

OKUL BİNALARINDA İÇ ORTAM HAVASI PM KÜTLE KONSANTRASYONLARINA TRAFİK YÜKÜNÜN ETKİLERİ

S. Sinan KESKİN
Dağhan EKMEKÇİOĞLU

ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul'un Anadolu yakasında seçilen beş ilköğretim okulunda, iç ortam havası partikül madde (PM) kütle ve element konsantrasyon seviyeleri belirlenmiştir. Çalışmada özellikle ilköğretim okullarının seçilme nedeni, partikül madde seviyelerinin küçük çocuklarda daha yüksek sağlık riski yaratma potansiyeli ve ülkemizde ilkokullarda eğitim gören çocuk sayısının yüksekliğidir. Elde edilen sonuçlar, yüksek trafik yoğunluğuna sahip bir ana artere çok yakın konumda bulunan dört ilköğretim okulunda ölçülen PM₁₀ ve PM_{2.5} kütle konsantrasyon değerlerinin, Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlemiş olduğu sınır değerlerin oldukça üzerinde olduğunu göstermiştir. Partikül madde element konsantrasyonlarından elde edilen Zenginleşme Faktörü hesaplamaları, antimuan, brom, arsenik ve çinko elementlerinin, toprakta bulunan değerlere göre oldukça zenginleşmiş olduklarını göstermiştir. Bu da, okulların iç ortam havasında belirlenen bu elementlerin ağırlıklı olarak insan faaliyetlerinden kaynaklandığının bir göstergesidir.

Anahtar Kelimeler: İç ortam, Hava kirliliği, Trafik, PM₁₀, PM_{2.5}, Okullar, Çocuklar

ABSTRACT

Indoor air particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) mass and elemental concentration levels have been determined at five elementary schools in Istanbul, Turkey. Elementary schools have been chosen because of the higher health risk associated with the young children and the very high number of elementary school students currently getting educated in Turkey. The results indicated that PM₁₀ and PM_{2.5} mass concentration limits determined by the World Health Organization (WHO) were exceeded considerably in four schools located nearby to a major road with high traffic density. Enrichment Factor (EF) calculations obtained from the elemental composition results showed that antimony, bromine, arsenic, and zinc were enriched considerably with respect to Earth's crust as an indication of anthropogenic contribution to indoor air pollution levels in these schools.

Keywords: Indoor, Air pollution, Traffic, PM₁₀, PM_{2.5}, Schools, Children

1. GİRİŞ

İç ortam hava kirliliğinin olası olumsuz sağlık etkileri, iç ortam hava kalitesi ile ilgili çalışmaların son yıllarda artmasına yol açmıştır. Bu çalışmalar genel olarak, gaz kirleticilerin tür ve konsantrasyonları ile ince ve kaba partiküllerin kütle ve element konsantrasyonlarının belirlenmesini içermektedirler. Atmosfere kirletici salınan çok sayıda kaynak mevcuttur. Doğal kaynakların ana bileşenleri olarak, rüzgar etkisiyle atmosfere karışan toprak tozları, deniz yüzeylerinden atmosfere salınan gaz ve aerosoller ile volkanik kaynaklı gaz ve toz emisyonları sayılabilir. İnsan kaynaklı faaliyetlerden

kaynaklanan kirleticiler ağırlıklı olarak fosil yakıtların kullanımı ve endüstriyel faaliyetler sonucu atmosfere karışmaktadır.

Hava kirliliği çalışmalarını, dış ortam ve iç ortam odaklı olarak iki ana grupta toplamak mümkündür. Dış ve iç ortam kirliliğinin birlikte incelendiği birçok çalışmada, bu ortamlardaki kirlilik konsantrasyonlarının birbirleriyle ilişkisini gösteren yüksek korelasyonların mevcut olduğu görülmüştür [1, 2]. Bununla birlikte, dış ortam kirlilik seviyesinden bağımsız olarak, iç ortamda gözlenen kirliliğin ağırlıklı olarak o ortamdaki faaliyetlerden kaynaklandığını gösteren çalışmalar da mevcuttur [3, 4]. Dünya Sağlık Örgütü, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu ve Ülkemiz Çevre Bakanlığı mevzuatları, aerodinamik çapları 10 µm altında olan partiküller (PM₁₀) için 24 saatlik ortalama sınır değerleri sırasıyla 50 µg/m³, 150 µg/m³ ve 300 µg/m³ olarak, yıllık ortalama sınır değerler ise birinci ve üçüncü kurumlarca 25 µg/m³ ve 150 µg/m³ olarak belirlenmişlerdir. Yukarıda verilen ilk iki kurum, aerodinamik çapları 2.5 µm altında olan partiküller (PM_{2.5}) için 24 saatlik ortalama sınır değerleri sırasıyla 25 µg/m³ ve 35 µg/m³, yıllık ortalama sınır değerleri ise sırasıyla 10 µg/m³ ve 15 µg/m³ olarak belirlemişlerdir. Bu konuda henüz ülkemizde kabul edilmiş bir mevzuat bulunmamaktadır.

Dünya genelinde artan şehirleşme eğilimi, çok sayıda insanın yaşamlarının önemli bir kısmını iç ortamlarda geçirmesi sonucunu beraberinde getirmiştir. Bu sebeple, iç ortam hava kalitesi ve bunun insanların maruz kaldığı toplam hava kirliliği üzerindeki payı konularında yapılan çalışmalar son yıllarda hızlı bir artış göstermiştir [5-8]. Nefes yolu ile üst ve alt solunum sistemine giriş yapabilen aerodinamik çapları 10 µm altındaki partiküllerin, insanlar üzerinde sağlık sorunları yaratabilecekleri veya mevcut sorunları artıracabilecekleri uzun zamandır bilinen bir gerçektir. Son yıllarda yapılan epidemiolojik çalışmalar, havadaki PM₁₀ ve de özellikle PM_{2.5} konsantrasyonları ile olumsuz sağlık etkileri arasında ilişki olduğunu göstermiştir [9-13]. Her ne kadar partikül kirliliğine kısa süreli maruz kalmanın yaratacağı riskler oldukça küçük gözükse de, uzun süreli maruz kalmanın etkileri ciddi anlamda zararlı olabilir.

