

# Kocaeli’de Farklı Mikroçevrelerde Uçucu Organik Bileşikler, Ağır Metaller ve İnorganik Gaz Fazı Kirleticilerin İç ve Dış Ortam Seviyelerinin Belirlenmesi

## ÖZET

*Bu çalışmada, Kocaeli’de farklı bölgelerde (endüstriyel, kent merkezi, kent merkezi dışında bulunan yerleşim bölgesi) ve farklı mikro-çevrelerde (ev, okul, ofis), iç ve dış ortam hava örneklemeleri ile ağır metaller, uçucu organik bileşikler, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları belirlenerek, iç ortam hava kalitesi değerlendirilmesi yapılmıştır.*

*Çalışmada, seçilen inorganik ve organik kirleticilerin iç ve dış ortam konsantrasyonlarının belirlenmesi için 2006 yaz mevsiminde 15 ev, 10 ofis ve 3 ilköğretim okulunun iç ve dış ortamlarında aktif ve pasif örnekleme çalışmaları yapılmıştır.*

*İç ortamlarda (okul, ofis, ev) yapılan pasif örnekleme ile elde edilen sonuçların ortalama konsantrasyon değerleri NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> için sırasıyla; 35,26; 3,79; 6,21 µg/m<sup>3</sup> olarak; Benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen için sırasıyla; 9,44; 51,07; 11,77; 19,04 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. İç Ortam Partikül Madde (PM<sub>2.5</sub>) veri setinde eser ve major elementlerin ortalama konsantrasyonları 0.0022 µg/m<sup>3</sup> (Ni) ile 0.5008 µg/m<sup>3</sup> (Ca) arasında değişmektedir. İç Ortam Partikül Madde (PM<sub>10</sub>) veri setinde eser ve major elementlerin ortalama konsantrasyonları 0.0022 µg/m<sup>3</sup> (Ni) ile 1.9694 µg/m<sup>3</sup> (Ca) arasında değişmektedir.*

## 1. GİRİŞ

İnsanlar zamanlarının yaklaşık %90’ını iç ortamlarda geçirirler. Bu konuda yapılan çalışmalar, iç ortam havasının çoğunlukla kirli olduğunu ve dış ortam havasında bulunan kirletici seviyelerinden daha fazla seviyede kirletici içerdiğini belirtmiştir [1]. Binaların konumu, yapısı ve havalandırma sistemlerinin planlı bir şekilde tasarlanması nedeniyle gelişmiş ülkelerde konutlarda iç ortam hava kirletici seviyeleri genellikle düşüktür. Bununla birlikte, ortamdaki havalandırma yetersizse veya konut içindeki cihazlar hasarlı ise kirletici seviyeleri insan sağlığına zarar verebilecek boyutlara çıkabilir [2].

İç ortam hava kirleticileri arasında özellikle uçucu organik bileşikler

Araş. Gör. Zehra BOZKURT  
Araş. Gör. Demet ARSLANBAŞ  
Dr. Hakan PEKEY  
Öğr. Gör. Beyhan PEKEY  
Dr. Abdullah ZARARSIZ  
Araş. Gör. Güray DOĞAN  
Yetkin Sönmez DUMANOĞLU  
Prof. Dr. Abdurrahman BAYRAM  
Dr. Nurettin EFE  
Prof. Dr. Gürdal TUNCEL

## Abstract:

This study includes an evaluation of indoor air quality based on determination of the concentrations of heavy metals, volatile organic compounds, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in samples of indoor and outdoor air gathered from various regions in Kocaeli (industrial, urban centre, sub-urban settlements) as well as various micro-environments (the home, school and office).

Within the scope of the study, in order to determine the indoor and outdoor concentrations of the selected inorganic and organic pollutants; active and passive sampling was conducted in the summer of 2006 in indoor and outdoor environments of 15 homes, 10 offices and 3 elementary schools.

The average concentration values for the results obtained by passive sampling in closed environments (schools, offices, homes) have been 35.26; 3.79 and 6.21 µg/m<sup>3</sup> for NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> respectively; and 9.44; 51.07; 11.77 and 19.04 µg/m<sup>3</sup> for benzene, toluene, ethylbenzene and xylene respectively. The average concentrations of trace and major elements in the Indoor Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) data kit vary between 0.0022 µg/m<sup>3</sup> (Ni) and 0.5008 µg/m<sup>3</sup> (Ca). The average concentrations of trace and major elements in the Indoor Particulate Matter (PM<sub>10</sub>) data kit vary between 0.0022 µg/m<sup>3</sup> (Ni) and 1.9694 µg/m<sup>3</sup> (Ca).

