



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

EV TOZLARININ AĞIR METAL DERİŞİMLERİNİN BELİRLENMESİ

**PARİSA BABAEİ
İLKNUR DURUKAN
GÜLEN GÜLLÜ
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ**

EV TOZLARININ AĞIR METAL DERİŞİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Parisa BABAEİ
İlknur DURUKAN
Gülen GÜLLÜ

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 kontrollüde 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 'e kadar olan sürede önceden belirlenen evlerden araştırmacılar tarafından elektrik süpürgesi ile toplanan toplam 47 toz örneği alınmış ve çözünürleştirilme işlemlerden sonra Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre cihazı kullanılarak As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn tayin edilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre en yüksek aritmetik ortalamaya sahip elementler sırasıyla Mg($8900.34 \mu\text{g g}^{-1}$), Fe($4408.57 \mu\text{g g}^{-1}$), Zn($449.98 \mu\text{g g}^{-1}$) ve Cu($104.51 \mu\text{g g}^{-1}$) olarak gözlenmiştir. Sonuçlar toplanan ev tozlarındaki ağır metal miktarının evlerin ana caddeye yakınlığı, evin bulunduğu kata, binanın duvar boyası türüne, evdeki ısıtma kaynağı türüne, dezenfektan kullanım sıklığına ve ev içinde sigara içilip içilmemesine göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Ankara, İç ortam hava kalitesi, Ağır metaller, Ev tozları, Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre

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 As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn using the atomic absorption spectrophotometric method after wet digestion. According to the statistical analysis the highest arithmetic means were observed for the elements Mg ($8900.34 \mu\text{g g}^{-1}$), Fe ($4408.57 \mu\text{g g}^{-1}$), Zn ($449.98 \mu\text{g g}^{-1}$) and Cu ($104.51 \mu\text{g g}^{-1}$). Results of heavy metal analysis revealed that the concentrations change with the proximity to the main street of houses, to the floor type of the houses, wall paint type, home heating source type, frequency of disinfectant use and smoking in the house.

Keywords: Ankara, indoor air quality, heavy metals, household dust, Atomic Absorption Spectrophotometer

1. GİRİŞ

Kapalı ortamlar insanların zamanlarının yaklaşık %80-90'ını geçirdiği konutlar, okullar, resmi binalar, kapalı spor salonları, eğlence yerleri ve taşıtlar gibi mekânlardır. Kapalı ortamlarda ısı, ışık, gürültü gibi faktörlerin yanı sıra ortam havasının da burada yaşayan kişilerin sağlıkları, rahatları, verimlilikleri üzerine etkileri vardır. Ancak bu etkinin yeterince önemsenmemesinin nedeni, kapalı ortam hava kirliliği etkilerinin genellikle uzun sürede ortaya çıkması ve yaşamı ve sağlığı doğrudan ya da acil olarak tehdit etmemesidir.

İç ortamda yapılan çalışmalarda iç ortamların dış ortamlardan daha yüksek seviyelerde kirletici içerdiği belirtilmiştir. Amerikan Çevre Koruma Örgütü'nün (EPA) çalışmaları göstermiştir ki iç ortamdaki kirleticilerin seviyesi dış ortamdaki yaklaşık 5-100 kat daha fazla olabilmektedir. Dış hava kirliliğinin etkileri 20. yüzyılın başlarından itibaren bilinirken iç hava kalitesi sadece 30 yıl önce gündeme gelmiştir. İnsanların zamanlarının %80'nini iç ortamlarda geçirdiği düşünüldüğünde iç ortam kirleticilerinin ne kadar önemli olduğu daha iyi anlaşılmaktadır [1].

Dış ortam hava kirliliği (karbon dioksit, su buharı, ozon, formaldehit, uçucu organik bileşikler, metaller vb.), mikrobiyolojik etmenler (mantarlar, virüsler, bakteriler, maytalar, algler ve diğer alerjenler), radon ve elektromanyetik radyasyon da kapalı ortam havasını etkiler. Binalarda yaşayan kişilerin soba yakma, sigara içmek, yemek pişirmek ve temizlik yapmak vb. etkinlikleri sonucunda da bazı kimyasal maddeler ve partiküller kapalı ortam havasına eklenmektedir. Bina yapı malzemeleri, duvar, halı, mobilya ve diğer malzemeler partikül ve kimyasal maddelerin artmasına katkıda bulunmaktadır.