Çocuklar birkaç sebepten dolayı partikül madde kirliliğinden yetişkinlere kıyasla daha olumsuz olarak etkilenmektedirler. İlk sebep, çocukların yetişkinlerden daha hızlı solumaları sonucu, birim vücut ağırlığı başına daha fazla partikülün solunum sistemine girmesidir. İkinci sebep, oyun maksatlı olarak çocukların dışarıda geçirdikleri zamanın daha fazla olması ve boylarından dolayı yere yakınlıkları sebebiyle daha fazla dış ortam kaynaklı partikül kirliliğine maruz kalmalarıdır [14]. Bunlara ek olarak, okul çağındaki çocuklar sıkı temizlik prosedürlerinin uygulanmadığı okul binalarında yüksek seviyede iç ortam hava kirliliğine maruz kalacaklardır [5]. Partikül madde emisyon kaynaklarının çeşitliliği, partiküllerin hava ortamında geniş bir büyüklük aralığında bulunabilmesi sonucunu doğurur. Normal koşullarda, yalnızca büyüklükleri 5 µm altında olan partiküller burun yolundan ciğerlere ulaşabilirken, çocukların ağızdan nefes alma eğilimleri sebebiyle hem PM_{2.5} ve hem de PM₁₀ partikülleri çocuklarda sağlık riski yaratabilmektedirler [10,11]. Yüksek partikül konsantrasyonlarına kısa süreli maruz kalmanın yaratabileceği akut etkiler olarak, göz, kulak, burun, boğaz ve ciğerlerde tahriş sayılabilir. Bunların yanında, öksürük, hırıltı, nefes darlığı gibi solunum sistemi semptomları da görülebilir. Semptomlar kişiden kişiye farklılık gösterirler ve kirleticilerin içeriğine bağlıdır [12, 13]. Genellikle, partikül kirliliğine maruz kalma durumu sona erdiğinde, bahsedilen semptomlar ortadan kalkmaktadır. Her ne kadar, kısa süreli maruz kalma durumunun uzun süreli sağlık etkilerine yol açması pek olası değilse de, kronik rahatsızlığa sahip çocuklar artan semptomlarla karşılaşabilirler. Örneğin, astım rahatsızlığı bulunan çocuklar yüksek partikül konsantrasyonlarına maruz kaldıklarında astım nöbetleri yaşayabilmektedirler. Yapılan çalışmalar, artan hava kirliliği ve yoğun otoyollara yakınlığın, astım sebebiyle hastanelik olunan vaka sayısını artırdığını göstermiştir [12]. Kalp rahatsızlıklarına sahip çocuklar yüksek partikül konsantrasyonlarına maruz kaldıklarında göğüs ağrısı ve nefes darlığı problemleri yaşayabilirler. Hamilelik sırasında hava kirliliğine maruz kalma ile erken doğum, düşük doğum kilosu, ani bebek ölümü sendromu ve kalp problemleri arasında ilişki bulunmuştur [14]. Genel olarak, hava kirliliği ve sağlık etkileri konusunda endüstrileşmiş ülkelerde yapılan çalışmalar, partikül kirlilik seviyelerindeki küçük değişimlerin bile, toplumdaki ölüm [10, 15] ve hastalık [9, 16] oranlarını artırdığına işaret etmektedir.

2. DENEYSEL

2.1. Saha Özellikleri

İç ortam hava örneklemeleri için dördü kamuya, biri özel sektöre ait beş ilköğretim okulu seçilmiştir. Tüm okullar İstanbul'un Anadolu yakasında seçilmiştir. Kamuya ait okullar, Kadıköy ilçesine bağlı kalabalık bir bölge olan Göztepe ilçesinden geçen ve günün hemen her saatinde çok yoğun bir trafiğe sahip olan Fahrettin Kerim Gökay Caddesi'nin etrafında yer almaktadırlar. Seçilen özel okul ise, yine Kadıköy ilçesine bağlı ancak daha seyrek yerleşim yoğunluğuna sahip Kayışdağı semtinde bulunan, seyrek trafiğin olduğu bir cadde kenarında yer almaktadır. Tüm okulların çalışma saatleri 08:00 ile 18:00 saatleri arasında gerçekleşmiş olup, sınıflarda öğretim esnasında tahta ve tebeşir kullanılmıştır.

Faik Reşit Unat (FRU) İlköğretim Okulu Ziverbey Mahallesinde, Fahrettin Kerim Gökay Caddesi üzerinde yer almaktadır. Bu okulda partikül madde örnekleme sistemi giriş koridoruna yerleştirilmiştir. Bu koridor her iki ucundan girişlere sahip olup, 08:00 ile 18:00 saatleri arasında açık tutulan bu girişler sebebiyle yüksek bir hava sirkülasyonuna maruz kalmıştır. Yüksek bir öğrenci nüfusuna sahip olan bu okulda ders araları esnasında koridorun kullanımı oldukça yoğun olmuştur. Yer temizliği, her ders arası sonrasına denk gelecek şekilde en fazla bir kez olarak gerçekleştirilmiştir.

Mustafa Aykın (MA) İlköğretim Okulu, Fahrettin Kerim Gökay Caddesi'ne yakın bir mesafede olan, trafik yoğunluğunun daha düşük olduğu Gazi Muhtar Paşa Caddesi üzerinde yer almaktadır. Bu okulda partikül örnekleme sistemi, dört sınıfın açıldığı birinci kat koridorunda gerçekleştirilmiştir. Bu koridorda dikkate değer bir hava sirkülasyonu mevcut olmayıp, sınıfların camlarının açılmasıyla gerçekleştirilen havalandırma işlemi hava girişinin ana rotası olmuştur. Koridorda yer temizliği hem ders saatleri esnasında, hem de ders aralarında gerçekleştirilmiştir.

Melahat Şefizade (MŞ) İlköğretim Okulu, Fahrettin Kerim Gökay Caddesine ikinci paralel olan Şefizade Caddesi üzerinde bulunmaktadır. Her ne kadar bu cadde üzerinde yoğun bir trafik görülmemiş ise de, bu okulun Fahrettin Kerim Gökay Caddesi'ndeki yoğun trafiğin yarattığı hava kirliliğinden etkilenmiş olması büyük olasılıktır. Partikül örnekleme sistemi giriş kattaki uzun ve geniş bir koridora yerleştirilmiştir. Bu koridora çok sayıda sınıf, ofis ve tuvaletler bağlantılıdır. Giriş kapısı ve pencerelerin açık tutulması sebebiyle, bu koridordaki hava sirkülasyonu oldukça kuvvetli olmuştur. Yer temizliği, her ders arası sonrasına denk gelecek şekilde en fazla bir kez olarak gerçekleştirilmiştir.