(UOB'ler) ve ağır metaller toksik ve kanserojenik etkileri nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir. Ayrıca SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> gibi konvansiyonel gaz fazı kirleticiler iç ortamda dış ortamdaki daha yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir [3].

Uçucu organik bileşiklerin insan sağlığı üzerinde doğrudan etkileri olabilmektedir. Birçok UOB toksik ve kanserojen olarak sınıflandırılmıştır ve bu yüzden bu bileşiklerin büyük miktarlarına kısa süreliğine ya da küçük miktarlarına uzun süreliğine maruz kalmak güvenli değildir. UOB'lere fazla maruz kalındığında gözlenen bazı sağlık problemleri olarak baş dönmesi, baş ağrısı ve mide bulantısı sayılabilir. Ayrıca benzen gibi bazı UOB'lere uzun bir süre maruz kalınmasının kansere yol açtığı görülmüştür. Ayrıca, n-heksanın sebep olduğu kronik nörotoksik etkiler, aldehitlerin yol açtığı mukoz zarındaki tahriş, toluen ve ksilenlerin merkezi sinir sistemi üzerindeki etkileri de rapor edilmiştir [4].

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, insineratörler, motorlu taşıtlar ve metal endüstrileri gibi dış ortam emisyon kaynakları ile ilişkili olmalarına rağmen dış ortam- iç ortam taşınımı yoluyla iç ortama önemli bir katkı sağlayabilmektedir. Ağır metallerin diğer kaynakları arasında yol tozlarından gelen yer kabuğu elementleri, inşaat aktiviteleri, tekerlek/fren aşınması ve çimento fabrikaları sayılabilir [5]. Son yıllarda solunabilir partiküllerin neden olduğu sağlık risklerine çok önem verilmektedir ve bu nedenle solunabilir partiküller ile olumsuz sağlık etkileri arasındaki ilişkiler birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [6; 7; 8]. İnce partiküller kolaylıkla solunması ve akciğerlerde depolanması ile solunum sistemi rahatsızlıkları ve ölüm oranlarının artmasına sebep olması nedeniyle daha fazla önem göstermektedir [9; 10; 11].

Kükürt dioksit, yakıtların yanması sırasında kükürt içeren safsızlıkların yükseltgenmesi ile ortaya çıkar. İç ortam SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarına bağlı olarak kısa vadeli sağlık etkilerini gösteren birkaç belirti vardır. Bununla birlikte SO<sub>2</sub>'ye uzun süreli maruziyet sonu-

cunda artan kronik solunum yolu şikayetleri tespit edilmiştir [3].

Azot oksitler, yanma prosesleri sonucu oluşurlar ve havaya başlıca NO ile birlikte NO<sub>2</sub> olarak yayılırlar. Azot dioksit yükseltgeyici bir maddedir. Bu nedenle, akciğerin mukoza zarı üzerinde tahriş edici olabilir. Suda oldukça iyi çözünür ve soluduğumuz NO<sub>2</sub>'nin büyük bir kısmı solunum yolunda su ile reaksiyona girerek asit oluşturabilir. Bu reaksiyonlar sonucunda NO<sub>2</sub> maruziyeti ciğerlerde tahribata neden olmaktadır. Ayrıca, azot bileşikleri çevresel açıdan fotokimyasal smog ve troposferik ozon oluşumunda da önemlidirler [12].

Ozonun oluşumu ve atmosferden doğal uzaklaşma olayları güneş radyasyonunun azot dioksit üzerine etkisi sonucu bir dizi reaksiyon ile gerçekleşmektedir. Atmosferde bulunan uçucu organik bileşikler ve hidroksil radikalleri, dengedeki ozon konsantrasyonunun bozulmasına neden olur [13]. Azot dioksitin bulunduğu ortamlarda diğer kirleticilerin ve özellikle ozonun bulunması durumunda, bu kirleticiler arasında oluşan reaksiyonlar nedeniyle insan sağlığında olumsuz etkileşimlerin arttığı belirlenmiştir [14]. Ozon maruziyetinin; ağız, burun ve ciğerler üzerinde yakıcı ve tahriş edici bir etkisi vardır. Çocuklar yaz aylarında zamanlarının çoğunu dış ortamlarda oyun oynayarak geçirdiklerinden ozon maruziyeti için riskli grubu oluştururlar [15].

