. Environ., vol. 27A (11), pp. 1643–1655.

T. K. R. •. R. E. M. •. L. C. R. •, 2013. Assessment of human health risks from heavy metals, Environ Geochem Health, 35:347–356.

T. L. Thatcher, D. W. 1995. Layton, Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence, Atmos. Environ. 29, 1487 – 1497.

Tong Susanna T.Y., Lam, Kin Che, 2000. Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong, The Science of the Total Environment 256, 115-123.

US EPA. 1991. Indoor air quality: sick building syndrome (EPA/402-F-94-004), Indoor Air Group, Research Triangle Park, North Carolina,228.

World Health Organization, 2003. Health Risks of Persistent Organic Pollutants from Long-Range Transboundary Air Pollution.

Yatkin, S., Bayram, A. 2007. Elemental composition and sources of particulate matter in the ambient air of a Metropolitan City, Atmosp. Res. 126-139.

Y. Kang, K. C. Cheung, and M. H. Wong, 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in different indoor dusts and their potential cytotoxicity based on two human cell lines. Environ. Int., vol. 36, no. 6, pp. 542–7.

Y. Ren, T. Cheng, and J. Chen, 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons in dust from computers: one possible indoor source of human exposure, Atmos. Environ., vol. 40, no. 36, pp. 6956–6965.

Zuo, Q., Duan, Y., H., Yang, Y., Wang, X., J., Tao, S., 2007. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface soil in Tianjin, China, Environmental Pollution, 147, 303-310.