

İSTANBUL'DA FARKLI ULAŞIM TÜRLERİ İLE SEYAHAT ESNASINDA MARUZ KALINAN PARTİKÜL MADDENİN (PM_{2.5}) BELİRLENMESİ

Burcu ONAT
Baktıgöl STAKEEVA

ÖZET

Ulaşımdan kaynaklanan hava kirlenmesi, son yıllarda özellikle büyük şehirlerde hava kalitesini kötü yönde etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Trafiğin yoğun olduğu mikro çevrelerde yayalar ciddi boyutlarda hava kirleticilerine maruz kalmaktadır. Kişilerin trafikteki kirleticilere maruziyet miktarları ulaşım türüne göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada İstanbul'da trafiğin yoğun olduğu bir bölgede farklı ulaşım türleri ile seyahat esnasında maruz kalınan PM_{2.5} konsantrasyonları belirlenmiş ve 0.3 -10 µm arasındaki partiküllerin sayımı yapılmıştır. Ulaşım türleri otobüs (klimasız), metrobüs (klimalı), özel araç ve yaya olarak sınıflandırılmış ve gün içinde trafiğin yoğun olduğu ve yoğun olmadığı zaman aralıklarında ölçümler yapılmıştır. Taşıtlar içinde ve yaya olarak yapılan ölçümlerde portatif ölçüm cihazlarından yararlanılmıştır. PM_{2.5} ölçümleri için ışık saçılımı metodu ile çalışan pDR-1200 model (Thermo, USA) kişisel toz ölçüm cihazı, partikül sayımı için handheld 3016 model (Lighthouse, USA) portatif partikül sayım cihazı kullanılmıştır. Seyahat esnasında PM_{2.5} konsantrasyonları 30 saniye aralıklarla kaydedilmiş, konsantrasyondaki değişimlerin sebepleri incelenmiştir. Her bir ulaşım türü için seyahat süreleri yaklaşık 12-20 dakika olarak ayarlanmıştır. Taşıtlarda filtreli klima sistemlerinin PM_{2.5} seviyesini azalttığı, özel araç içinde yapılan ölçümlerde ise klima ile dışarıdan hava alındığında araç içindeki PM_{2.5} seviyesinde önemli miktarda artış olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Trafik, Maruz Kalma, PM_{2.5}, Partikül Sayımı

ABSTRACT

Nowadays, traffic emissions are the main problem that affects the air quality in big cities. Exposure in the urban transport microenvironment is of particular concern because many people spend a substantial component of their outdoor time in this microenvironment. Concurrent information related to exposure, such as time, duration, location, concentration of exposure is crucial to assess environmental health risks and for making informed decisions to manage and reduce the risk. The aim of this work is to investigate a personal exposure to fine particulate matter (PM_{2.5}) in the most usable transport microenvironments (car, metrobüs, municipal bus and walking) in İstanbul, Turkey. For meet this goal, using portable instrumentation; pDR-1200 model (manufactured by Thermo, USA) and Handheld 3016 model (manufactured by Lighthouse, USA); measurements of PM_{2.5} using and ultrafine particulate counts in all transportation modes were performed. To compare the concentrations of particles at peak and peak-off times of traffic the measurements were performed two times a day in all modes. All transportation modes trip is between 12-20 minutes. An existing of air-conditioning with filter in a vehicle, PM_{2.5} concentration was decreased.