Ülkemizde bugüne kadar iç ortam hava kalitesi konusunda yapılan çalışmaların dünyadaki diğer bölgeler ile karşılaştırıldığında sayıca az olması, bölgemizde mevcut durumun tespit edilmesi için daha çok veri üretilmesine ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu çalışma sayesinde, endüstri, trafik ve yerleşimin yoğun olduğu Kocaeli kenti için iç ortam hava kirliliğine ilişkin mevcut durum değerlendirilebilecektir.

## 2. KAPSAM

Çalışma kapsamında, Kocaeli'de farklı bölgelerde (endüstriyel, kent merkezi, kent merkezi dışında bulunan yerleşim bölgesi) ve farklı mikroçevrelerde, 15 ev, 10 ofis ve 3 ilköğretim okulunun iç ve dış or-

taimlarında aktif ve pasif örnekleme teknikleri kullanılarak 14 element (Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb), UOB'ler, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışma 4 aşamadan oluşmaktadır:

Birinci aşamada örnekleme yapılacak mikroçevreler ve bu mikroçevrelerde (ev, okul, ofis) aktif ve pasif örnekleme noktaları belirlenmiştir. Örnekleme alanı olarak kent nüfusu, trafik ve endüstrinin yoğun olduğu İzmit Büyükşehir ve Körfez Belediyeleri sınırları içerisindeki bölge seçilmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen bölge, D-100 karayolu ve TEM otoyolunun etkisi altındadır. Bölgede Türkiye'nin %30'dan daha fazla ihtiyacını karşılayan Rafineri Tesisi, Petrokimya Kompleksi, Tehlikeli ve Klinik Atık Yakma Tesisi'nin yanı sıra çok sayıda tekstil (183 sanayi kuruluşu), makina (99), maden (88), metal (55), gıda (52), otomotiv (47), kağıt (42), kimya (37), ağaç (34), petrol (14), deri (4), kömür (4) ve diğer (398) sanayi kuruluşları yer almaktadır. Bu tesisler, uçucu organik bileşikler ve ağır metalleri içeren çok sayıda kirletici yaymaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, belirlenen mikroçevrelerin iç ve dış ortamlarına aktif ve pasif örnekleme yerleştirilmiş ve bu esnada örnekleme ile ilgili anket çalışması yapılmıştır.

Üçüncü aşama kirleticilerin aktif ve pasif ölçümünü içermektedir. Aktif örnekleme, belirlenen mikroçevrelerin genel kullanım alanında 24 saat süre ile otomatik ölçüm ve örnekleme cihazları ile yapılmıştır. Bu noktalarda UOB'ler, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> konsantrasyonları saatlik olarak ölçülmüştür. Bu sayede kirletici konsantrasyonlarının iç ortam havasında zamanla nasıl değiştiği belirlenmiştir. Partikül Madde örnekleme 24 saatlik sürelerle yapılmıştır. Ayrıca dış ortam havasında görülen kısa süreli değişimlerin iç ortam havasını nasıl etkilediği incelenmiştir. Pasif örnekleme yöntemiyle de UOB'ler, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> düzeyleri belirlenmiştir. Her bir örnekleme noktasında pasif örnekleme cihazları 24 saat süre ile tutularak kirletici konsantrasyonlarının örneklenen mekanlarda ne şekilde değiştiği belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 3. YÖNTEM

Bu çalışmada, uçucu organik bileşiklerden BTEX'ler (benzen, toluen, etilbenzen ve m,p,o-ksilen) ve inorganik gaz fazı kirleticilerin (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub>) iç ve dış ortam pasif örnekleme sonuçları ile iç ve dış ortamda aktif örnekleme yöntemi ile toplanan PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub> örneklerinde 14 elementin konsantrasyonları verilmiştir.

Örneklenen mikroçevrelerin iç ve dış ortamlarında Stack Filter Unit (SFU) düşük hacimli hava örnekleme cihazı kullanılarak yapılan aktif örnekleme ile günlük olarak toplanan PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub> örneklerinde element konsantrasyonları TAEK Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi laboratuvarlarında XRF ölçüm tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Aktif SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> örnekleme cihazları kullanılarak, Aktif UOB örnekleme cihazları ile iç ortamda online GC cihazı, dış ortamda ise kanisterler kullanılarak yapılmıştır.