İç ortamdaki kirleticilerin konsantrasyonu sadece emisyon hızına bağlı değildir, aynı zamanda iç ortama dış ortamdaki taşınım hızı, iç ortamdaki yüzeyler tarafından kirleticilerin tutulması, iç ortamda oluşan kimyasal reaksiyonlarla, ventilasyon veya filtrasyon yoluyla kirleticilerin giderilmesi gibi etkenlere bağlıdır [2].

Tozlar havada veya yerde bulunan küçük katı parçacıklardır. Bu parçacıklar organik veya inorganik kaynaklı olabiliyorlar. Organik tozlar insanlardan, bitkilerden ve hayvanlardan meydana gelirken inorganik tozlar metal ve minerallerden meydana gelmektedir. Bir evdeki tozların içeriği, evin bulunduğu bölgenin ikliminden evin yaşına, evde yaşayan insan sayısından evde yapılan yemeğe, evde sigara içilip içilmemesinden evin temizlik düzenine kadar çeşitli faktörlere bağlıdır [3].

Bu tozlar statik elektriklenmenin etkisiyle bir araya toplanarak pamukçukları oluşturmaktadır. Bu pamukçuklar ev tozları gibi, saç, kıl, kumaş parçaları, ölü deri, örümcek ağları ve tüy gibi materyaller içermektedir. Ayrıca toz akarları ve diğer parazitleri de barındırmaktadırlar [4].

İç ortam hava kirleticileri arasında özellikle uçucu organik bileşikler (UOB'ler) ve ağır metaller toksik ve kanserojenik etkileri nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir. Arsenik, Be, Cd, Cl, Co, Cr, Hg, Ni, Pb ve Se gibi bazı ağır metaller insanlar için kanserojendirler. Bu elementlerin çoğu kömür ve petrol yanması, motorlu taşıtlar ve metal endüstrileri gibi dış ortam emisyon kaynakları ile ilişkili olmalarına rağmen dış ortam-İç ortam taşınım yoluyla iç ortama önemli bir katkı sağlayabilmektedir. Ağır metallerin diğer kaynakları arasında yol tozlarından gelen yer kabuğu elementleri, inşaat aktiviteleri, tekerlek/fren aşınması ve sanayi tesislerinin emisyonları sayılabilir [5].

Literatürde, ev tozlarında ağır metal kirliliği üzerine yapılan çalışmalarda evlerin ısıtma türü, yer kaplama türü, trafik emisyonları, endüstri bölgelerine yakınlık, duvar boya türü ve rengi ile ev içinde sigara içme alışkanlığının ev tozlarında bulunan ağır metallerin konsantrasyonlarını etkileyen faktörler olduğu belirlenmiştir [6], [7], [8], [9]. Varşova, Polonya da yapılan bir çalışmada Pb, Cr, Ni, Cu ve Zn miktarlarını etkileyen en önemli faktörün trafik emisyonları olduğu belirlenmiştir [6].

Başka bir çalışmada, Amman, Ürdün ısıtma amaçlı olarak dizel yakıt kullanılan evlerde Pb, Ni ve Zn element miktarları yüksek olarak tespit edilmiş, boydan boya halı ile kaplanan evlerin tozlarında yüksek miktarda Zn bulunmuştur [7]. Suudi Arabistan, Riyad'da yapılan bir çalışmada, Riyad şehrinin etrafındaki eski endüstriyel bölgelerin, ev içi tozlarında Cu, Ni ve Zn miktarlarının yüksek olmasına neden olduğu bulunmuştur [8]. Gize, Mısır da yapılan bir çalışmada ev içinde sigara içme alışkanlığı,

evlerin kapılarının büyük olması ve her zaman açık tutulması, ev içi tozlarında, ağır metallerin konsantrasyonlarının yüksek olmasına sebep olmuştur [9].

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

2. YÖNTEM:

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.

Ev tozunda eser miktarda bulunan metallerin nicel analizinde Atomaik Absorpsiyon Spektroskopisi 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'ye yerleştirilen hidrür sistemi ile analiz edilmiştir. Cıva ise oda sıcaklığında buharlaşan bir element olduğu için cıva analizinde ise soğuk buhar yöntemi adı verilen bir sistemde atomlaştırılarak ölçümü yapılmıştır.