Key Words: Traffic, Exposure, PM_{2.5}, Particle Counting

1. GİRİŞ

Günümüzde çevrenin kalitesi genel olarak bölgenin nüfus yoğunluğuna, kentsel hava kalitesi ise şehirlerde nüfusa bağlı olarak artmakta olan ulaşım araçlarının sayısına bağlıdır. Çünkü kent atmosferinde hava kirliliğinin en önemli kaynakları olarak sanayi ve evsel sektörler bilinse de hava kirlenmesinde hareketli kaynak olarak bilinen trafiğin de katkısı çok yüksektir. Ulaşım amacıyla kullanılan kara, hava ve deniz taşıtlarının arasında özellikle karayollarında seyir halindeki motorlu taşıtların kentsel hava kalitesine olumsuz etkisi oldukça büyüktür. Motorlu taşıtlardaki hava kirleticileri motor içinde yanma sonucu oluşan egzoz gazlarıdır. Egzoz gazlarının içinde karbon monoksit, partikül madde (PM), kükürt ve azot oksitler, uçucu organik maddeler gibi kirlenici emisyonları trafiğin yoğun olduğu ana caddelerde, kavşak ve karayolu etrafında önemli boyutlara ulaşabilmekte ve bu çevrelerde kirleniciye maruz kalan insanlarda sağlık problemlerine sebep olmaktadır. Özellikle ince partikül madde (PM_{2.5}) ve ozon konusunda yapılan çalışmalar hava kirlenici ile akciğer ve kalp-damar hastalıkları arasında ilişki olduğunu göstermiştir [1](Lippmann). Kentsel alanlarda PM₁₀ ve PM_{2.5}'un en büyük kaynağının hareketli kaynaklar olduğu söylenebilir[2]. Krakow'da (Polonya) yapılan bir araştırmaya göre ince partiküllerin %53-68'inin trafikten kaynaklandığı belirlenmiştir [3]. Hareketli kaynaklardan (egzoz, araba çemberlerin lastiğinin ve fren aşınması) verilen birincil PM emisyonlarının çoğu PM_{2.5} fraksiyon boyutundadır [4].

Özellikle taşıt sayısının sürekli artış gösterdiği İstanbul'da trafik kaynaklı kirlenme bu kentte yaşayanlar için yaşam kalitesini bozan ve sağlık açısından büyük sorunlara yol açan bir unsur haline gelmiştir. Trafik kaynaklı hava kirliliğine kısa sürelerde pik konsantrasyonlarda maruz kalınması, insan sağlığı için ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Halk sağlığının korunması ve mevcut durumun iyileştirilmesi için bu kirlenici havada kalma süresi, lokasyonu ve maruz kalınan miktarlarının bilinmesi çevre sağlık risklerinin belirlenmesinde ve riski azaltmak için verilecek kararlarda önem teşkil etmektedir.

Türkiye'de hava kalitesinin belirlenmesi konusunda şimdiye kadar yapılan çalışmalarda uzun süreli zaman dilimlerinde ölçümler yapılmış ve günlük aritmetik ortalamalar alınarak elde edilen konsantrasyon değerleri dikkate alınmıştır. Ancak günlük veya yıllık ortalama konsantrasyonlar, dış ortamdaki günlük aktivitelerimizde anlık maruz kaldığımız konsantrasyon değerlerini ifade etmemektedir. Özellikle trafik kaynaklı emisyonların etkisinin saptanmasında anlık konsantrasyonların bilinmesi önem taşımaktadır.

Şu an İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü tarafından hava kalitesi ölçümleri İstanbul'un belli noktalarına yerleştirilen istasyonlarda düzenli olarak yapılmaktadır. Ancak bu istasyonların amacı İstanbul'un genel hava kalitesini belirlemektir. Bu nedenle İstanbul'da trafik kaynaklı kirlenmeye günlük aktivitelerimiz sırasında ne kadar maruz kaldığımız ancak trafiğin yoğun olduğu çevrelerde yapılan çalışmalarda belirlenebilir.

Bu çalışmada, İstanbul'da en önemli kirlenici kaynaklardan biri olan trafik kaynaklı ince partikül maddelere kişilerin ne ölçüde maruz kaldığı belirlenmiştir. Bu amaçla trafiğin yoğun olduğu bir mikro çevrede farklı ulaşım türleri de dikkate alınarak ince partikül madde (PM_{2.5}) ölçümleri ve partikül boyut dağılımını belirlemek amacıyla partikül sayımları yapılmıştır. Ölçümler belediye otobüsü, metrobüs ve özel araç içinde, ayrıca araç dışındaki konsantrasyonları belirleyebilmek için de yaya olarak yapılmış, böylece kişilerin maruziyetleri farklı ulaşım türleri için elde edilen ölçüm sonuçları esas alınarak ortaya konmuştur.