Öğretmen Harun Reşit (ÖHR) İlköğretim Okulu, Göztepe Merkez Mahallesinde, Fahrettin Kerim Gökay Caddesi üzerinde yer almaktadır. Okuldan 100 metre mesafede bir benzin istasyonu mevcuttur. Partikül örnekleme sistemi birinci katta bulunan bir koridora yerleştirilmiştir. Bu koridorda dikkate değer bir hava sirkülasyonu mevcut olmayıp, sınıfların camlarının açılmasıyla gerçekleştirilen havalandırma işlemi hava girişinin ana rotası olmuştur. Yer temizliği, her ders arası sonrasına denk gelecek şekilde en fazla bir kez olarak gerçekleştirilmiştir.

Fenerbahçe Spor Kulübü (FSK) Özel İlköğretim Okulu çok seyrek trafiğin bulunduğu bir cadde üzerinde yer almaktadır. Bu okulda partikül örnekleme sistemi bir sınıfa yerleştirilmiştir. Bu okulun öğrenci nüfus yoğunluğu diğer okullara göre oldukça düşük olup, yer temizliği de diğer okullardan daha sık olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Örnekleme ve Analiz

İç ortam havası PM₁₀ ve PM_{2.5} örnekleri kamuya ait dört ilköğretim okulunda 27.04.2004 ile 30.05.2004 tarihleri arasında toplanmıştır. Özel ilköğretim okulunda PM₁₀, PM_{2.5} ve toplam asılı partikül (TSP) örneklemeleri ise 19.03.2005 ile 03.04.2005 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Tüm okullarda iş günü ve hafta sonu örneklemeleri ayrı olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm hafta içi örneklemeleri iş saatlerinde (10:00–18:00) gerçekleştirilmiştir. PM₁₀ ve PM_{2.5} örneklerinin ortalama örnekleme süreleri, hafta içinde sırasıyla 17 saat ve 19 saat, hafta sonunda ise 30 saat ve 25 saat olmuştur.

Örnekler, batarya ile çalışan programlanabilir bir portatif hava örnekleyici (Airmetrics Minivol®) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihazın hava emme debi değeri 5 l/dk (\pm %5 belirsizlik) olarak ayarlanmıştır. Bu cihaza hava girişi, partikül büyüklüğü sınırlayıcı PM₁₀ ve PM_{2.5} impaktörlere sahip bir emme kafası üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yalnızca PM₁₀ impaktörün kafaya yerleştirilmesiyle PM₁₀ örneklemeleri, her iki impaktörün aynı anda kullanımıyla da PM_{2.5} örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde düşük debili bir örnekleyicinin kullanılması, örneklemeler sırasında okullardaki eğitim sürecine zarar verecek gürültü seviyelerinden kaçınmak açısından bir zorunluluk olmuştur.

Partikül örnekleri, çapı 47 mm ve gözenek büyüklüğü 2 µm olan Teflon® filtreler (Gelman&Sciences®) üzerinde toplanmıştır. Boş filtreler tartım öncesi sıcaklık ve nem kontrollü bir temiz odada şartlandırılmışlardır. Bu şartlandırma esnasında filtreler, daha önceden asit ile temizlenmiş ve etiketlenmiş petri kaplar içinde, 100 sınıfı HEPA filtreli bir laminer akışlı tezgah üzerinde bekletilmişlerdir. Petri kaplar kullanım öncesi, deiyonize su ve %65'lik nitrik asit ile hazırlanmış (4:1 hacim oranı) banyoda 24 saat bekletilmişler, ardından deiyonize su ile durulanmışlar ve 100 sınıfı HEPA filtreli laminer akışlı tezgah üzerinde kurutulmuşlardır. Filtreler 24 saatlik ve 48 saatlik şartlandırmalar sonrası ikişer kez tartılmışlardır. Elde edilen çok yakın değerler, şartlandırmanın uygun yapıldığını göstermiştir. Partikül örneklemeleri sonrası filtreler üzerinde aynı şartlandırma ve tartım işlemleri uygulanmıştır. Bu aşamaların tamamında, toz tutmayan laboratuvar önlüğü, bone, maske ve pudrasız lateks eldivenler kullanılarak temiz oda kurallarına özen gösterilmiş, filtrelerin kontamine olmasından kaçınılmıştır. Filtrelerin tartımı, 1 µg hassasiyete ve \pm 2 µg belirsizliğe sahip bir elektronik tartım cihazı (Mettler Toledo® MX5) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklemeye filtreleri üzerinde toplanan net partikül kütle miktarları boş ve dolu filtre ağırlıklarının farkından elde edilmiş, bu değerler, filtreler üzerinden geçen ve kaydedilen hava hacimlerine oranlanarak PM kütle konsantrasyonları gravimetrik olarak hesaplanmıştır.

Örneklemeler sırasında çocukların olası müdahalelerini engellemek için, örneklemeye cihazı tahta iskelete sahip (E-60, D-60, Y-80 cm) ve büyük gözenekli (1 cm x 1 cm) plastik çit ile çevrelenmiş bir kafese yerleştirilmiştir. Kafes malzemelerinin seçiminde örnekler üzerinde bir kontaminasyon yaratmamak için metal kullanımından kaçınılmıştır. Kafesin yüksekliği, öğrencilerin ortalama boyu düşünülerek, örneklemeye cihazının emme kafasının hava girişi yerden 120 cm yükseklikte olacak şekilde ayarlanmıştır.

Kamuya ait dört okuldan toplanan PM örneklerinin element konsantrasyon ölçümleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun Küçükçekmece Nükleer Araştırma Merkezi'nde Enstrümantal Nötron Aktivasyon Analizi (INAA) tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan ışınlama sistemindeki teknik sınırlamalar sebebiyle, çok kısa yarı ömürlü (dakika ile birkaç saat arası) elementlerin belirlenmesi mümkün olamamıştır. Kısa ve uzun yarı ömürlü elementlerin belirlenebilmesi için, örnekler üzerinde iki ayrı gama spektroskopi analizi gerçekleştirilmiştir. Element konsantrasyon ölçümleri, analizlerde Standart Referans Madde (SRM) olarak Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsünden (NIST) temin edilmiş kömür uçuğu külü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm PM örnekleri ve SRM örneği nükleer reaktörde aynı anda ve konumda ışınlanmışlardır.