2.1. Örneklerin Hazırlanması

Toz örnekleri araştırmacılar tarafından belirlenmiş evlerden elektrik süpürgesi ile alındıktan sonra ağız kapalı olacak şekilde plastik torbalara konularak laboratuvara getirilmiştir ve analiz edilinceye kadar derin dondurucuda saklanmıştır. Numuneler analiz öncesi içindeki büyük çöp, saç vs. 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).

Metot validasyonu için SRM 1648a_UPM (Kentsel Partikül Madde, NIST) referans maddesi kullanılmıştır. Örneklerle uygulanan çözme işleminin aynısı referans maddenin analize hazırlanması için de uygulanmıştır. Daha sonra analiz için yine AAS cihazı kullanılmıştır.

Referans madde içerisindeki elementlerin ölçülen değerleri, sertifika değerleri ve % geri kazanım sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Krom ve çinko'nun dışındaki tüm elementler için yüzde geri kazanım değerleri yüzde 88'in üstündedir.

Tablo 1. SRM 1648-Urban Particulate Matter (NIST) referans maddesi için analiz sonuçları

Metal	Ölçülen değerler ($\mu\text{g g}^{-1}$)	UPM sertifika değerleri ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Geri kazanım (%)
Zn	3972.5 ± 19.25	4800 ± 270	82.77
Cu	653.1 ± 13.76	610 ± 70	107
Cd	62.28 ± 0.58	73.7±2.3	87.22
Pb (%)	0.64 ± 0.019	0.65 ±0.03	99.08
Ni	81.08 ± 10.38	81.1± 6.8	99.97
Fe	3.83 ± 0.6	3.92 ± 0.21	97.7
Mg (%)	0.80 ± 0.021	0.81 ± 0.01	98.52

Ca (%)	5.6 ±0.8	5.84 ± 0.19	95.89
As	113.84	115.5 ± 3.9	98.56
Cr	320.12 ±2.02	402 ± 13	79.63
Mn	769.57	790 ± 44	97.41
Sb	40.12	45.4 ± 1.4	88.37
V	125.47± 5	127 ± 11	98.79

3. BULGULAR:

Toplam 47 evden alınan ev içi toz örneklerinde Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Pb, Ni, V, Cr, Sn, Cd, As, Hg ve Sb ağır metalleri ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ev içi tozlarında ağır metallerin konsantrasyonlarının istatistiksel sonuçları Tablo 2'de verilmektedir. İstatistiksel inceleme için Statgraphics Centurion programı kullanılmıştır. Tablo 2'de görünen yüksek standart sapmalar çevre analizlerinde sıkça karşılaşılan bir durumdur.

Bu çalışmada yapılan istatistiksel analize göre en yüksek aritmetik ortalamaya sahip elementler sırasıyla Ca>Mg> Fe> Zn'dir.

Tablo 2. Ev tozlarında ölçülmüş ağır metallerin ortalama konsantrasyonları ($\mu\text{g g}^{-1}$)

örnek sayısı	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Ortanca	Min	Max	
As	47	2.38	2.34	1.57	0.07	12.01
Ca	47	17928.6	14691.5	12236	3318	63532
Cd	31	3.52	3.36	2.05	0.41	12.61
Cr	40	29.65	9.08	29.90	7.26	50.37
Cu	47	104.51	143.71	72.50	28.49	1032.86
Fe	47	4408.57	4832.82	3529.3	436.97	31718.8
Hg	40	0.62	1.37	0.20	0.006	8.04
Mg	47	8900.34	4762.59	8569	306.65	20617.9
Mn	42	91.87	99.27	78.82	7.91	625.28
Ni	43	79.32	281.32	31.64	6.55	1874.75
Pb	47	80.79	60.25	69.17	16.82	378.22
Sb	32	0.15	0.10	0.14	0.002	0.43
Sn	37	6.03	3.60	6.02	0.10	13.66
V	44	43.90	26.93	40.72	2.11	115.7
Zn	47	449.98	143.83	440.07	127.98	745.71

3.1. Ağır Metal Konsantrasyonlarına İç Ortamdaki Faktörlerin Etkisi

Ev içinde ölçülen ağır metallerin konsantrasyonları, ortamdaki ağır metal kaynaklarının varlığına göre değişim gösterebilmektedir. Bu çalışmada ağır metallerin konsantrasyonları ile iç ortam özellikleri arasındaki ilişki ANOVA analizi ile incelenmiştir (Tablo 3). Elde edilen sonuçlara göre ağır metallerin konsantrasyonlarına etki eden faktörler, ana caddenin yakınlığı, ev içinde sigara içilmesi, dezenfektan kullanım sıklığı ve ısıtma türü olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3. Anket çalışmasına ilişkin ANOVA testi sonuçları

	Cd	Hg	Sb	Pb	Ni	Cu	Mn	Mg	Zn	Sn	As
Ana caddeye yakınlık	***	**	**	***	*						
Isıtma türü	***	**					*				**
Dezenfektan kullanım sıklığı		*				***				*	
Evin içinde sigara içilmesi	*					**	***	***	**		

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

Ulaşım araçları günlük yaşantımızın bir parçasıdır. Cadde tozlarının bileşimi şehirlerdeki çevre kirlenmesinin bir göstergesidir ve yapılarında yer alan ağır metaller bu tozların önemini artırmaktadır. Cadde tozları ile yapılan bir çok çalışma elementer konsantrasyon ve kaynak tanımlama üzerine yoğunlaşmaktadır [10,11]. Cadde tozlarında ki ağır metallerin kaynakları çeşitlilik göstermektedir. Araç emisyonları bu kaynakların başında gelir [12]. Toprak üzerinde ve yol kenarında biriken ağır metaller atmosferik çökelti sonucu oluşan ağır metal kirliliğinin önemli bir göstergesidir. Yoğun trafik yükünün olduğu yolların yakınında ki toprakta Pb, Zn, Cd, Cr, Cu ve Ni kirliliğe neden olduğu belirtilmiştir [13,14]. Yapılan tek yönlü ANOVA testlerine göre, ana caddeye yakın olan evlerde ölçülen Cd, Hg, Sb, Pb ve Ni konsantrasyon değerleri, ana cadde üzerinde bulunmayan veya trafik yoğunluğu olmayan evler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlemlenmiştir. Bu teste normal dağılım göstermeyen veriler için daha uygun olan Mood's Median testi uygulanmıştır.

İç mekânlarda hava kirliliğinin esas kaynağı yanma olayıdır. Yanma olayının gerçekleşmesi için gerekli olan parametrelerden biri de yakıtlardır. Kullanılacak yakıtların seçimi önem arz etmektedir. Evsel ısınmadan kaynaklanan kirliliğin temel kaynağının yerleşim alanlarında kullanılan düşük nitelikteki yakıt ve bunlar arasında da kükürt ve kül oranı yüksek, kalori değeri düşük kömürler olduğu bilinmektedir. Kömürün yanma sırasında ortaya çıkan ağır metallerin bazıları (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn) insanlar için kanserojendirler [15].

Bu çalışmada uygulanan ANOVA testine göre, evlerin ısıtma türleri, ev içi tozlarında ölçülen As, Cd, Hg ve Mn konsantrasyonlarını etkilemektedir. Sobalı evlerde gözlenen ortalama As, Cd, Hg ve Mn konsantrasyonları sırasıyla ($3.34 \mu\text{g g}^{-1}$), ($7.63 \mu\text{g g}^{-1}$), ($99.12 \mu\text{g g}^{-1}$) ve ($0.93 \mu\text{g g}^{-1}$) iken doğalgaz kullanılan evlerde ($1.58 \mu\text{g g}^{-1}$), ($2.09 \mu\text{g g}^{-1}$), ($60.27 \mu\text{g g}^{-1}$) ve ($0.22 \mu\text{g g}^{-1}$) tespit edilmiştir. Sonuçlarda da görüldüğü gibi ısıtma türü soba olan evlerde ağır metallerin konsantrasyonları daha yüksek görünmektedir.

Mikrop öldürücü kimyasal maddelerin cansız ortamda kullanılanların dezenfektan, canlı üzerinde kullanılanlarına ise antiseptik denilmektedir. Dezenfektanlarda ağır metal iyonlarının (Ag, Au, Cu) varlığı ile birlikte bulunduğu mikroorganizmalara üremelerini durdurucu veya öldürücü (bakteriyostatik veya bakterisid) etki yaparlar. Bu etkiye oligodinamik etki adı verilmektedir [16]. Cıva bileşikleri şeklinde, yaygın olarak antiseptik ve mantar öldürücü olarak kullanılmaktadır [17].

Bakırın bitkiler ve canlılar üzerindeki etkisi, kimyasal formuna ve canlının büyüklüğüne göre değişir. Küçük ve basit yapıları için zehir özelliği gösterirken büyük canlılar için temel yapı bileşenidir. Bu nedenle bakır ve bileşikleri fungusit, biosit, anti bakteriyel madde ve böcek zehiri olarak tarım zararlılarına ve yumuşakçalara karşı yaygın olarak kullanılır [18].

Örnekleme yapılan evlerde temizlik için kullanılan dezenfektan kullanım sıklığı, ağır metal konsantrasyonuna katkıda bulunan bir faktör olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hergün veya haftada iki kez deterjan kullanılan evlerde ortalama Cu, Hg ve Sn metal konsantrasyonları

sırasıyla ($123.72 \mu\text{g g}^{-1}$), ($0.71 \mu\text{g g}^{-1}$) ve ($12.11 \mu\text{g g}^{-1}$) ve daha az sıklıkla deterjan kullanılan evlerde ($43.76 \mu\text{g g}^{-1}$), ($0.12 \mu\text{g g}^{-1}$) ve ($1.49 \mu\text{g g}^{-1}$) gözlemlenmiştir. ANOVA testinin sonuçlarına göre daha çok sıklıkla deterjan kullanılan evlerde Cu, Hg ve Sn miktarı daha yüksek olduğu görülmektedir.

Sigara dumanı, zehirli genotoksik ve kanserojen özelliklere sahiptir. Sigara dumanı, organik ve inorganik bileşikler insan kanserojen hem de içerir. 4000 tanımlanan kimyasal bileşikler içeren, sigara dumanı, çok zararlı ve insan sağlığı için toksiktir [19]. Tütün dumanında bulunan Cd, Cr, Pb ve Ni gibi çeşitli ağır metaller sigara içildiğinde doku ve sıvılarda birikir [20,21]. Yapılan ANOVA testi sonucuna göre, ağır metallerin konsantrasyonlarına önemli miktarda etki eden faktörlerden biride ev içinde sigara içilmesidir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre ev içinde sigara içilen evlerde ölçülen Cu, Cd, Mn, Mg ve Zn metallerin derişimlerinin ortalaması sırasıyla ($105.56 \mu\text{g g}^{-1}$), ($7.01 \mu\text{g g}^{-1}$), ($99.13 \mu\text{g g}^{-1}$), ($11665.3 \mu\text{g g}^{-1}$) ve ($539.91 \mu\text{g g}^{-1}$), ev içinde sigara içilmeyen evlerde ($57.26 \mu\text{g g}^{-1}$), ($1.86 \mu\text{g g}^{-1}$), ($52.97 \mu\text{g g}^{-1}$), ($6467.2 \mu\text{g g}^{-1}$) ve ($328.57 \mu\text{g g}^{-1}$) olarak ortaya konulmuştur.

Elde edilen sonuçlarda sigara içilen evlerde Cu, Cd, Mn, Mg ve Zn miktarı daha yüksek görünmektedir.

Ev tozunda ağır metal ölçümlerine yönelik olarak literatürde yer alan çalışmalara ait sonuçların özeti Tablo 4'te verilmektedir. Tablo 4'den görülebileceği gibi, bu çalışmada elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan çalışmalara genel olarak benzer olduğu gözlenmektedir. Varşova, Polonya kentinde trafiğin yoğun olması ve etrafında kömürlü termik santrallerin bulunması, örnekleme yapılan evlerde sigara içilmesi ve evlerin pencerelerinin açık tutulması Pb, Cr, Cu ve Zn metallerinin yüksek çıkmasına sebep olmuştur [6]. Amman, Ürdün'de yapılan çalışmada Pb, Ni ve Zn miktarının yüksek olmasının nedeni örnekleme yapılan evlerin ısıtmasında dizel yakıt yakılması ve evlerin boydan boya halıyla kaplanması olduğu tahmin edilmektedir [7]. Suudi Arabistan'da yapılan çalışmada Pb, Zn ve Cu miktarının bu çalışmada gözlenenenden daha yüksek belirlenmesinin nedeni Riyad şehrinde örnekleme yapılan evlerin etrafındaki otomobil servis garajları ve evlerin ana caddeye yakın olması olarak tahmin edilmiştir [8]. Mısır'da alınan sonuçlarda Pb miktarının daha yüksek gözlenmesine Gize deki binaların daha eski olması ve evlerin duvar boyalarında kurşunlu boya kullanılması, Cr miktarının yüksek olmasının nedeni Cr kaplamalarının kullanılması ve Zn metalinin bu çalışmadan daha düşük gözlenmesinin nedeni evlerin yakınında ana cadde bulunmamasıdır [9]. Kanada Ottawa'da yapılan çalışmada evlerin eski olması, elektrikli sobayla ısıtılması, havanın nemli olması ve evlerin havalandırılmasının kötü olması nedeniyle Pb, Hg, Cd, Cr vb gibi metallerin derişimleri daha yüksek ölçülmüştür [22]. Selangor'da örnekleme yapılan evlerin ana caddeye yakın olmaları ve etrafta endüstri bölgelerinin olması toz örneklerinde Pb, Zn ve Cd miktarlarının yüksek olmasına sebep olmuştur. Tozlarda bulunan Ni kaynaklarının sırasıyla otomobil parçaları, lastik aşınması, otomobil yağları, motor aşınması ve fren tozundan olduğu düşünülmektedir [23]. Ni metalinin daha düşük belirlenmesinin nedeni trafiğin Ankara'dan daha az olması tahmin edilmiştir. İstanbul'da yapılan çalışmada Cd, Ni ve Pb daha düşük gözlemlenirken Cr, Cu, Mn ve Zn daha yüksek gözlenmiştir. Buna da evlerin etrafındaki sanayi bölgelerinin olması sebep olmaktadır. Avustralya'da evlerde sigara içilmemesi ve ana caddeye yakın olmaması nedeniyle Cd, Mn, Ni, Zn ve Pb metallerinin derişimleri daha düşük belirlenmiştir [24]. Hong Kong'da örnekleme yapılan dönemde (2000 yılı) kurşunlu benzinin yasaklanmaması ve belirlenen evlerin ana caddeye yakın olmaları ağır metallerin konsantrasyonlarını önemli derecede arttırmaktadır. Evlerin etrafında ağır ve kirletici sanayinin (gemi inşa ve tamiri, otomobil ve kamyon servis garajları) bulunması, ev içi eşyalarında ağır metallerin kullanılması ve evde ayakkabı ile dolaşılması Cd, Cu, Mn, Pb ve Zn metallerinin daha yüksek gözlenmesine sebep olmuştur [25]. Bahreyn'de kurşunlu benzin kullanılması ve evlerde plastik malzemenin ve renkli halıların kullanılması Pb miktarının daha yüksek çıkmasına neden olmuştur [26]. Trafiğin yoğunluğunun yüksek olmaması lastik aşınmasından gelen ağır metallerin (Cd ve Zn) daha düşük olmasının nedeni olarak düşünülmüştür [26].

Tablo 4. Kapalı ortam toz örneklerinde gözlenen ortalama ağır metal sonuçları ($\mu\text{g gr}^{-1}$)

Ölçüm yeri	Cd	Cr	Cu	Fe	H g	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	As	Kaynak
Ankara, Türkiye	3.5	29.6	104.5	4408.5	0.6	91.8	79.3	80.7	6.03	449.9	2.3	Bu Çalışma
Varşova, Polonya	--	90	109	--	--	--	30	124	--	1070	--	[6]
Amman, Ürdün	2.9	66	133	--	--	284	31	169	--	1985	--	[7]
Riyad, Suudi Arabistan	2.0	35.1	271.1	--	--	--	52.9	639.1	--	547.1	--	[8]
Gize, Mısır	2.7	83.1	122	2003.9	--	--	46.6	254.4	--	152.3	--	[9]
Ottava, Kanada	6.4	86.7	206	14135	3.6	269.3	62.9	405.5	22	716.9	7.3	[22]
Serdang-Selangor, Malezya	5.9	--	212.9	3624.1	--	--	47.9	390.1	--	709.7	--	[23]
İstanbul, Türkiye	0.8	55	156	--	--	136	52	28	--	832	--	[24]
Kwung Tong, Hong Kong	4.3	--	310.8	--	--	216.2	--	157.4	--	1408.8	--	[25]
Bahreyn	1.9	11	--	--	--	--	10	517	--	202	--	[26]
UK	1.3	--	339	9450	--	578	56.5	181	28.4	666	--	[27]