2. PARTİKÜL MADDENİN TANIMI

Partikül madde (kısacası PM veya partiküller) havada bulunan katı, sıvı veya katı çekirdeğin etrafında sıvı ile çevrili olan parçacıkların bir karışımıdır. Katı ve sıvı parçacıkların arasında toz, duman, is, sıvı damlacıklar, spor, bakteri, metalik bileşikler, temel karbon, inorganik iyonlar vs. gibi hem organik hem de inorganik maddeler bulunabilir. Atmosferdeki bazı parçacıklar higroskopiktir ve parçacıkla bağlı olan suyu içerir. Organik kısmı ise yüzlerce organik bileşiği içeren özel bir komplekstir [5]. Partikülün boyutu partikülün çapı demektir. Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın Partiküllerin çapına göre sınıflandırması Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. EPA'ya Göre Partiküllerin Aerodinamik Çapına Göre Sınıflandırılması [6]

EPA'nın tanımı	Partikülün boyutu
Çok kaba	$D_{pa} > 10 \mu\text{m}$
Kaba	$2.5 \mu\text{m} < D_{pa} \leq 10 \mu\text{m}$
İnce	$0.1 \mu\text{m} < D_{pa} \leq 2.5 \mu\text{m}$
Çok (ultra) ince	$D_{pa} \leq 0.1 \mu\text{m}$

D_{pa}: partikülün aerodinamik çapı

Son yıllarda yapılan çalışmalarda iç ve dış ortamlarda bulunan partikül maddenin ve özellikle ince partikül maddelerin insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri fark edilmiştir. Dolayısıyla, hem dış hem de iç ortamların havasında bulunan partikül maddelere maruz kalınması ciddi sağlık problemlerine sebep olmaktadır. Havadaki ince partikül maddelerin insan ömründe kısaltmaya neden olup olmadığı konusunda Amerika'da yapılan araştırmalar sayesinde, hava kirlenmesi nedeniyle meydana gelen sağlık etkilerinin ciddi boyutlarda olduğu anlaşılmıştır [7-9].

Hava kirleticilerle ilk temas havanın solunum yolları ile vücut içine alınmasıdır. Partiküller boyutuna göre solunum sisteminin farklı yerlerinde tutulur: PM₁₀ üst solunum sisteminde tutulur, ince ve ultra-ince partiküller ise akciğer alveollarına ulaşabilir. Bu nedenle sağlık etkilerinin ne olduğunun ortaya çıkarılmasında partiküllerin boyutu ve yüzeyi, sayısı ve bileşiminin bilinmesi çok önemlidir.

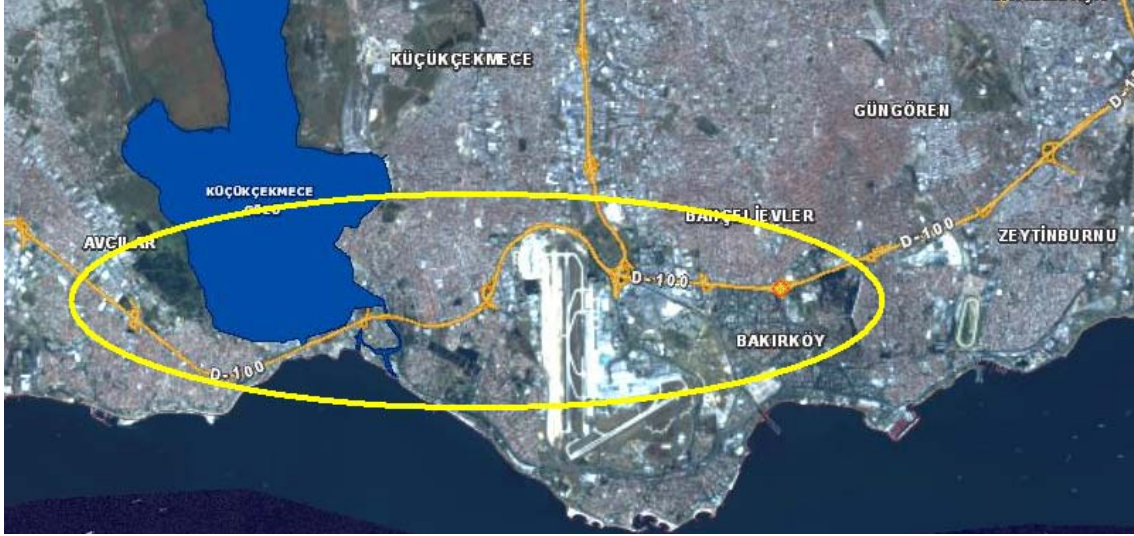
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Güzergâhı ve Çalışmanın Yapıldığı Ulaşım Türleri

Çalışmanın yürütüldüğü Avcılar-Şirinevler arasındaki bölge Şekil 1'de görülmektedir. Çalışma özel araç (araba), metrobüs, belediye otobüsü içinde ve yaya olarak yapılmıştır. Ölçümler 8 Ekim 2008 - 16 Kasım 2008 tarihleri arasında trafiğin yoğun olduğu sabah saatlerinde (08:30-11:00) ve yoğun olmadığı öğle saatlerinde (11:30-14:00) olmak üzere gün içinde 2 kez tekrarlanmıştır. Her bir ulaşım türü için tek yöndeki seyahat süreleri yaklaşık 12-20 dakika olarak ayarlanmıştır.