Seçilen özel ilköğretim okulunda toplanan örneklerdeki element konsantrasyonlarının, genel olarak PM kütle miktarlarının düşük olmasından dolayı, Küçükçekmece Nükleer Araştırma Merkezi'ndeki reaktör nötron akı seviyeleri ile belirlenmesi mümkün olmamıştır. Bu sebeple, taramalı elektron mikroskobu kullanılarak örnekler üzerinde seçilen sınırlı sayıda partikülün içerdikleri yaklaşık element yüzdeleri, mikroskop sistemine entegre bir enerji ayırmalı x-ışını sistemi ile belirlenmiştir.

SONUÇ

3.1. PM Kütle Konsantrasyonları

Tüm örneklerdeki iç ortam havası PM kütle konsantrasyonları gravimetrik olarak belirlenmiştir. Bu maksatla, her bir filtre üzerinde toplanmış kütle belirlenmiş ve filtre üzerinden geçmiş olan toplam hava hacmine oranı hesaplanmıştır. Tartım ve debi ölçümlerinden kaynaklanan belirsizlikler hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Okullarda gerçekleştirilen örneklemelerin detayları Tablo 1. de

verilmiştir. Tüm hafta içi örnekleri, öğrencilerin okulda buldukları saatler göz önüne alınarak, 10:00 ile 18:00 saatleri arasında toplanmıştır.

Kamuya ait dört okulda, eğitim ve öğretimin gerçekleştiği hafta içi günlerde iç ortam havası PM₁₀ kütle konsantrasyonları ortalamasının 221.5±11.1 µg/m³ olduğu ve değerlerin 132.1±6.6 ile 289.6±14.5 µg/m³ arasında değiştiği, PM_{2.5} kütle konsantrasyonları ortalamasının 70.9±3.6 µg/m³ olduğu ve 45.6±2.3 ile 95.2±4.8 µg/m³ arasında değiştiği görülmüştür. Özel okulda yapılan ölçümlerde ise, hafta içi değerler PM₁₀, PM_{2.5} ve TSP örnekleri için sırası ile 83.0 ± 4.2, 13.3 ± 0.7 ve 190.8 ± 9.5 µg/m³, olarak bulunmuştur. Hafta içi ölçümlerdeki ortalama PM₁₀ kütle konsantrasyonlarının ortalama PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarına oranları FRU, MA, MŞ, ÖHR ve FSK ilköğretim okullarında sırası ile 2.9, 2.9, 5.7, 2.9 ve 6.2 olmuştur.

Çalışmada kullanılan prosedürel kontrol filtresinin analizi, örnekleme ve analiz aşamalarında ölçülebilir bir kontaminasyon problemi yaşanmadığını göstermiştir. Ayrıca, kontrol amaçlı olarak seçilen PM₁₀, PM_{2.5} ve TSP örneklerinde gerçekleştirilen taramalı elektron mikroskobu analizleri, örnekleme sisteminin partikülleri büyüklüklerine göre ayırma performansının düzgün olduğunu göstermiştir.

3.2. PM Element Konsantrasyonları

Farklı türden kaynakların emisyonları, kendilerinin karakteristiği olan bir element kompozisyonuna sahiptirler. Dolayısıyla, hava kirliliği araştırmalarında örneklerin element kompozisyonunun belirlenmesi hem kaynak tespiti ve hem de bu elementlere bağlı sağlık risklerinin tayininde önemlidir.

Tablo 1. Beş İlköğretim Okulunda Örnek Toplama Detayları

Filtre No	Tarih [gün.ay.yıl]	Okul	Örnekleme Günü	Süre [h]	Toplam Hava Hacmi [m ³]	PM Çapı [µm]	Toplam Kütle [mg]	Kütle Konsantrasyonu [µg/m ³]
1	27.04.2004	FRU	Hafta içi	8	2.4 ± 0.12	10	0.548	228.3 ± 11.5
2	28.04.2004	FRU	Hafta içi	8	2.4 ± 0.12	2.5	0.228	95.2 ± 4.8
3	29.04.2004	FRU	Hafta içi	8	2.4 ± 0.12	10	0.695	289.6 ± 14.5
4	30.04.2004	FRU	Hafta içi	8	2.4 ± 0.12	2.5	0.224	93.1 ± 4.7
5	01-02.05.2004	FRU	Hafta sonu	24	7.2 ± 0.36	2.5	0.401	55.7 ± 2.8
6	03-04-05.05.2004	FRU	Hafta içi	20.5	6.2 ± 0.31	2.5	0.499	81.1 ± 4.1
7	06-07-10.05.2004	MA	Hafta içi	22	6.6 ± 0.33	2.5	0.406	61.4 ± 3.1
8	08-09.05.2004	MA	Hafta sonu	24	7.2 ± 0.36	10	0.495	68.8 ± 3.5
9	11-12.05.2004	MA	Hafta içi	16	4.8 ± 0.24	10	0.868	180.7 ± 9.1
10	15-16.05.2004	MŞ	Hafta sonu	24	7.2 ± 0.36	2.5	0.487	67.6 ± 3.9
11	17-18.05.2004	MŞ	Hafta içi	16	4.8 ± 0.24	10	1.330	277.0 ± 13.9
12	20-21.05.2004	MŞ	Hafta içi	16	4.8 ± 0.24	2.5	0.235	48.9 ± 2.5
13	24-25-26.05.2004	ÖHR	Hafta içi	18	5.4 ± 0.27	2.5	0.246	45.6 ± 2.3
14	27-28.05.2004	ÖHR	Hafta içi	15.3	4.6 ± 0.23	10	0.605	132.1 ± 6.6

15 29-30.05.2004 ÖHR Hafta sonu 24 7.2 ± 0.36 2.5 0.235 32.6 ± 1.7

Tablo 1. (Devam)

Filtre No	Tarih	Okul	Örnekleme Günü	Süre	Toplam Hava Hacmi	PM Çapı	Toplam Kütle	Kütle Konsantrasyonu
17	19-20.03.2005 26-27.03.2005	FSK	Hafta sonu	30	9.0 ± 0.45	2.5	0.312	34.7 ± 1.8
18	19-20.03.2005 26-27.03.2005	FSK	Hafta sonu	35.3	10.6 ± 0.53	10	0.295	27.9 ± 1.4
19	21-25.03.2005	FSK	Hafta içi	38.1	11.4 ± 0.57	2.5	0.152	13.3 ± 0.7
20	21-25.03.2005	FSK	Hafta içi	41.8	12.5 ± 0.63	10	1.040	83.0 ± 4.2
21	28.03-01.04.2005	FSK	Hafta içi	32	9.6 ± 0.48	TSP	1.832	190.8 ± 9.5
22	02-03.04.2005	FSK	Hafta sonu	16	4.8 ± 0.24	TSP	0.297	61.9 ± 3.1