Pasif örnekleme yöntemi ile toplanan iç ve dış ortam örneklerinin SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> analizleri iyon kromatografi tekniği ile Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında, O<sub>3</sub> analizleri spektrofotometrik yöntemle ve UOB analizleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında termal desorber ünitesi bulunan GC-FID ile günlük ortalama konsantrasyonlar şeklinde belirlenmiştir.

#### 3.1. Örnekleme Yapılan Mikroçevrelerin Seçimi

Çalışma kapsamında örnekleme yapılan farklı mikroçevrelerin belirlenmesinde aşağıda belirtilen kriterler gözönüne alınmıştır.

1. Örnekleme yapılacak yerlerin endüstriyel, kent merkezi ve kent merkezi dışında bulunan yerleşim bölgelerinde olması,
2. Seçilen bölgelerde bulunan mikroçevrelerin trafiğin yoğun olduğu bölgelerde ve uzağında olması,
3. Ev ve iş yerlerinde sigara kullanımı,

4. Örneklemenin yapılacağı yerlerde ısıtma amaçlı kullanılan yakıt türü (doğalgaz, fuel-oil, kömür),
5. Örneklemenin yapılacağı okulun tam gün eğitim vermesi,
6. Fotokopi makinası, printer vb. ofis malzemelerinin kullanıldığı ofisler olmasına dikkat edilmiştir.

### 3.2. İç Ortam Örneklemesi

Pasif örneklemeye çalışması okullarda 3 noktada (sınıf, idareci odası ve dış ortam), ofislerde 2 noktada (iç ortam ve dış ortam), evlerde ise 4 noktada (mutfak, oturma odası, yatak odası ve dış ortam) gerçekleştirilmiştir.

İç ortam pasif örneklemeye noktalarının belirlenmesinde gözönüne alınan noktalar ise;

1. Örnekleyicilerin dış kapıdan ve pencerelerden en az 2 metre uzağa yerleştirilmesi,
2. Örnekleyicilerin ölçüm yapılacak odanın duvarı boyunca veya köşelerine koymaktan kaçınılması ve mümkün olduğunca odanın ortasına yerleştirilmesi,
3. Örneklemeye yapılacak mekanlarda örnekleyicilerin kirletici kaynakların çok yakınında olmaması,
4. Örnekleyicilerin 1.5 metre yüksekliğinde T şeklinde bir düzeneğe asılması dikkate alınmıştır.

Aktif örnekleyiciler ise seçilen mekanların genel kullanım alanlarına yerleştirilmiştir.

### 3.3. Dış Ortam Örneklemesi

Dış ortamda aktif ve pasif örneklemeler belirlenen mikroçevrelerin dış ortamlarında tek bir noktada gerçekleştirilmiştir.

Dış ortamda yer seçimi yaparken dikkat edilen hususlar ise;

1. Örnekleyicilerin iç ortam için seçilen mikroçevrelerin yakınında korumalı bir alana konulmasına,
2. Ağaç veya çalılardan en az 1 metre uzağa konulmasına,
3. Taşıt yolundan en az 5 metre uzağına konulmasına,
4. Havalandırma çıkışlarından (kurutucu, hava şartlandırıcıları, v.b.) en az 5 metre uzağına yerleştirilmesine dikkat edilmiştir.

## 4. BULGULAR

NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> için; okullar, ofisler ve evlerde ölçülen iç ortam ve dış ortam pasif örneklemeye sonuçları, okul, ofis ve evler için ayrı ayrı ortalama konsantrasyonlar, bütün mikroçevrelerde yapılan örneklemelerin ortalaması (tüm data) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve iç-dış konsantrasyon oranları şeklinde Tablo 1’de, verilmektedir. BTEX’ler için okullar, ofisler ve evlerde iç ve dış ortam pasif örneklemeye sonuçları, okul, ofis ve evler için ayrı ayrı ortalama konsantrasyonlar, bütün mikroçevrelerde yapılan örneklemelerin ortalaması (tüm data) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve iç-dış konsantrasyon oranları şek-

**Tablo 1. Okullar, ofisler ve evlerde NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> pasif örneklemeye iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları, tüm veri ortalama konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları**