Araba için belirlenen güzergâh Avcılar üniversite kampüsü - Şirinevler üst geçidi-Avcılar üniversite kampüsü arasında, gidiş ve dönüş olarak yaklaşık 30 dakikalık bir mesafedir. Arabanın klimalı havalandırma kademesi tüm seyahat boyunca 2 olarak ayarlanmıştır. Gidiş (Avcılar – Şirinevler) rotasında özel aracın kliması dış hava sirkülasyonu ile çalışır durumdayken ölçümler yapılmıştır. Dönüş (Şirinevler – Avcılar) rotasında ise arabanın kliması iç hava sirkülasyonu ile çalıştırılmıştır. Her iki durumda da camlar kapalı tutulmuştur.

Metrobüs için Avcılar metrobüs durağı-Şirinevler metrobüs durağı arası çalışma güzergâhı olarak belirlenmiştir. Ölçümler metrobüs şoförünün verdiği bilgi doğrultusunda metrobüsün kliması dış hava sirkülasyonu ile çalışırken ve camlar kapalı durumda yapılmıştır. Bu güzergâhtaki yaklaşık ölçüm süresi 20 dakikadır.



Şekil 1. Çalışmanın Yapıldığı Bölge

Belediye otobüsü için çalışma rotasının başlangıç noktası Yenibosna otobüs durağı ve bitiş noktası Sefaköy otobüs durağı olarak belirlenmiştir. Bu rotada çalışan otobüslerin bir kısmında klima mevcut değildir. Bir kısmında ise sonradan takılan klimalar mevcuttur. Ancak ölçümler sırasında klima bulunan otobüslerde de klima çalıştırılmamıştır. Bu turdaki ölçüm süresi yaklaşık 15 dakikadır.

Yaya olarak yapılan ölçümlerde çalışma rotasının başlangıç noktası Şirinevler otobüs durağı ve bitiş noktası ise Yenibosna otobüs durağının yanında yer alan Total petrol istasyonu olarak belirlenmiştir. Bu turdaki ölçüm süresi ise yaklaşık 12 dakikadır.

3.2. Ölçümde Kullanılan Cihazlar

Bu çalışmada ince partikül madde konsantrasyonları ($PM_{2.5}$) taşınabilir pDR-1200 model (Thermo marka) toz ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Cihazda konsantrasyonları kaydetme aralığı 30 sn olarak ayarlanmıştır. Partikül sayım ölçümlerinde ise yine taşınabilir 3016 Handheld model (Lighthouse marka) partikül sayıcı kullanılmıştır. Bu cihaz ile 6 ayrı partikül fraksiyonundaki ($0.3 \mu m$, $0.5 \mu m$, $1.0 \mu m$, $3.0 \mu m$, $5.0 \mu m$ ve $10 \mu m$) partiküllerin sayıları belirlenmiştir. Her iki cihazda ışık kırınımı (light scattering) prensibine göre çalışmaktadır.

4. BULGULAR

4.1. Partikül Sayımı

Partikül sayımları araba, metrobüs, belediye otobüsü ve yaya olmak üzere 4 farklı ulaşım türü için $0.3 \mu m$, $0.5 \mu m$, $1 \mu m$, $3 \mu m$, $5 \mu m$ ve $10 \mu m$ aerodinamik çapında olan 6 farklı partikül fraksiyonunda yapılmıştır. Partikül sayım sonuçlarının ortalama, maksimum ve minimum değerleri tüm ulaşım türleri için Tablo 2'de verilmiştir.