FRU: Faik Reşit Unat, MA: Mustafa Aykın, MS: Melahat Şefizade, ÖHR: Öğretmen Harun Reşit, FSK: Fenerbahçe Spor Kulübü

Tüm hafta içi örnekleri 10:00 – 18:00 saatleri arasında toplanmıştır. Filtre no 16 prosedürel boş filtre olarak kullanılmıştır

Bu çalışmada PM örneklerinin element kompozisyonunu belirlemek için analitik metot olarak Enstrümantal Nötron Aktivasyon Analizi (INAA) kullanılmıştır. Analizler bir Standart Referans Madde (SRM) olan NIST Kömür Uçucu Külü ile örneklerin karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Filtrelerde toplanan ortalama PM₁₀ ve PM_{2.5} kütleleri sırası ile 0.757 mg ve 0.329 mg olduğu için, örneklerin içerdiği çoğu element, çalışılan analiz koşullarında algılama sınırlarının altında kalmıştır. Yalnızca Na, K, Sc, Zn, As, Br, Sb ve La elementleri, en azından örneklerin bazılarında, algılama sınırlarının üzerinde değerler vermiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Trafiğe yakın dört okulda PM element konsantrasyonları [ng/m³]

Filtre No	Okul	PM Çapı [µm]	Na	K	Sc	Zn	As	Br	Sb	La
1	FRU	10	3280 ± 230	UDL	UDL	UDL	UDL	28 ± 7	UDL	UDL
2	FRU	2.5	3360 ± 40	UDL	0.1 ± 0.1	180 ± 130	UDL	38 ± 21	UDL	UDL
3	FRU	10	3300 ± 230	UDL	UDL	UDL	4.7 ± 2.4	23 ± 5	UDL	UDL
4	FRU	2.5	3640 ± 260	UDL	UDL	UDL	UDL	15 ± 4	UDL	UDL
5	FRU	2.5	1240 ± 90	UDL	UDL	UDL	UDL	11 ± 3	UDL	UDL
6	FRU	2.5	1020 ± 10	UDL	UDL	UDL	0.2 ± 0.1	10 ± 6	UDL	UDL
7	MA	2.5	1550 ± 110	690 ± 480	UDL	UDL	UDL	11 ± 4	UDL	UDL
8	MA	10	1240 ± 90	UDL	UDL	UDL	UDL	8 ± 2	UDL	UDL
9	MA	10	780 ± 60	1290 ± 400	0.9 ± 0.7	130 ± 60	2.3 ± 0.8	12 ± 3	9.8 ± 3.8	1.7 ± 0.6
10	MŞ	2.5	340 ± 30	290 ± 190	0.2 ± 0.1	UDL	1.3 ± 0.5	8 ± 2	UDL	UDL
11	MŞ	10	570 ± 30	780 ± 190	0.2 ± 0.1	65 ± 40	1.7 ± 0.8	6 ± 1	UDL	0.7 ± 0.2
12	MŞ	2.5	150 ± 10	UDL	UDL	190 ± 80	1.3 ± 0.7	4 ± 1	6.3 ± 3.3	UDL
13	ÖHR	2.5	230 ± 20	UDL	UDL	80 ± 30	UDL	7 ± 1	UDL	0.6 ± 0.3
14	ÖHR	10	1550 ± 80	1640 ± 290	4.4 ± 0.1	60 ± 60	3.3 ± 1.2	13 ± 1	16.4 ± 4.6	3.7 ± 0.9
15	ÖHR	2.5	110 ± 10	UDL	UDL	UDL	0.7 ± 0.4	7 ± 2	UDL	0.3 ± 0.2

FRU: Faik Reşit Unat, MA: Mustafa Aykın, MŞ: Melahat Şefizade, ÖHR: Öğretmen Harun Reşit UDL: Dedeksiyon sınırının altında

Örneklerde ölçülen element konsantrasyonlarının, yeryüzü toprağında ölçülmüş olan ortalama element konsantrasyonları [17] ile karşılaştırılmasının bir yolu olan Zenginleşme Faktörü (EF) yaklaşımına göre elde edilen veriler Tablo 3. de verilmiştir. Bu yaklaşımda, $EF_i = (i/j)_{PM} / (i/j)_{toprak}$ olarak formülize edilir ve burada EF_i bir i elementinin zenginleşme faktörü, j ise, toprak için seçilen bir referans elementtir. Formülde, $(i/j)_{PM}$ terimi PM örneği içindeki i ve j elementlerinin oranı, $(i/j)_{toprak}$ ise bu elementlerin referans toprak içindeki oranlarıdır.

Toprak için referans element olarak, özel durumlar dışında sadece toprak kaynaklı oldukları için, Al veya Sc elementlerinin kullanımı daha uygun olsa da, bu çalışmada Al ölçümlerinin yapılamamış olması ve Sc ölçümlerinin yüksek belirsizliğe sahip olmasından dolayı, referans element olarak La kullanılmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü bölgede toprak dışında ciddi bir La kaynağı söz konusu olmadığından, bunun makul bir seçim olduğu düşünülmektedir. Tablo 3. deki sonuçlar, 1 değerinden çok daha yüksek EF değerlerine sahip olan Zn, As, Br ve Sb elementlerinin ana kaynağının toprak tozları olmadığı ve bunun dışında ciddi kaynak veya kaynaklarının olması gerektiğine işaret etmektedir.

Tablo 3. Yeryüzü Toprak Değerlerine Göre Zenginleşme Faktörü (EF) Değerleri

Filtre No	Okul	Örnekleme Günü	PM Çapı [µm]	Na	K	Sc	Zn	As	Br	Sb	La
9	MA	Hafta içi	10	0,6	1,1	0,7	33	23	85	865	1
11	MŞ	Hafta içi	10	1,0	1,6	0,4	40	40	103	NA	1
13	ÖHR	Hafta içi	2.5	0,5	NA	NA	57	NA	140	NA	1
14	ÖHR	Hafta içi	10	0,5	0,6	1,6	7	15	42	665	1
15	ÖHR	Hafta sonu	2.5	0,5	NA	NA	NA	39	280	NA	1

MA: Mustafa Aykın, MŞ: Melahat Şefizade, ÖHR: Öğretmen Harun Reşit
NA: Mevcut değil

Amerika Birleşik Devletlerinin Baltimore şehrinde, iç ortam havasında maruz kalınan miktarların belirlenmesi için gerçekleştirilen bir çalışmada, $PM_{2.5}$ örneklerinden ayrıştırılması mümkün olan metallerin çoğunun suda çözünebilir formda olduğu ve dolayısı ile solunum yoluyla vücudun biyolojik çevrimine girme olasılıklarının yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmıştır [18]. Bu sonuç ve Zn, As, Br ve Sb elementlerinin büyük oranda doğal emisyon kaynakları dışındaki kaynaklardan okulların iç ortam havasına dahil olduğu bulgusu göz önüne alındığında, PM sebebiyle ilköğretim çağındaki küçük çocuklarda olumsuz sağlık etkileri potansiyelinin mevcut olduğu söylenebilir.

FSK İlköğretim Okulu'ndan toplanan örneklerdeki ondört adet partikülün SEM-EDS incelenmesinden elde edilen element yüzde oranları Tablo 4. de verilmiştir. Sonuçlar, Al ve Si oranları yüksek sekiz partikülün toprak kaynaklı, Ca oranı yüksek dört partikülün tebeşir tozu kaynaklı, Na ve Cl oranı yüksek iki partikülün ise deniz tuzu kaynaklı olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 4. FSK İlköğretim Okulu'ndan toplanan PM örneklerinde seçilen bazı tanelerin element analiz sonuçları [% kütle]

Filtre No	Partikül No	PM	O	Na	Cl	Mg	Ca	K	S	Al	Si	Fe	Mn	Ti	Cu	Toplam
19	1	2.5	62.46	6.34	UDL	UDL	1.89	1.00	1.70	7.71	17.30	UDL	UDL	UDL	1.60	100
	2	2.5	62.54	4.22	1.54	UDL	UDL	2.00	UDL	2.57	27.13	UDL	UDL	UDL	UDL	100
	3	2.5	64.92	6.76	4.59	UDL	3.57	2.28	UDL	5.51	2.85	2.78	UDL	UDL	6.74	100
	4	2.5	62.93	1.33	UDL	UDL	25.51	UDL	UDL	1.43	2.75	4.23	UDL	UDL	1.81	100
20	5	10	35.51	2.04	3.44	0.87	7.62	1.13	UDL	38.58	8.33	UDL	UDL	UDL	2.49	100
	6	10	59.88	2.11	1.70	0.68	31.19	UDL	UDL	3.05	1.39	UDL	UDL	UDL	UDL	100
	7	10	24.61	UDL	UDL	UDL	1.51	UDL	UDL	67.67	1.97	UDL	UDL	UDL	4.24	100
	8	10	18.90	UDL	1.97	UDL	UDL	UDL	UDL	71.43	2.32	UDL	UDL	UDL	5.38	100
	9	10	49.19	UDL	UDL	UDL	0.53	UDL	UDL	35.10	11.92	1.44	UDL	UDL	1.82	100
21	10	TSP	57.32	2.75	1.35	1.67	18.89	0.90	1.04	5.23	8.86	1.98	UDL	UDL	UDL	100
	11	TSP	38.74	2.18	3.56	UDL	7.92	1.92	UDL	36.69	5.61	UDL	UDL	UDL	3.37	100
	12	TSP	64.93	0.65	0.52	0.62	27.90	0.26	UDL	2.22	2.41	0.50	UDL	UDL	UDL	100
	13	TSP	18.75	UDL	UDL	UDL	1.71	UDL	UDL	65.99	2.22	1.67	2.05	UDL	7.60	100
	14	TSP	32.65	25.59	27.19	UDL	3.03	4.18	UDL	2.54	3.36	0.65	UDL	0.81	UDL	100

FSK: Fenerbahçe Spor Kulübü

UDL: Dedeksiyon sınırının altındadır

4. TARTIŞMA

Trafik yoğunluğunun yüksek olduğu bir bölgede seçilen dört okul ve trafiğin oldukça sınırlı olduğu bir bölgede seçilen bir okul olmak üzere toplam beş okulda, iç ortam havasında PM örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. İlk dört okulda ölçülen ortalama hafta içi PM_{10} ve $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyonlarının son okulda ölçülen ortalama değerlere oranları sırası ile 2.7 ± 0.3 ve 5.3 ± 0.6 olarak bulunmuştur. Gerçekleştirilen örnekleme sayılarının sınırlı olmasına rağmen, bu yüksek oranların genel durumu temsil ettiği ve trafik yükünün bu sonuçtaki temel faktör olduğu düşünülmektedir. Buna ek olarak, kamu okullarındaki yüksek öğrenci yoğunluğu ve de göreceli olarak daha seyrek gerçekleştirilen yer temizliği faaliyetleri diğer olası faktörler olarak sayılabilir.

Yüksek trafik yoğunluğu özellikle dizel araç egzoz emisyonları, fren balata ve aksamlarındaki aşınmalar ile lastik aşınmalarından kaynaklanan PM emisyonlarının artmasına yol açmaktadır. Ayrıca, okulların etrafındaki inşaat faaliyetleri, günlük iş faaliyetleri gibi etkenlerle oluşan ve ardından trafik emisyonları ile birleşip yol tozu adı verilen yapıyı oluşturan tozların yerden havalanıp havaya karışması yüksek trafik yoğunluğu sebebiyle artmaktadır. Hollanda'nın Amsterdam şehrinde iç ve dış ortam hava kirliliği ile ilgili bir çalışmada, dış ortamdaki trafik kaynaklı kirliliğin evlerin iç ortam hava kirliliğini artırdığı sonucu ortaya çıkmıştır [19]. Yine Amsterdam'da yapılan bir başka çalışmada, yoğun trafiğe yakın yaşayan çocukların daha sakin bölgelerde yaşayan çocuklara kıyasla is partiküllerine çok daha fazla maruz kaldıkları ortaya konmuştur [20].

Bu çalışmada yer alan kamu okullarındaki örneklemelerin yapıldığı dönemde, İstanbul Belediye'sinin Kadıköy İlçesi için günlük olarak ilan ettiği dış ortam havası PM_{10} kütle konsantrasyon ölçüm değerleri $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasındadır. Çalışmada elde edilen iç ortam PM kütle konsantrasyonları ile Belediye'nin ilan etmiş olduğu dış ortam PM kütle konsantrasyonları arasında bir ilişki kurulamamıştır.

İç ortam değerleri dış ortam değerlerinden iki ile on kat arasında yüksektir. Bu sonuç iki etkene dayanabilir: Birincisi, belirli istasyonlarda ölçülen dış ortam PM değerlerinin, yüksek trafik yoğunluğuna sahip caddelerin etrafındaki dış ortam PM konsantrasyonlarını temsil etmemesi olasılığı çok yüksektir. İkincisi ise, yetersiz bina içi havalandırması ve okul içindeki öğrencilerin gün boyunca süren aktiviteleri sebebiyle, öğrencilerin ayakta kalması ile bina içine taşıdıkları tozların yerden tekrar havaya karışması olasılığının yüksekliğidir. Çin'in Pekin şehrinde üniversite dersliklerinde gerçekleştirilen benzer bir çalışmada, ortalama PM_{10} ve $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyonları sırası ile $133.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $44.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur [21]. Yine aynı çalışmada, giriş katta bulunan ve trafik emisyonlarından ciddi oranda etkilenen bir derslikte ölçülen PM_{10} ve $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyonları sırası ile $383.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $168.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur.

Bu çalışmadaki bazı okullarda hafta içi ve hafta sonu kütle konsantrasyonlarının oranları PM_{10} için 2.6 (MA) ve 3.0 (FSK), $PM_{2.5}$ için 1.6 (FRU), 0.7 (MŞ), 1.4 (ÖHR) ve 0.4 (FSK) olarak bulunmuştur. Sınırlı sayıda ölçüm sonucuna dayanmalarından dolayı bu oranlardan kesin sonuçlara varmak zor ise de, PM_{10} için verilen oranların daha yüksek olması, bu partiküllerin okul iç ortam havasındaki ana kaynağının öğrencilerin aktivitelerinin yerden havalandırıldığı tozlar olduğunu düşündürmektedir. TSP partikülleri için FSK İlköğretim Okulu'nda ölçülen yüksek hafta içi, hafta sonu oranı da (3.1) bu durumu desteklemiştir. Sekiz Fransız okulunda gerçekleştirilen bir çalışmada, öğrencilerin okul içindeki mevcudiyetlerinin, daha önceden birikmiş tozların yerden havalandırılması veya yeni partiküllerin oluşturulması yoluyla, özellikle iç ortam PM_{10} kütle konsantrasyonlarını ciddi oranda artırdığı gözlenmiştir [22].

Kamu okullarında toplanan örneklerde ölçülen element konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan EF değerleri incelendiğinde, 0.4 ile 1.6 arasında EF değerlerine sahip olan Na, K ve Sc elementlerinin ana kaynağının toprak tozu olduğu, 7 ile 865 arasında EF değerlerine sahip olan Zn, As, Br ve Sb elementlerinin ise esas olarak toprak tozu dışında kaynak veya kaynaklardan geldikleri sonucuna varılmıştır. Brom ve kurşun elementleri araç emisyonlarının klasik iz elementleri olarak bilinmektedirler [23]. Katı yağlayıcılar olarak bilinen Sb_2S_3 ve ZnS gibi bileşiklerin fren performansını artırmak amacıyla, asbest içermeyen organik tür fren balatalarında kullanıldıkları bilinmektedir [24]. Almanya'da yapılan bir çalışmada, Sb ve Cu elementlerinin trafik yoğunluğu ve trafiğe olan mesafe ile ilişkisi bulunmuştur [25]. Aynı çalışmada, dizel araç egzozlarından atılan is partiküllerinde Zn, Sb, Mo, Ni, Cu, Ag ve Cd elementlerinin zenginleştiği gözlenmiştir. Trafik ortamında Sb elementinin mevcudiyeti, yapılan bir çalışmada bu elementin bazı bileşiklerinin gres yağı ve motor yağı içinde kullanımı ile de açıklanmıştır [26]. Lastikler ve motor yağları trafik ortamında gözlenen Zn elementinin ana kaynakları olarak bilinmektedirler [26, 27]. İsveç'te yoğun trafik yüküne sahip iki tünelde gerçekleştirilen bir çalışmada, Cu, Zn, Cd, Sb, Ba ve Pb elementlerinin trafik kaynaklı olarak önemli miktarlarda açığa çıktığı bulunmuştur [28]. Aynı çalışmada, fren balatalarındaki aşınmanın en azından Cu, Sb ve Ba için önemli bir kaynak olduğu, Zn elementi için ise hem fren balataları hem de lastiklerin önemli kaynaklar oldukları öne sürülmüştür.