ORTAM		NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
İÇ ORTAM (n=61)	OKUL	24,42	4,62	9,51
	OFİS	41,03	4,18	4,53
	EV	40,33	2,57	4,58
	TÜM DATA	35,26	3,79	6,21
DIŞ ORTAM (n=28)	OKUL	25,63	36,69	56,07
	OFİS	38,11	21,34	40,19
	EV	28,11	14,16	36,87
	TÜM DATA	30,62	24,06	44,38
İÇ ORTAM / DIŞ ORTAM	OKUL	0,95	0,13	0,17
	OFİS	1,08	0,2	0,11
	EV	1,43	0,18	0,12
	TÜM DATA	1,15	0,16	0,14

linde Tablo 2’de verilmektedir. Tablo 1 ve 2’de yer alan iç ortama ilişkin sonuçlar örneklenen 15 ev, 10 ofis ve 3 okula ait değerleri içermektedir. Ksilenler (m-ksilen, p-ksilen ve o-ksilen) tablolarda toplamları alınarak verilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4’de ; okullar, ofisler ve evlerde ölçülen partikül madde (PM2.5

ve PM10) iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları, tüm veri ortalama konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve iç-dış konsantrasyon oranları verilmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4’de yer alan iç ortama ilişkin sonuçlar örneklenen mikroçevrelerin genel kullanım alanlarında toplam 28 noktaya ait değerleri içermektedir.

**Tablo 2. Okullar, ofisler ve evlerde UOB’lerin pasif örnekleme iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları, tüm veri ortalama konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları**

ORTAM		Benzen	Toluen	Etilbenzen	Ksilenler
İÇ ORTAM (n=61)	OKUL	7,5	55,05	11,11	15,44
	OFİS	11,95	53,98	11,13	25,17
	EV	8,88	44,19	13,07	16,5
	TÜM DATA	9,44	51,07	11,77	19,04
DIŞ ORTAM (n=28)	OKUL	4,77	18,15	6,1	12,42
	OFİS	7,83	33,73	5,57	16,12
	EV	10,03	30,72	4,49	19,65
	TÜM DATA	7,54	27,53	5,39	16,06
İÇ ORTAM / DIŞ ORTAM	OKUL	1,57	3,03	1,82	3,88
	OFİS	1,53	1,6	2	4,65
	EV	0,89	1,44	2,91	2,77
	TÜM DATA	1,25	1,85	2,18	1,18

**Tablo 3. Okullar, ofisler ve evlerde ölçülen partikül madde (PM2.5) iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları, tüm veri ortalama konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları**

	İÇ ORTAM(n=28)				DIŞ ORTAM(n=28)				İÇ ORTAM/ DIŞ ORTAM			
	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler
Mg	0,0206	–	0,0234	0,0196	0,0268	–	0,0332	0,0236	0,7687	–	0,7048	0,8305
Al	0,0644	0,0974	0,0737	0,0515	0,1182	0,1635	0,1337	0,0989	0,5442	0,5936	0,5418	0,536
Si	0,4184	0,6444	0,4643	0,3426	0,6956	0,9805	0,7359	0,6117	0,6073	0,657	0,6332	0,5801
S	0,315	0,2666	0,3186	0,3223	0,3965	0,3588	0,4259	0,3844	0,8058	0,7759	0,7487	0,8497
K	0,0989	0,0981	0,1005	0,098	0,1539	0,128	0,1432	0,1661	0,6578	0,788	0,7078	0,5984
Ca	0,5008	0,5892	0,5472	0,4521	0,8813	1,1149	0,8727	0,8404	0,569	0,5339	0,6284	0,5364
Ti	0,0336	0,0555	0,0332	0,0294	0,0561	0,0836	0,0579	0,0493	0,5906	0,6535	0,5774	0,5865
Cr	0,0027	0,0022	0,0023	0,003	0,0039	0,0028	0,0037	0,0043	0,6965	0,7944	0,6735	0,6923
Mn	0,0309	0,0272	0,0208	0,0369	0,0462	0,0531	0,0302	0,0561	0,5974	0,5004	0,6288	0,606
Fe	0,0744	0,0731	0,067	0,079	0,1628	0,1957	0,1275	0,1832	0,3895	0,467	0,424	0,3531
Ni	0,0022	–	0,0024	0,0022	0,0027	–	0,0031	0,0025	0,8229	–	0,7587	0,863
Cu	0,0178	0,0132	0,0198	0,0173	0,0229	0,0203	0,0252	0,022	0,7915	0,6543	0,8135	0,8044
Zn	0,0689	0,025	0,0212	0,1086	0,1218	0,0519	0,0411	0,1621	0,569	0,6489	0,5134	0,5814
Pb	0,0346	0,0259	0,0329	0,0376	0,054	0,0428	0,055	0,0555	0,6777	0,6628	0,6302	0,7124

– : belirlenemedi

Tablo 4. Okullar, ofisler ve evlerde ölçülen partikül madde (PM10) iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları, tüm veri ortalama konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ve iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları

	İÇ ORTAM ÖRNEKLEMESİ (n=28)				DIŞ ORTAM ÖRNEKLEMESİ (n=28)				İÇ ORTAM/ DIŞ ORTAM			
	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler	Tüm Data	Okullar	Ofisler	Evler
Mg	0,0173	–	0,0103	0,0196	0,0231	–	0,0227	0,0236	0,8393	–	0,8393	0,8305
Al	0,1977	0,3399	0,2389	0,1418	0,4888	0,5265	0,594	0,4112	0,4315	0,6838	0,4564	0,3644
Si	1,2898	2,6201	1,4508	0,9163	3,1302	3,7099	3,8573	2,5295	0,4258	0,7233	0,4037	0,381
S	0,3853	0,3482	0,4167	0,3718	0,588	0,6968	0,6677	0,5131	0,6915	0,6128	0,6398	0,7418
K	0,2494	0,3576	0,2696	0,2142	0,5261	0,482	0,6929	0,4238	0,5163	0,7324	0,4421	0,5226
Ca	1,9694	3,5872	2,2261	1,4747	5,7675	5,9751	8,138	4,1457	0,3638	0,5845	0,3154	0,3519
Ti	0,0994	0,1627	0,1157	0,076	0,2762	0,2726	0,4105	0,1874	0,4114	0,6037	0,3418	0,4193
Cr	0,0062	0,0057	0,0058	0,0065	0,0116	0,0085	0,0143	0,0104	0,5854	0,6641	0,4462	0,6624
Mn	0,0599	0,0881	0,0628	0,0519	0,1695	0,1253	0,2503	0,1245	0,3873	0,6978	0,3237	0,3662
Fe	0,242	0,5132	0,2799	0,1503	1,0286	0,7183	1,6357	0,6859	0,2801	0,648	0,2449	0,2222
Ni	0,0022	–	0,0024	0,002	0,0027	–	0,0031	0,0025	0,7942	–	0,7587	0,8164
Cu	0,0334	0,0396	0,0326	0,0327	0,0524	0,061	0,0463	0,0548	0,6638	0,6976	0,7267	0,6151
Zn	0,1116	0,0191	0,1623	0,1151	0,2269	0,0782	0,4116	0,1469	0,4119	0,5022	0,2668	0,4819
Pb	0,0597	0,0434	0,0741	0,0534	0,1029	0,0763	0,1394	0,0838	0,6875	0,5769	0,7155	0,6909

– : belirlenemedi

## SONUÇ

Elde edilen ölçüm sonuçları incelendiğinde en yüksek  $\text{NO}_2$  konsantrasyonları evlerde gözlenirken bunu ofisler ve okulların takip ettiği görülmektedir (Tablo 1). Azot dioksit için iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları okullar ve ofislerde 1 dolayında iken evlerde 1,5 olması, evlerde iç ortam  $\text{NO}_2$  kirletici kaynaklarının ofis ve okullara oranla daha baskın olduğunu işaret etmektedir. Örnekleme yapılan evlerin çoğunda mutfakta doğalgaz kullanılması, bu ortamlardaki  $\text{NO}_2$  kaynağı olarak doğalgaz yakılan ocakları işaret etmektedir.  $\text{SO}_2$  ve  $\text{O}_3$  için iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranlarının sırasıyla 0,18 ve 0,12 olması  $\text{SO}_2$  ve  $\text{O}_3$  kirliliğinin dış ortam kaynaklı olduğunu göstermektedir.