Özel araç içinde yapılan ölçümlerde trafiğin yoğun olduğu sabah saatlerindeki kaydedilen partikül sayılarının, trafiğin daha az yoğun olduğu öğle saatlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca arabanın kliması dış hava sirkülasyonu ile çalıştırıldığında daha yüksek değerler kaydedilmiş, çevredeki arabaların egzoz emisyonlarının arabaya dışarıdan girmesi sonucu özellikle $1 \mu m$ 'den küçük partikül sayısında artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Metrobüs içinde yapılan ölçümlerde partikül sayısının trafiğin yoğun olduğu sabah saatlerinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Metrobüste klimalı havalandırma sistemi bulunmaktadır ve güzergah boyunca sabah ve öğlen yapılan ölçümler klima açık (dış hava sirkülasyonlu) durumda gerçekleştirilmiştir. Klimanın çalıştırılma düzeninin metrobüs şoförünün arzusunun göre değiştiği ve zaman zaman klimanın kapatıldığı veya iç hava sirkülasyonu ile çalıştırıldığı durumların olduğu bize yetkililerce söylenmiştir. Ancak bu durumların farkedilmesinin her zaman mümkün olmamasından dolayı bu çalışmada klimanın sürekli açık olduğu kabulü yapılmıştır. Metrobüste yapılan ölçüm sonuçlarına genel olarak bakıldığında sabah yapılan ölçüm sonuçlarının öğle yapılan ölçümlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca sabah yapılan ölçümlerde Avcılar-Şirinevler güzergahındaki partikül sayısının Şirinevler-Avcılar güzergahına göre $1 \mu\text{m}$ 'den daha küçük partiküller için daha yüksek, $1 \mu\text{m}$ 'den büyük partiküller için ise benzer veya biraz daha düşük olduğu belirlenmiştir. Öğlen ölçümlerinde ise Avcılar-Şirinevler güzergahındaki tüm partikül fraksiyonlarının Şirinevler- Avcılar güzergahına göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Sabah saatlerinde her iki güzergahta da yolcu yoğunluğu daha fazladır. Öğlen ise Şirinevlerden Avcılara gelen yolcu sayısında bir azalma olmaktadır. Metrobüs içindeki yolcu sayısının ince ve kaba partikül sayısını etkilediği söylenebilir.

Belediye otobüsü içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında sabah ve öğlen kaydedilen partikül sayısının diğer ulaşım türlerine göre daha yüksek olduğu ve sabah ölçümlerinin biraz daha yüksek olmasına rağmen öğlen ölçümleri ile arasında çok fazla fark olmadığı görülmektedir. Belediye otobüslerinde klimalı havalandırma sistemi mevcut değildir ve kliması sonradan takılan otobüslerde de bu çalışma kapsamında klima çalıştırılmamıştır. Bu nedenle genellikle otobüsün camları açık şekilde seyahat edilmektedir. Filtreli klima sistemlerinin olmaması otobüsün içinde havalandırmanın tam olarak yapılmasını engellemekte ve açık olan camlardan otobüsün kendi egzoz emisyonları bile otobüs içine ulaşabilmektedir. Bu nedenle daha yüksek değerler bulunmuştur. Ayrıca kaba partikül fraksiyonlarının partikül sayısı diğer ulaşım türlerine göre daha yüksektir. Belediye otobüsünün dizel yakıt emisyonları, motor teknolojisi eski olduğundan daha fazladır ve dizel emisyonun içindeki partikül madde fraksiyon boyutunun daha yüksek olduğu bilinmektedir [10].

Yaya olarak yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında partikül sayısının 6 partikül fraksiyonunda da belediye otobüsü hariç diğer ulaşım türlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan egzoz emisyonlarının dış ortam havasındaki partikül miktarında artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yayaların arabaların hareketi ile veya rüzgar nedeniyle yerden havalanan partiküller gibi partikül boyutu daha büyük partiküllere de maruz kaldığı belirlenmiştir.

4.2. İnce Partikül Madde

İnce partikül madde ($\text{PM}_{2.5}$) ölçüm sonuçlarının ortalamaları Tablo 3'de verilmiştir. Araba içinde bulunan $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyon değerleri havalandırmanın durumuna ve hafta içi ve hafta sonu olmasına göre değişiklik göstermektedir. Havalandırma açık durumda iken daha yüksek konsantrasyon değerleri kaydedilmiştir. Sabah ve öğlen yapılan ölçümlerde havalandırma açık durumdayken arabanın klima sistemi öndeki araçların egzoz emisyonunu araba içine alması içerideki $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Hafta sonu ölçümlerinde sabah saatlerinde öğlen saatlerine göre daha düşük $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonları bulunmuştur. Bunun nedeni hafta sonu gün içindeki trafik yoğunluğundaki farklılıktır. Çalışmanın yapıldığı Avcılar-Şirinevler bölgesinde hafta sonu sabah saatlerinde trafik yoğunluğu hafta içi kadar olmayıp öğleye doğru artış göstermektedir. Bu nedenle ölçüm sonuçları sabah saatlerinde daha düşük ($33\text{-}29 \mu\text{g}/\text{m}^3$), öğle saatlerinde daha yüksek ($46\text{-}38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bulunmuştur.