Bu çalışmada, yoğun trafik ortamına çok yakın konumda bulunan dört okuldan toplanan PM örnekleri içindeki yüksek zenginleşme oranlarına sahip Sb, Br ve Zn elementlerinin, dur kalk tipi sürüşün çok sık olduğu ve çok sayıda dizel minibüs ve otobüsün bulunduğu trafiğin, okulların iç ortam havasındaki partikül madde kirliliğinde büyük payı olduğu işaret ettiği düşünülmektedir. Buna karşın, trafiğin çok seyrek olduğu, düşük nüfus yoğunluğuna sahip bir bölgede seçilen bir okuldan toplanan partiküllerin analizi toprak tozu, tebeşir tozu ve deniz tuzunun dışında önemli bir kirlilik kaynağına işaret etmemiştir. Trafik ortamına yakın okullarda gözlenen iç ortam havası PM_{10} ve $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyon seviyeleri, Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği sınır değerlerin oldukça üzerindedir. Ayrıca, trafik kaynaklı oldukları iyi bilinen bazı elementlerin partikül madde içinde ve dolayısı ile okulların iç ortam havasında zenginleştikleri gözlenmiştir. Yüksek PM kütle konsantrasyonlarının ve toksik etkileri bilinen Sb ve As gibi bazı elementlerin artışının çocuklar üzerinde yaratabileceği olası olumsuz sağlık etkileri düşünüldüğünde, bazı önleyici tedbirlerin acil olarak alınmasının gerekli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. İlk aşamada, daha sık ve planlı yer temizliği uygulamaları ile binaların dış ortama açık doğal sirkülasyon yerine, filtreleme ünitelerine sahip sistemler üzerinden havalandırılmalarının sağlanmasının mevcut durumun önemli oranda iyileştirilmesinde faydalı olacağı düşünülmektedir. Uzun vadede ise, gerekli yapısal planlamalar yapılarak, ilköğretim okullarının mümkün olduğunca yoğun trafikten uzak bölgelerde konumlandırılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Paschold H, Li W-W, Morales H, Pingitore NE, Maciejewska B: Elemental analysis of airborne particulate matter and cooling water in west Texas residences: *Atmos Environ* 2003; 37:2681–2690.
- [2] Bae H, Yang W, Chung M: Indoor and outdoor concentrations of RSP, NO₂ and selected volatile organic compounds at 32 shoe stalls located near busy roadways in Seoul, Korea: *Sci Total Environ* 2004; 323: 99–105.
- [3] Chao CY, Wong KK: Residential indoor PM₁₀ and PM_{2.5} in Hong Kong and the elemental composition: *Atmos Environ* 2002; 36: 265–277.
- [4] Branis M, Rezacova P, Domasova M: The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom: *Environ Res* 2005; 99: 143–149.
- [5] Lee SC, Chang M: Indoor air quality investigations at five classrooms: *Indoor Air* 1999; 9: 134–138.
- [6] Schneider T, Sundell J, Bischof W, Bohgard M, Cherrie JW, Clausen PA, Dreborg S, Kildeso J, Kjaergaard SK, Lovik M, Pasanen P, Skyberg K: ‘EUROPART’ Airborne particles in the indoor environment. A European interdisciplinary review of scientific evidence on associations between exposure to particles in buildings and health effects: *Indoor Air* 2003; 13: 38–48.
- [7] Conner TL, Williams RW: Identification of possible sources of particulate matter in the personal cloud using SEM/EDX: *Atmos Environ* 2004; 38: 5305–5310.
- [8] Na K, Sawant AA, Cocker III DR: Trace elements in fine particulate matter within a community in western Riverside County, CA: focus on residential sites and a local high school: *Atmos Environ* 2004; 38: 2867–2877.
- [9] Dockery DW, Pope CA: Acute respiratory effects of particulate air-pollution: *Annu Rev Public Health* 1994; 15: 107–132.
- [10] Schwartz J: What are people dying of on high air-pollution days?: *Environ Res* 1994; 64: 26–35.
- [11] Kelsall JE, Samet JM, Zeger SL, Xu J: Air pollution and mortality in Philadelphia, 1974–1988: *Am J Epidemiol* 1997; 146: 750–762.
- [12] Pagano P, De Zaiacomo T, Scarcella E, Bruni S, Calamosca M: Mutagenic activity of total and particle-sized fractions of urban particulate matter: *Environ Sci Technol* 1996; 30: 3512–3516.
- [13] Kunzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, Herry M, Horak F, Puybonnieux-Texier V, Quenel P, Schneider J, Seethaler R, Vergnaud JC, Sommer H: Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment: *Lancet* 2000; 356: 795–801.
- [14] Ostro BD, Rothschild S: Air pollution and acute respiratory morbidity: An observational study of multiple pollutants: *Environ Res* 1989; 50: 238–247.
- [15] Dockery DW, Pope CA, Xu XP, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG, Speizer FE: An association between air pollution and mortality in six U.S. cities: *N Engl J Med* 1993; 329: 1753–1759.
- [16] Ellegard A: Tears while Cooking: an indicator of indoor air pollution and related health effects in developing countries: *Environ Res* 1997; 75: 12–22.
- [17] Taylor R: Abundance of chemical elements in the continental crust: A new table: *Geochim. Cosmochim. Acta* 1972; 28: 1273.
- [18] Graney JR, Landis MS, Norris GA: Concentrations and solubility of metals from indoor and personal exposure PM_{2.5} samples: *Atmos Environ* 2004; 38: 237–247
- [19] Wichmann J, Janssen NAH, van der Zee S, Brunekreef B: Traffic-related differences in indoor and personal absorption coefficient measurements in Amsterdam, the Netherlands: *Atmos Environ* 2005; 39: 7384–7392.
- [20] Van Roosbroeck S, Wichmann J, Janssen NAH, Hoek G, van Wijnen JH, Lebret E, Brunekreef B: Long-term personal exposure to traffic-related air pollution among school children, a validation study: *Sci Total Environ* 2006; In press.
- [21] Liu Y, Chen R, Shen X, Mao X: Wintertime indoor air levels of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ at public places and their contributions to TSP: *Environ Int* 2004; 30: 189–197.
- [22] Blondeau P, lordache V, Poupard O, Genin D, Allard F: Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools: *Indoor Air* 2005; 15: 2–12.
- [23] Janssen NAH, Van Mansom DFM, Van Der Jagt K, Harssema H, Hoek G: Mass concentration and elemental composition of airborne particulate matter at street and background locations: *Atmos Environ* 1997; 31: 1185–1193.

- [24] Kim SJ, Cho MH, Cho KH, Jang H: Complementary effects of solid lubricants in the automotive brake lining: Tribology International 2007; 40: 15–20.
- [25] Weckwerth G: Verification of traffic emitted aerosol components in the ambient air of Cologne (Germany): Atmos Environ 2001; 35: 5525–5536.
- [26] Huang X, Olmez I, Aras NK, Gordon GE: Emissions of trace elements from motor vehicles: potential marker elements and source composition profile: Atmos Environ 1994; 28: 1385–1391.
- [27] Sorme L, Bergback B, Lohm U: Goods in the anthroposphere as a metal emissions source-a case study of Stockholm, Sweden: Water, Air, and Soil Pollution 2001; Focus 1: 213–227.
- [28] Sternbeck J, Sjodin A, Andreasson K: Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension-results from two tunnel studies: Atmos Environ 2002; 36: 4735–4744.

ÖZGEÇMİŞ

S. Sinan KESKİN

1964 Artvin doğumludur. 1986 yılında Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 1990 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan The University of Michigan'dan Yüksek Mühendis, 1995 yılında yine aynı ülkedeki Massachusetts Institute of Technology'den Doktor ünvanlarını almıştır. 1995 yılından bu yana Marmara Üniversitesinde görev yapmakta olup, halen Çevre Mühendisliği Bölümünde Doçent olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışma konuları ağırlıklı olarak hava kirliliği ve kirlilik araştırmalarında nükleer analitik tekniklerin kullanımı üzerinedir.

Dağhan EKMEKÇİOĞLU

1979 Konya doğumludur. 2001 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmış, 2005 yılında aynı bölümden Yüksek Mühendis unvanı almıştır. Halen serbest olarak çalışmaktadır.