Tablo 2 incelendiğinde, BTEX konsantrasyonlarının ofislerde en yüksek değerlere ulaştığı bunu okullar ve evlerin takip ettiği görülmektedir. Örneklenen mikroçevrelerin dış ortamlarında ise birbirine yakın toplam BTEX konsantrasyonları elde edilmiştir. Örneklenen yerlerin trafiğe yakınlığı, farklı kirletici kaynaklarına sahip olması gibi birçok etkene bağlı olarak her bir UOB bileşiğinin katkısı her ortamda

farklılıklar göstermektedir. Ayrıca iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranlarının 2'nin üzerinde olması, dış ortam kirletici kaynaklarının iç ortam kirliliğine etkisinin olduğunu ancak iç ortamlardaki kirletici kaynaklarının tesbit edilen BTEX'lerde daha baskın olduğunu göstermektedir. Bu durum, kullanılan büro malzemeleri, boya ve kaplama malzemeleri, mobilyalar, pişirme faaliyetleri, sigara kullanımı gibi çok sayıda iç ortam kirletici kaynağının varlığı ile açıklanabilir. Aynı değerlendirme her bir bileşik için farklılıklar göstermektedir. İç Ortam / Dış Ortam oranlarında önemli sonuçlardan birisi de benzen için elde edilen konsantrasyon oranlarının incelenen diğer bileşiklere nazaran daha küçük değerlere sahip olmasıdır. Bu durum bir dış ortam kirletici kaynağı olarak trafiğin benzen için en önemli kaynaklardan birisi olduğunu göstermektedir. Özellikle trafik ve endüstrinin yoğun olduğu alanların dış ortamlarında elde edilen yüksek BTEX konsantrasyonları trafik ve endüstrinin BTEX konsantrasyonlarına üzerinde etkisini göstermektedir.

Tablo 3 incelendiğinde, iç ortam ve dış ortam partikül madde ( $\text{PM}_{2.5}$ ) sonuçları için hem major ele-

mentler hem de eser elementlerin benzer dağılım gösterdikleri görülmektedir. Dış ortamda yüksek konsantrasyonlarda bulunan major elementlerin iç ortam konsantrasyon değerlerinin de yüksek olması yaz mevsimi nedeniyle örneklenen çevrelerde pence-relerin uzun süre açık kalması ile ilişkilendirilebilir. Bu sayede sözü geçen toprak kaynaklı elementlerin iç ortamlara taşınımının yüksek olduğu görülmektedir. Kalsiyum, Si, S, Fe, K, Al gibi majör elementler arasındaki bu ilişki Zn, Pb, Cu, Cr ve Ni gibi eser elementler için de tesbit edilmiştir.

Örneklenen mekanların iç ve dış ortamlarında en yüksek PM2.5 konsantrasyonlarına sahip majör elementlerin sırasıyla Ca, Si ve S olurken, eser elementler için ise Zn elementi en yüksek ortalama konsantrasyona sahip iken bu elementi Pb elementi takip etmiştir.

PM2.5 iç ortam/dış ortam konsantrasyon oranları incelenen tüm mikroçevrelerde 1'den küçük değerlere sahiptir. Bu durum, incelenen tüm elementler için dış ortam kirletici kaynaklarının iç ortam kirletici kaynaklarına baskın olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, iç ortamdan elde edilen PM2.5 değerlerine dış ortamın büyük bir katkısının olduğu söylenebilir. Ancak böyle bir değerlendirmenin ardından, iç ortamda elde edilen sonuçlara iç ortamdaki olası kirletici kaynaklarının hiç etkisinin olmadığı, sadece dış ortamdan kaynaklanan kirleticilerin iç ortama taşınımı olduğu şeklinde de düşünülmemelidir.

Tablo 4 incelendiğinde PM2.5 sonuçlarına benzer şekilde iç ortam ve dış ortam PM10 sonuçları da major ve eser elementler bakımından benzer sıra ile dağıldığı bulunmuştur. PM10 sonuçlarına bakıldığında özellikle toprak kaynaklı elementlerin PM2.5'a nazaran daha çok kalın partiküllerde (PM10) toplandığı görülmektedir. PM2.5 sonuçlarında olduğu gibi PM10 sonuçlarında da iç ortam/dış ortam oranları incelenen tüm mikroçevrelerde 1'den küçük bulunmuştur. Bu durum incelenen tüm ağır metaller için dış ortam kirletici kaynaklarının iç ortam kirletici kaynaklarına baskın olduğunu ve iç ortamdan elde edilen partikül madde değerlerine dış ortamın büyük bir katkısının olduğunu göstermektedir.

Kocaeli'nin Türkiye'nin en önemli endüstri bölgelerinden biri olması, TEM otoyolu ve D-100 karayolunun etkisi altında bulunması bölgeyi hava kirliliği açısından risk altına almaktadır. Hava kirleticilerine maruziyetin neden olduğu sağlık riski değerlendirmeleri iç ortamdaki kirletici seviyelerinin detaylı olarak bilinmesini gerektirir. Bu çalışmanın tamamlanmasıyla, Kocaeli gibi yoğun kirliliğin olduğu bir sanayi bölgesinde yaşayan insanların maruz kaldıkları hava kirleticilerle ilgili sağlıklı ve kapsamlı bilgiler elde edilmesi beklenmektedir.

Hem elde edilen ilk örnekleme sonuçları hem de örneklenen mikroçevrelerde yapılan anket çalışmaları ışığında, hava kirliliği açısından sağlıklı bir kent planlaması yapılırken yerleşim alanlarının endüstriyel bölgelerden ve trafikten mümkün olduğunca uzak alanlarda konumlandırılması, rüzgar yönü, topografya, binaların perdeleme etkisi gibi faktörlerin dikkate alınması gerektiği, kapalı alanlarda ortam havasının sirkülasyonu ve temizlenmesini verimli şekilde sağlayabilecek havalandırma sistemlerinin tasarlanması gerektiğini söyleyebiliriz.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu (ÇAYDAG) tarafından desteklenen 104Y275 no'lu Araştırma Projesi kapsamında yapılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] US EPA, Indoor air quality: sick building syndrome (EPA/402-F-94-004), Indoor Air Group, Research Triangle Park, North Carolina, 1991.
- [2] WORLD HEALTH ORGANİZATİON (WHO), Health risk assesment of indoor air quality , (Mog/HSE/4.3/001, AC.01.03.01.AW), Ulaan baatar Mongolia, 2003-2004.
- [3] JONES A.P., Indoor air quality and health, Atmospheric Environment 33, 4535-4564, 1999.
- [4] HESTER, R.E., HARRİSON, R.M., Air Pollution and health, The Royal Society of Chemistry, UK, 1998.
- [5] ATSDR (Agency for Toxic Substances and Di-

- sease Registry), Toxicological profile information sheet, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles>, 2003.
- [6] POPE III C.A., Respiratory hospital admission associated with PM10 pollution in Utah, Salt Lake, and Cache Valleys. *Archives of Environmental Health*, 46(2), 90–97, 1991.
- [7] CHOUDHURY, A.H., GORDIAN, M.E., MORRIS, S.S., Associations between respiratory illness and PM10 air pollution. *Archives of Environmental Health*, 52, 113–117, 1997.
- [8] CARLTON, A.G., TURPIN, J.B., JOHNSON, W., BUCKLEY, B.T., SIMCIK, M., EISENREICH, S.J., Methods for characterization of personal aerosol exposures. *Aerosol Science and Technology*, 31, 66–80, 1999.
- [9] CLAYTON, C.A., PERRITT, R.L., PELLIZZARI, E.D., THOMAS, K.W., WITHMORE, R.W., Particle total exposure assessment methodology (PTEAM) study: distributions of aerosol and elemental concentrations in personal, indoor, and outdoor air samples in a southern California community. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 3, 227–250, 1993.
- [10] SEATON, A., MACNEE, W., DONALDSON, K., GODDEN, D., Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet*, 345, 176–178, 1995.
- [11] MONN, C.H., FUCHS, A., HOGGER, D., JUNKER, M., KOGELSCHATZ, D., ROTH, N., WANNER, H.U., Particulate matter less than 10  $\mu\text{m}$  (PM10) and fine particles less than 2.5  $\mu\text{m}$  (PM2.5): relationships between indoor, outdoor and personal concentrations. *The Science of the Total Environment*, 208, 15–21, 1997.
- [12] WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), Nitrogen Oxides, Environmental Health Criteria 188, Geneva, 1997.
- [13] RSHM, Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı, Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü. Hava Kirliliğine Genel Bakış, 60 sayfa, 2004.
- [14] MIRICI, A., TUTAR, Ü., İn hale Edilen Partikülün Solunum Sistemindeki Serüveni, *Toraks Dergisi*, Cilt 3, Ek 2, 3–6, 2002.
- [15] ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), Public Health assessment for Loudon County Hazardous air pollutants, Loudon County, Tennessee, 2006.