Metrobüste havalandırma sistemi olarak filtreli klima sistemi bulunmaktadır. Metrobüs içinde $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonu $29\text{-}45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında bulunmuştur. Diğer bir toplu taşıma aracı olan belediye otobüsü ile karşılaştırıldığında metrobüsteki konsantrasyonların daha düşük değerler aldığı görülmektedir. En yüksek $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonları belediye otobüsünde $89\text{-}106 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Ölçümlerin yapıldığı belediye otobüslerinde havalandırma doğal şekilde, camların açılmasıyla yapılmaktadır. Filtreli herhangi bir havalandırma sistemi yoktur. Kliması sonradan takılan belediye otobüslerinde ise ölçüm sırasında klima çalıştırılmamıştır.

Yurtdışında trafik kaynaklı kirleticilerin belirlendiği çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Guangzhou' da şehrinde $PM_{2.5}$ konsantrasyonları klimasız otobüste $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$, klimasız takside $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$, klimalı otobüste $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve klimalı takside $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur [11]. Mexico City'de minibüs, belediye otobüsü ve metroda yolcuların maruz kaldığı ince partikül maddeyi belirlemek amacıyla sabah ve akşam pik saatlerde yapılan ölçümlerde $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının 12 ve $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değiştiği belirlenmiştir [12].

Yaya olarak yapılan ölçümlerde belediye otobüsü dışındaki diğer toplu taşıma araçlarına göre daha yüksek $PM_{2.5}$ konsantrasyon değerleri elde edilmiştir. Bunun nedeni dışarıda durakta beklerken ya da yürüme esnasında egzoz emisyonları dışında taşıtların tekerlek hareketi ve rüzgar nedeniyle yerden havalanan tozlara da maruz kalınmasıdır. $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun zamana göre değişimi incelendiğinde özellikle arabada havalandırma açık durumda iken ve yaya olarak yapılan ölçümlerde trafik yoğunluğunun arttığı nokta ve kavşaklarda (Şirinevler, Total benzin istasyonu) $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun $250-300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e varan değerleri kaydedilmiştir.

Çap (µm)	Araç	Araba				Metrobüs				Yaya				Belediye otobüsü			
		Avcılar-Şirinevler (Havalandıırma açık)		Şirinevler-Avcılar (Havalandıırma kapalı)		Avcılar-Şirinevler		Şirinevler-Avcılar		Şirinevler- Yenibosna		Yenibosna-Sefaköy		Yenibosna-Sefaköy			
		Sabah	Öğle	Sabah	Öğle	Sabah	Öğle	Sabah	Öğle	Sabah	Öğle	Sabah	Öğle	Sabah	Öğle		
0.3	Örneklem sayısı	15	20	18	18	24	24	19	20	19	20	19	20	17	18		
	Ortalama	132752	114845	54647	49423	151799	128998	122076	73381	202677	173129	209746	184866				
	Maksimum	220100	195414	133874	141833	367101	292277	187924	125551	430806	362673	346849	332445				
	Minimum	45851	40180	25017	14731	54028	51153	50857	53158	74190	75085	95924	77206				
	Ortalama	10946	8308	3782	3563	12800	8746	10519	4624	20444	15797	21833	18239				
	Maksimum	17300	19267	8822	13050	38608	20701	14766	6825	54621	33079	54215	30774				
	Minimum	4383	4540	1104	870	5446	3999	4334	3324	7984	6731	9327	7662				
	Ortalama	1540	936	416	298	1915	1220	1982	596	4077	2890	6241	4523				
	Maksimum	2625	1743	971	1092	5563	1987	3817	712	11500	10304	18803	9356				
	Minimum	585	437	122	74	527	756	980	504	1207	1256	2266	1500				
1	Ortalama	77	58	44	27	287	223	363	91	818	545	1316	1032				
	Maksimum	585	437	122	74	527	756	980	504	1207	1256	2266	1500				
	Minimum	77	58	44	27	287	223	363	91	818	545	1316	1032				
	Ortalama	127	125	140	77	1100	466	887	103	2418	1975	3299	2320				
	Maksimum	127	125	140	77	1100	466	887	103	2418	1975	3299	2320				
	Minimum	16	19	11	9	38	97	104	79	127	232	377	388				
	Ortalama	23	22	24	12	161	135	169	47	365	248	750	602				
	Maksimum	63	63	112	27	726	347	433	67	869	959	1940	1367				
	Minimum	6	4	5	4	19	46	24	32	49	99	215	263				
	Ortalama	5	5	8	3	20	19	16	9	13	13	35	32				
10	Maksimum	14	15	74	8	55	59	37	14	26	40	72	69				
	Minimum	1	1	1	1	3	5	3	5	3	4	14	13				