4. GENEL SONUÇLAR

İç ortamdaki kirlenmelerin tür ve konsantrasyonları, iç ortamlarda kullanılan materyallere bağlı olarak teknolojik gelişim ile birlikte gün geçtikçe değişmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışma Türkiye’de iç ortam kirlenme kaynaklarının belirlenmesi konusunda yapılmakta olan az sayıda çalışmalardan bir tanesidir. Bu çalışmada ev içi ortamlarının kirlilik kaynaklarının belirlenmesinde ev tozlarının kullanılabilirliğinin ortaya konması amaçlanmaktadır. Bu amaçla ev süpürgelerinden toplanan ev tozlarının ağır metal derişimlerinin analizleri ardından kayıt edilen ev içi koşulları istatistik yöntemlerle analiz edilerek kirlilik kaynakları belirlenmiştir. Ağır metallerden kurşun, cıva, kadmiyum, nikel vb. antropojenik elementler, dış ortamda bulunan taşıyıcı emisyonlarından kaynaklanmakta ve dışarıdan iç ortama taşınarak iç ortamı kontamine etmektedir. Sobalı evlerde kömür kullanımı ve sigara dumanı ise en önemli iç ortam ağır metal kaynakları olarak tespit edilmiştir.

Evlerde kullanılan temizlik maddelerinin de kullanım sıklığına bağlı olarak ev tozlarında saptanan bazı ağır metalleri önemli ölçüde yükselttiği tespit edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen veriler bazı kirlenmelerin iç ortamda buldukları seviyeleri, en yüksek düzeyde gözlenen kirlenme bileşikleri hakkında bilgi vermektedir. Klasik kirlenmelerin yanı sıra, iç ortam havasında tespit edilen temizlik maddelerinden, trafik emisyonlarından, yakıt türünden ve sigara dumanından kaynaklanan bazı ağır metaller toz taneciklerinde birikerek yeni tür kirlenmeler ortaya çıkarmaktadır. Analiz sonuçları iç ortam hava kirliliğine neden olan etmenlerin tespitinde ev tozlarının kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

**KAYNAKLAR**

- [1] US EPA. Indoor air quality: sick building syndrome (EPA/402-F-94-004), Indoor Air Group, Research Triangle Park, North Carolina, 1991:228
- [2] M. E. A. Gülnihal Kara, «Indoor Air Pollutants and Methods of Detection,» Eur J Basic Med Sci, pp. 39-49, 2011.
- [3] J. Kluger, "<http://content.time.com/time/health/article/0,8599,1966870,00.html>," 23 Feb 2010. [Online]. [Accessed 10 .12 .2014].
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Dust_bunny. [Accessed 10 .12 .2014].
- [5] ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), Toxicological profile information sheet, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles>, 2003.
- [6] LISIEWICZ, M., HEIMBURGER, R., GOLIMOWSKI, J, "Granulometry and the content of toxic and potentially toxic elements in vacuum-cleaner collected, indoor dusts of the city of Warsaw", Sci Total Environ, 263:69 – 78, 2000.
- [7] AL-MOMANI, "Trace elements in street and household dusts in Amman, Jordan", Soil & Sediment Contamination, 16, 5, 485-496, 2007.
- [8] AL-RAJHÍ, M.A., SEAWARD, M.R.D., AL-AAMER, A.S, "Metal levels in indoor and outdoor dust in Riyadh, Saudi Arabia", Environment International, cilt 22, no. 3, p. 315–324, 1996.
- [9] SALWA KAMAL, M. H, "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, 2012.
- [10] Fergusson, J.E., Kim, N., "Trace Elements in Street and House Dusts Source and Speciation", Sci. Total Environ. 100: 125-150,1991.
- [11] Naqerotte S.M., Day, J.P., "Lead Concentrations and Isotope Ratios in Street Dust Determined by Electrothermal Atomic Absorbtion Spectrometry and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry", Analist .123: 59-62, 1998.
- [12] Harrison, R.M., Laxen, D.P.H., Wilson,S.J., "Chemical Association of Lead, Cadmium, Copper, and Zinc in Street Dust and Roadside Soil", Environ. Sci. Technol. 15,1378- 1383, 1981.
- [13] Culbard, E.B., Thornton, I., Watt, J.,et.al., "Metal Contamination in British Urban Dusts and Soils", J. Environ. Qual. 17, 226-234, 1988.
- [14] Wong,J.W.C., Mak, N.K., "Heavy Metal Pollution in Chilen Playgrounds in Hong Kong and Its Health Implications", Environ.Technol.18,109-115, 1997.
- [15] T. K. R. • R. E. M. • L. C. R. •, «Assessment of human health risks from heavy metals,» Environ Geochem Health, 35:347–356, 2013.
- [16] http://www.hastaneinfeksiyonlaridergisi.org/managete/fu_folder/2003_03/html/2003-7-3-137-140.htm
- [17] N. a. A. Earnshaw, «Zinc, Cadmium, and Mercury,» CHEMISTRY OF THE ELEMENTS, 1994, p. 1399.
- [18] "Copper and Copper Alloys"
<http://www.cda.org.uk/megab2/general/pub121/section7.htm#Product%20Forms>
- [19] International Agency for Research on Cancer (IARC), Tobacco Smoking, IARC Monograph 38, International Agency of Research on Cancer, Lyon, France, 1986
- [20] M. Galazyn-Sidorczuk, M. M. Brzoska, and J. Moniuszko- ´ Jakoniuk, "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, 2008.
- [21] I. Erzen and L. Z. Kragelj, "Cadmium concentrations in blood in a group of male receruits in Solvenia related to smoking habits," Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, vol. 76, pp. 278–284, 2006.
- [22] RASMUSSEN, P.E., SUBRAMANIAN, K.S., JESSIMAN, B.J, "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, 2001.
- [23] YAP, C. K., KRISHNAN, T., CHEW, W, "Heavy Metal Concentrations in Ceiling Fan Dusts Sampled at Schools Around Serdang Area, Selangor", Sains Malaysiana 40(6): 569–575, 2011.
- [24] KURT-KARAKUS, PB, "Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: estimation of the health risk", Environment International, 50, 47–55, 2012.
- [25] TONG SUSANNA T.Y., LAM, KIN CHE, "Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong", The Science of the Total Environment 256, 115-123, 2000.



- [26] SALIM AKHTER, M., MADANY, I.M, “Heavy metals in street and house dust in Bahrain”, Water, Air, and Soil Pollution, 66, 1-2, pp 111-119, 1993.
- [27] ANDREW, T., LINDSEY, S, “Elemental concentrations and metal bioaccessibility in UK household dust”, Science of The Total Environment, 371, 1–3, 74–81, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Parisa BABAEİ

1980 yılı Salmas, İRAN doğumludur. 2006 yılında Lahijan Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2011 yılından itibaren Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans yapmaktadır.

İlknur DURUKAN

1979 yılı Ankara doğumludur. 2001 yılında Hacettepe Üniversitesi (HÜ) Fen Fakültesi Kimya Bölümünden ikincilik derecesi ile mezun olmuştur. 2005 yılında HÜ FBE Kimya ABD’de yüksek lisansını tamamlamıştır. 2005-2012 yılları arasında HÜ FBE Kimya ABD’de doktora çalışmasını tamamlamıştır. 2007-2008 yılları arasında Hamburg Üniversitesi-Almanya’ da TÜBİTAK bursu ile doktora çalışmalarının bir kısmını yürütmüştür. 2006-2012 yılları arasında HÜ Kimya Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmış ve halen aynı bölümde Uzman Dr. olarak çalışmaktadır.

Gülen GÜLLÜ

Dr. Gülen Güllü, 1987 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1989 yılında Yüksek Mühendis ve 1996 yılında Doktor unvanını almıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesinde 1987-1996 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1996-1999 yılları arasında uzman olarak görev yapmıştır. Doçentlik unvanını 1999 yılında Hacettepe Üniversitesinde Öğretim Üyesi iken alan, Dr. Güllü, 2006 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Profesör kadrosuna atanmış, halen Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır. Dr. Güllü, atmosferik kirlilik taşınımı, atmosfer kimyası, iç ve dış ortam hava kirliliği konularında çalışmaktadır. Dr. Güllü, birçok ulusal ve uluslararası projede yürütücü ve araştırmacı olarak çalışmakta, Avrupa Birliğinin eşleştirme programlarında Hava Kalitesi konularında uzman olarak görev almaktadır. Dr. Güllü, atmosfer kimyası, çevresel veri analizi, çevresel etki değerlendirmesi, çevre kimyası, hava kirliliği kontrol prosesleri ve iklim değişikliği konularında yüksek lisans ve doktora dersleri vermektedir.