Tablo 2. İstanbul'da Farklı Ulaşım Türleri İçin PM_{2.5} Ortalama Konsantrasyonları

Ulaşım türü	Havalandırma durumu	Güzergah	Örnekleme sayısı	PM _{2.5} Ortalama kons. (µg/m ³)	
				Hafta içi	Hafta sonu
ARABA					
Yoğun trafik saatleri	Havalandırma açık	Avcılar-Şirinevler	7	73	33
	Havalandırma kapalı	Şirinevler-Avcılar	7	29	29
Az yoğun trafik saatleri	Havalandırma açık	Avcılar-Şirinevler	7	59	46
	Havalandırma kapalı	Şirinevler-Avcılar	7	23	38
METROBÜS					
Yoğun trafik saatleri	Hav. açık (filtreli klima)	Avcılar-Şirinevler	7	45	
		Şirinevler-Avcılar	3	47	
Az yoğun trafik saatleri	Hav. açık (filtreli klima)	Avcılar-Şirinevler	7	40	
		Şirinevler-Avcılar	3	29	
BELEDİYE OTOBÜSÜ					
Yoğun trafik saatleri	Havalandırma kapalı	Yenibosna-Sefaköy	9	106	
Az yoğun trafik saatleri			10	89	
YAYA					
Yoğun trafik saatleri	-	Şirinevler-Sefaköy	9	89	
Az yoğun trafik saatleri			9	82	

5. DEĞERLENDİRME

İstanbul, Türkiye'nin ekonomik ve kültürel merkezi olarak en fazla nüfusa ve taşıt sayısına sahip olan bir şehridir. Bu nedenle konumsal özelliklere ve meteorolojik faktörlere bağlı olarak kentsel hava kalitesi sürekli değişim göstermektedir. Trafik yoğun olduğu çevrelerde tercih edilen ulaşım türüne bağlı olarak önemli miktarda trafik kaynaklı kirleticilere maruz kalılabilmektedir. Bu çalışmada özellikle yaya olarak trafikte bekleyen ya da yürüyen kişilerin partikül maddeye ciddi boyutlarda maruz kaldığı belirlenmiştir. Yaya olarak dışarıda durakta beklerken ya da yürüme esnasında egzoz emisyonları dışında taşıtların tekerlek hareketi ve rüzgar nedeniyle yerden havalanan tozlara da maruz kalınmaktadır. Hareketli kaynakların partikül maddeye direkt katkısı olduğundan taşıt sayısının artışıyla partikül madde sayısı ve konsantrasyonunda artış görülmüştür. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek PM_{2.5} konsantrasyonuna klimasız belediye otobüsünde, en düşük konsantrasyona ise araba içinde klima iç hava sirkülasyonu ile çalışır durumda iken maruz kalındığı tespit edilmiştir. Partikül sayım sonuçlarına genel olarak bakıldığında trafiğin yoğun olduğu çevrelerde ve taşıt içinde maruz kalınan partikülün büyük oranının çok ince partikül fraksiyonunda (<1 µm) olduğu bulunmuştur. 0.02-1 µm boyutundaki çok ince partiküllerin kütsel olarak ifadesi olan PM₁ parametresi ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda herhangi bir düzenleme olmadığından insan sağlığı açısından PM_{2.5} parametresi ile değerlendirme yapılması daha doğru olacaktır. Ancak partikül sayımı ile, özellikle kısa süreli yapılan ölçümlerde kaynağa yakınlık ve kaynağın yoğunluğuna bağlı olarak meydana gelen ani değişimler görülebilmektedir. Bu nedenle bireysel aktiviteler ve çevrenin özellikleri ile değişebilen kişisel maruziyetlerin belirlenmesinde yeni bir ölçüm metodu olarak son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] LİPPMAN, M. 1989. 'Health effects of ozone: A critical review', J.Air Pollut.Control Waste Manage. Vol/Issue: 39/5.
- [2] GETRLER, A., W., 2005, Diesel vs. gasoline emissions: Does PM from diesel or gasoline vehicles dominate in the US?, *Atmospheric Environment*, 39 (2005), 2349–2355.
- [3] WATKISS, P., STEVE P. ve diğ., 2005, Baseline scenarios for service contract for carrying out cost-benefit analysis of air quality related issues, in particular in the clean air for Europe (CAFE) programme. *AEA Technology Environment*, (2005), 1–122.
- [4] RİEDİKER, M., CASCİO, W.E, GRİGGİS, T.R., HERBST, M.C., BROMBERG P.A., NEAS, L. ve diğ., 2004, Particulate matter exposure in cars is associated with cardiovascular effects in healthy young men, *Am J Respir Crit Care*, 169:934-40.
- [5] WİLSON, W.E., CHOW, J.C., CLAİBORN, C., FUSHENG, W., ENGELBRECHT, J., WARSON, J.G., 2002, Monitoring of particulate matter outdoors, *Chemosphere*, 49, 1009-1043.
- [6] USEPA, 2008, *Characteristics of particles – Particle Size Categories*, <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/category/category.htm>, [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008]
- [7] SCHWARTZ, J. Particulate air pollution and daily mortality in Detroit. *Environ Res.* 1991 Dec;56(2):204–213.
- [8] DELFİNO, R.J., QUİNTANA P.J.E., E., FLORO, J., GASTANAGA, V.M., SAMİMİ, B.S., KLEİNMAN M.T., ve diğ., 2004, 'Association of FEV1 in asthmatic children with personal and microenvironmental exposure to airborne particulate matter', *Environ Health Perspect*, 112:932-41.
- [9] DONALDSON, K., BROWN, D., CLOUTER, A., DUFFIN, R; MACNEE, W; RENWICK, L; TRAN, L; STONE, V. *Journal of Aerosol Medicine.* June 1, 2002, 15(2): 213-220.
- [10] EMEP/CORINAIR 2007 Emission Inventory Guidebook, Road Transport Report. 2007.
- [11] CHAN, LAU, W.L., ZOU, S.C., Z.X., CAO, S.,C., LAI, 2002, Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China, 36 (2002), 5831–5840
- [12] GOMEZ-PERALEZ, J.E., COLVİLE, R.N., NİEUWENHUIJSEN, M.J.,FERNANDEZ - BREMAUNTZ, A., GUTİERREZ-AVEDOY, V.J., PARAMO-FİGUEROA, V.H., BLANCO-JIMENEZ, S., BUENO-LOPEZ, E., MANDUJANO, F., BERNABE-CABANILLAS, R., ORTIZ-SEGOVIA, E., 2004, Commuters' exposure to PM2.5, CO, and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City, *Atmospheric Environment*, 38 (2004) 1219–1229.

ÖZGEÇMİŞ**Burcu ONAT**

1973 yılı İstanbul doğumludur. 1994 yılında İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1998 yılında Yüksek Mühendis, İstanbul Üniversitesinden 2004 yılında Doktor ünvanı almıştır. 1994-1995 yılları arasında proje mühendisi olarak, 1995-2000 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2000-2004 yılları arasında Azerbaycan-Bakü'de yürütülen Şahdeniz Projesinde Çevre Uzmanı ve Kalite Güvence Mühendisi olarak görev almıştır. 2006 yılından beri İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Hava Kalitesi, Partikül Madde, Kalite Güvence, Çevre Yönetim Sistemleri konularında çalışmaktadır.

Baktigül STAKEEVA

1982 yılı Kırgızistan - Bişkek doğumludur. 2000 yılında Abdrazzakova Atbaşı devlet lisesinden mezun olmuştur. 2005 yılında Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı yıl Bişkek Devlet Çevre Koruma Ajansı'nda çalışmıştır. 2006 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır.