

# İSTANBUL METROSUNDA PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

**Burcu ONAT**  
**Ülkü ŞAHİN**  
**Baktıgül STAKEEVA**  
**Pınar KARİM**  
**Tuba CERAN**

## ÖZET

Metro sistemleri, günün her saatinde trafik yoğunluğunun yaşandığı İstanbul'da hızlı ve rahat olmasından dolayı en çok tercih edilen ulaşım aracıdır. Hava sirkülasyonunun az olması nedeniyle metro istasyonlarında hava kirletici konsantrasyonları dış ortam havasına göre daha yüksektir. İç ortam hava kirleticilerinden biri olan partikül madde insan sağlığı üzerinde olumsuz etkisi olan, özellikleri zamana ve mekana göre değişkenlik gösteren bir kirleticidir. Partikül maddenin metrolardaki başlıca kaynakları, raylar üzerinde tekerleklerin sürtünme ve fren yapması gibi raylarda aşınmaya sebep olan hareketler, yolcuların peron içindeki hareketleri ve dış ortamda trafikten kaynaklanan partiküllerin havalandırma yoluyla metro tünellerine girmesidir. Bu çalışmada İstanbul'da bulunan Taksim – 4.Levent Metro Hattı ile Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattı'nda yer alan toplam 6 adet kapalı metro istasyonunda tren içi ve istasyon peronlarında PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> ölçümleri yapılmış, yolcuların maruz kaldıkları partikül madde konsantrasyonları belirlenmiştir. İstasyon peronlarında yapılan PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> ölçümlerinde ışık kırınımı prensibi ile çalışan MIE DataRAM 2000 (Thermo) partikül madde ölçüm cihazı kullanılmıştır. Tren içlerinde yapılan PM<sub>2.5</sub> ölçümlerinde ise yine ışık kırınımı prensibi ile çalışan pDR 1200 (Thermo) portatif toz ölçüm cihazı kullanılmıştır. İstasyon peronlarında yapılan ölçümlerde, PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının Aksaray-Havalimanı Hafif metro hattında sırasıyla 63,2-116,9 µg/m<sup>3</sup> ve 49,3-98,3 µg/m<sup>3</sup> arasında; Taksim-4.Levent metro hattında ise sırasıyla 90,7-220,6 µg/m<sup>3</sup> ve 105,3-181,7 µg/m<sup>3</sup> arasında değiştiği görülmüştür. Tren içinde yapılan ölçümlerde ise PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu, Aksaray – Havalimanı hattında 73 µg/m<sup>3</sup> ve Taksim-4.Levent hattında 62 µg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Bulunan sonuçlar, istasyonların derinlik, havalandırma ve fren sistemi gibi özellikleri ve dış ortam hava kalitesinin etkileri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İstanbul, Metro, Partikül Madde, PM10,PM2.5

## ABSTRACT

For Istanbul where traffic jams are essential problem, the metro systems - the most preferred transportation modes on a number of such advantages as speed and convenience. Because of insufficient air circulation the concentration of air pollutants in metro stations is higher than outside ambient air. One of the criteria pollutants of indoor pollution is particulate matter which is associated adverse health effects and its properties change on time and a place. The primary sources of particulate matter in metro are wheels' friction on rails, the processes such as braking causes brake tear and wear, people movements on platforms, and ingressed through ventilation system road traffic sourced particulate matter. In this study, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> measurements were performed inside trains and in total on 6 closed train station platforms of Taksim – 4.Levent Metro Line and Aksaray – Airport Light Metro Line located in Istanbul, and commuters' exposure to particulate matter concentrations was determined. PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations were measured by MIE DataRAM 2000 (Thermo)device working on light scattering method. For PM<sub>2.5</sub> measurements inside the train pDR 1200 (Thermo) portable dust measuring device was used worked with light scattering principle as well. PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations measured on

platforms of Aksaray-Airport Metro Line have been found between 63,2-116,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 49,3-98,3; and for Taksim-4.Levent Metro Line 90,7-220,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 105,3-181,7, respectively. The  $\text{PM}_{2.5}$  concentration registered inside trains was found as 73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Aksaray –Airport Line and as 62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Taksim-4.Levent Line. The results have been estimated taking into consideration the depth of the station, the features such as ventilation and brake system, and outside ambient air quality impacts.

**Key Words:** Istanbul, Subway, Particulate Matter,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$

## 1. GİRİŞ

Şehirlerde trafik yükünün artması farklı ulaşım türlerinin kullanılması ihtiyacını doğurmuş, bu da metro gibi ulaşım araçlarının tercih edilmesine neden olmuştur. Günümüzde dış hava kalitesi kadar iç hava kalitesi de önem kazanmaktadır ve son yıllarda yurtdışında, özellikle büyük şehirlerde ulaşımında tercih edilen metro sistemlerindeki hava kalitesi konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır [1-6]. Metrolarda özellikle tren raylarından ortama yayılan demir tozları, havalandırma sistemlerin yetersiz oluşu ve yolcuların üzerinde ortama taşınan partiküller nedeniyle hava kalitesi insan sağlığı açısından tehlikeli boyutlara ulaşabilmektedir.

Günümüzde soluduğumuz havadaki partikül madde (PM) kirliliği nedeniyle oluşan sağlık problemleri, tüm dünyada dikkati çeken en önemli olaylardan biri haline gelmiştir. PM, kompleks, partikül boyut dağılımı ve kimyasal özellikleri zamana ve mekana göre değişkenlik gösteren ve özellikleri atmosfer kimyasına, hava koşullarına ve verildiği kaynağa göre değişebilen bir hava kirleticidir. Daha önce yapılan bilimsel çalışmalarda, insanlarda gözlenen sağlık etkileri ve PM'in özellikleri arasındaki bağlantı dikkate alınmamıştır. Ancak son zamanda yapılan çalışmalarda çeşitli yakma prosesleri, hareketli ve sabit kaynaklardan verilen PM ile kalp ve solunum sistemi rahatsızlıklarından meydana gelen hastalık ve ölüm oranları arasında doğrusal ilişkinin varlığı kanıtlanmıştır. Ayrıca partikül madde konusunda yapılan epidemiyolojik araştırmalarda, partikül boyutu 10  $\mu\text{m}$ 'den küçük ( $\text{PM}_{10}$ ) olan partiküllerin insan sağlığına önemli boyutlarda zararlar verdiği saptanmıştır [7-13].

İstanbul metrosu ilk olarak Aksaray-Havalimanı hattında 1989 yılında hizmete girmiştir. Taksim-4.Levent metro hattı ise 2000 yılında hizmet vermeye başlamıştır. Konforlu ve hızlı olmasından dolayı metro İstanbul'da ve dünyada en çok tercih edilen toplu taşıma aracıdır. Ancak son yıllarda metrolarda hava kalitesinin belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalarda, metro sistemlerinde ölçülen hava kirlenici konsantrasyonlarının dış ortam konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu gözlenmiştir [14-16].

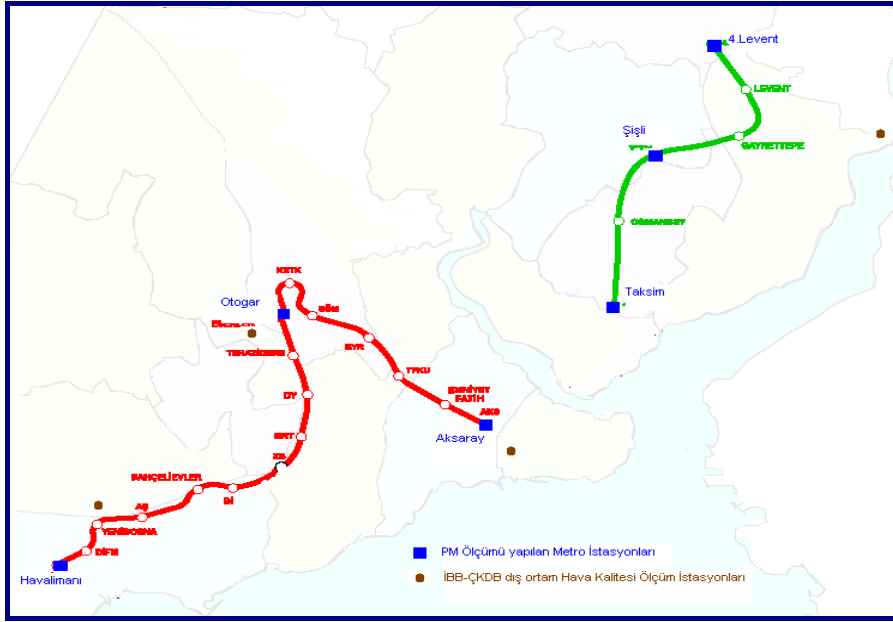
Metrolarda solunabilir partiküllerin başlıca kaynakları (1) dış ortamdan metro tünellerine giren partiküller, (2) yolcuların kıyafetleri ve yolcuların peron içindeki hareketleri, (3) raylarda aşınmaya neden olan sürtünme ve fren gibi hareketlerdir. Raylarda aşınma ve sürtünme sonucu önemli miktarda partikül ortama verilmektedir. Bu partiküller büyük oranda demir içermektedir. İstanbul metrosunda toplanan partikül örneklerindeki Fe konsantrasyonu 28.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak tespit edilmiştir [17]. Metrolarda kısa süreler için de olsa yüksek miktarda partikül maddeye maruz kalınmasının, partikül maddenin toksisitesinin yüksek olması nedeniyle gün içindeki toplam maruz kalıma etkisi önemli boyutlarda olabilmektedir. Londra'da yapılan bir çalışmada metro ile ulaşımın, günlük maruz kalınan  $\text{PM}_{2.5}$  konsantrasyonunda sadece %3'lük bir artışa sebep olurken,  $\text{PM}_{2.5}$  bileşiminde bulunan Fe (Demir) maruziyetinde %200 lük bir artışa neden olduğu görülmüştür. Ayrıca Mn (Mangan) ve Cu (Bakır)'a maruz kalım oranında sırasıyla %60 ve %40'lık artışa sebep olmaktadır [9].

Bu çalışmada İstanbul'da bulunan Taksim – 4.Levent Metro Hattı ile Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattı'nda yer alan kapalı metro istasyonlarında yolcuların maruz kaldıkları  $\text{PM}_{10}$  ve  $\text{PM}_{2.5}$  konsantrasyonlarını belirlenmiş ve dış ortam hava kalitesi, istasyon derinlikleri ve havalandırma tipi gibi faktörlerin partikül madde konsantrasyonlarına etkisi incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Metronun Genel Özellikleri

Bu çalışmada İstanbul Ulaşım ve Ticaret A.Ş. tarafından işletilen Taksim – 4.Levent Metro Hattı ile Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattındaki 6 istasyonda ölçümler yapılmıştır. Bu istasyonlar Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattı'nda Havalimanı, Otogar ve Aksaray istasyonları; Taksim – 4.Levent Metro Hattı'nda ise 4.Levent, Şişli ve Taksim istasyonlarıdır. Otogar istasyonu hemzemin yapıya sahip bir istasyondur. Diğer 5 istasyon ise tünel özelliğindeki istasyonlardır. Çalışmanın yapıldığı metro hattı, ölçüm yapılan istasyonlar ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü (İBBÇKM) Dış ortam Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonları Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** İstanbul Metro Hattında Ölçüm Yapılan İstasyonlar ve İBBÇKM Dış Ortam Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonları.

Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattı 1989 yılından beri kullanılmakta olup toplam uzunluğu 19,6 km, hat üzerindeki istasyon sayısı 18'dir. Bu hatta 80 adet araç çalışmaktadır ve bir sefer süresi 32 dakika'dır. Günlük yolcu sayısı 240.000'dir. Taksim – 4.Levent Metro Hattı ise 2000 yılında hizmete açılmıştır. Toplam uzunluğu 8,5 km, hat üzerindeki istasyon sayısı 6'dır. Bu hatta 32 adet araç çalışmaktadır ve bir sefer süresi 12 dakika'dır. Günlük yolcu sayısı 185.000'dir. İstasyonların cadde seviyelerinden itibaren derinlikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Metro İstasyonlarının Derinlikleri (m)

İstasyon ismi	Cadde seviyesinden itibaren derinliği, m
Aksaray	16
Otogar	0
Havalimanı	14
4.Levent	20
Şişli	28
Taksim	35

## 2.2. İstasyon Peronlarında Yapılan Ölçümler

İstasyon peronlarındaki toz miktarını standartlara uygun koşullarda belirlemek ve cihazların güvenliğini sağlayabilmek için sabit bir platform yapılmıştır. Cihaz 1,5 m yükseklikte 80x80cm ebatlarında yapılan bu platforma yerleştirilmiştir. Ölçümler 15 Eylül 2007 – 18 Ocak 2008 tarihleri arasında yapılmıştır. Her istasyonda bir hafta (7 gün) süreyle PM<sub>10</sub> ve bir hafta (7 gün) süreyle PM<sub>2.5</sub> ölçümleri yapılmış ve 15 dakikalık ortalama konsantrasyonları 24 saat boyunca sürekli kaydedilmiştir. Ölçümlerde ışık kırınımı yöntemine göre çalışan MIE DataRAM 2000 (Thermo A.Ş.) portatif toz ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümlerin doğrulaması referans yöntemine göre örnekleme yapabilen Partisol FRM Air Sampler (Model 2000, Thermo Inc., USA) cihazı ile yapılmıştır.

## 2.3. Tren İçinde ve Makinist Kabininde Yapılan Ölçümler

İki Metro Hattı'nda sefer yapan trenler içerisinde ve makinist kabinlerinde seyahat esnasında maruz kalınan PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu amaçla portatif pDR 1200 portatif PM<sub>2.5</sub> ölçüm cihazı kullanılmıştır. Tren içinde yapılan ölçümler her iki hatta da sabah, öğle ve akşam bir tren seferi boyunca yapılmış ve 3 gün tekrarlanmıştır. Taksim – 4.Levent Metro Hattında 03.01.2008, 12.01.2008 ve 17.01.2008, Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı'nda 28.03.2008, 29.03.2008 ve 31.03.2008 tarihlerinde ölçümler alınmıştır. Sabah ölçümleri saat 07:30-09:30 arasında, öğle ölçümleri saat 12:00-14:00 arasında ve akşam ölçümleri ise saat 18:00-20:00 arasında yapılmıştır. 30 saniye ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon kayıtlarından sabah, öğle ve akşam ortalamaları hesaplanmış ve her iki hatta sefer yapan trenlerin içerisindeki genel ortalama konsantrasyon belirlenmiştir. Makinist kabininde yapılan ölçümlerde cihaz makinistin tren kullanımını esnasındaki konumu dikkate alınarak solunum mesafe yüksekliğine kabin ön kısmına monte edilmiştir. 30 saniye ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon kaydı çalışma periyodu boyunca (08:00-24:00) yapılmıştır. Ölçümler metro hatlarında 3'er gün tekrarlanmıştır ve Taksim – 4.Levent Metro Hattında 24.01.2008, 25.01.2008 ve 26.01.2008, Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı'nda 03.04.2008, 04.04.2008 ve 05.03.2008 tarihlerinde ölçümler alınmıştır.

## 3. SONUÇLAR

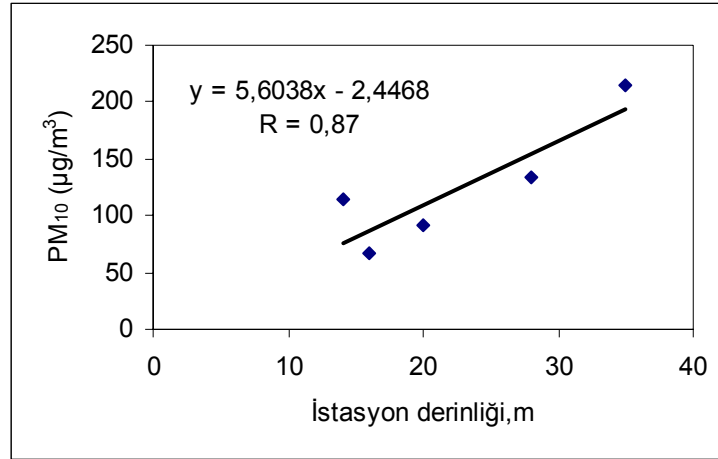
Aksaray-Havalimanı metro hattındaki istasyon peronlarında kaydedilen PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının 7 günlük ortalamaları Tablo 2'de verilmiştir. Ortalama PM<sub>10</sub> konsantrasyonu 59 ile 113 µg/m<sup>3</sup> arasında değişim gösterirken PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu 48 ile 90 µg/m<sup>3</sup> arasında değerler almıştır. En yüksek PM<sub>10</sub> konsantrasyonu Aksaray Metro istasyon peronunda ölçülmüştür. PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ise Otogar ve Aksaray Metro istasyon peronlarında yüksek değerlere ulaşmıştır. Metro istasyon peronlarında yapılan PM ölçümlerinin gün içerisinde dağılımları incelendiğinde her üç istasyonda da sabah saat 06:00'dan 12:00'a kadar olan süreçte ve akşam 18:00'dan 22:00'a kadar olan süreçte konsantrasyonların arttığı gözlenmiştir.

Otogar metro istasyonu Hemzemin istasyon yapısında olduğundan peron uçları dış ortama açıktır. Otogar istasyonundaki PM<sub>10</sub> değerlerinin Otogar istasyonuna yaklaşık 500 m uzaklıkta bulunan İstanbul Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü'ne ait hava kalitesi ölçüm istasyonunda kaydedilen PM<sub>10</sub> değerleriyle benzerlik gösterdiği görülmüştür. Metro içi ve dış ortam PM<sub>10</sub> konsantrasyonu arasındaki korelasyon, R=0.96 (p<0.01) olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 2.** İstasyon Peronlarındaki Ortalama PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> Konsantrasyonları

İstasyon	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
	Ortalama ± S.Sapma		Ortalama ± S.Sapma	
	24 saat	06:00-24:00	24 saat	06:00-24:00
Havalimanı	68 ± 24,3	68,6 ± 26,7	48,2 ± 17	49,3 ± 14,1
Otogar	58,6 ± 32,4	63,2 ± 35,9	90,1 ± 28,4	98,3 ± 26,6
Aksaray	112,8±26,3	116,9 ± 27,1	84,6 ± 29,7	89 ± 29,3
Taksim	240,9 ± 80,9	220,6 ± 60,8	199 ± 71,7	181,7 ± 70,4
Şişli	136 ± 59,8	152,5 ± 58,6	104,8 ± 40,4	106,8 ± 35,2
4.Levent	85,7 ± 23,1	90,7 ± 30,5	105,5 ± 50,1	105,3 ± 45,4

Taksim-4.Levent metro hattında istasyon peronlarındaki ortalama PM<sub>10</sub> konsantrasyonu 85,7 ile 240,9 µg/m<sup>3</sup> arasında, PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonu ise 104,8 ile 199 µg/m<sup>3</sup> arasında kaydedilmiştir. En yüksek PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonu Taksim Metro istasyon peronunda ölçülmüştür. Ölçüm yapılan Metro İstasyonlarının derinlikleri dikkate alındığında derinlik arttıkça PM konsantrasyonunun da arttığı gözlenmiştir. İstasyon derinlikleri ve PM10 konsantrasyonu arasındaki korelasyon R=0,87 olarak bulunmuştur (Şekil 2). En yüksek günlük ortalama PM<sub>2,5</sub> ve PM<sub>10</sub> konsantrasyonları 182 ve 210 µg/m<sup>3</sup> olarak Taksim istasyonunda ölçülmüştür.

**Şekil 2.** İstasyon Derinlikleri ve PM10 Konsantrasyonları Arasındaki İlişki

Taksim – 4.Levent Metro Hattı ile Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattı'nda sefer yapan trenler içerisindeki yolcuların seyahat esnasında maruz kaldıkları PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonu belirlenmiş ve ölçüm sonuçları Tablo 3'de özetlenmiştir. Her iki metro hattında trenlerin makinist kabinlerinde yapılan günlük ortalama PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonu ölçüm sonuçları ise Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Metro Hatları Tren içi ortalama PM<sub>2,5</sub> Konsantrasyonları

Metro Hattı	PM <sub>2,5</sub> Konsantrasyonu (µg/m <sup>3</sup> )			
	Sabah	Öğle	Akşam	Günlük Ortalama
Aksaray-Havalimanı	60	53	106	73
Taksim-4.Levent	41	31	115	62

**Tablo 4.** Metro Hatları Tren Makinist Kabini içerisindeki ortalama PM<sub>2,5</sub> Konsantrasyonu

Metro Hattı	Ortalama PM <sub>2,5</sub> Konsantrasyonu (µg/m <sup>3</sup> )
Aksaray-Havalimanı	73
Taksim-4.Levent	50

Sonuçlara genel olarak bakıldığında Otogar istasyonu dışındaki istasyonlardaki partikül madde konsantrasyonları, dış ortam konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuştur. 4.Levent- Taksim hattında istasyonun derinliği arttıkça toz konsantrasyonunda artış olduğu görülmüştür. EPA, WHO ve AB standartları gibi uluslararası standartlarda ve ülkemizde henüz iç hava kalitesi için sınır değerler mevcut değildir. Türkiye'deki partikül madde ile ilgili yeni düzenleme 26898 sayılı resmi gazetede 6 Haziran 2008 tarihinde yayınlanan 'Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği' ile yapılmıştır. PM<sub>10</sub> limit değerleri günlük ortalama için 50 µg/m<sup>3</sup>, yıllık ortalama için 40 µg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bu değerler dış hava kalitesi değerleridir ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla verilmiştir. İstasyonlarda ölçülen PM<sub>10</sub> günlük ortalama konsantrasyonlarını 50 µg/m<sup>3</sup> değeri ile karşılaştırdığımızda tüm PM<sub>10</sub> değerlerinin sınırın üstünde olduğu görülmektedir.

PM<sub>2.5</sub> için dış ortam sınır değerler EPA tarafından günlük ortalama için 40 µg/m<sup>3</sup>, yıllık ortalama için 15 µg/m<sup>3</sup> olarak, AB ülkeleri tarafından günlük ortalama için 40 µg/m<sup>3</sup>, yıllık ortalama için 20 µg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. İstasyon peronunda yapılan ölçümlerde en yüksek ortalama değer, Taksim istasyonunda (182 µg/m<sup>3</sup>) bulunmuştur. Ancak Taksim-4.Levent hattında makinist kabin içi (50 µg/m<sup>3</sup>) ve tren içi (62 µg/m<sup>3</sup>) PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları, Aksaray – Havalimanı hattında makinist kabin içi (73 µg/m<sup>3</sup>) ve tren içindeki (73 µg/m<sup>3</sup>) konsantrasyonlardan daha düşük bulunmuştur. Taksim-4.Levent hattında tren içinde yapılan havalandırmanın diğer hatta göre daha iyi olduğu söylenebilir. Fakat ölçüm sonuçlarını uluslararası standartlar ile karşılaştırdığımızda tüm sonuçların sınır değerlerin oldukça üstünde olduğu görülmektedir.

#### 4. DEĞERLENDİRME

Tünel tozlarının bileşimi, boyut dağılımı ve konsantrasyonu dış ortamdaki partikül maddeden çok farklı özellikler gösterir. Bu farklılıklar tünel tozlarının sağlık risklerini arttırmaktadır. Metro sistemleri gibi hava sirkülasyonunun az olduğu kapalı mekanlarda hava kirleticiler, dış ortamdaki miktarlarına göre daha yüksek oranlarda bulunabilmektedir.

İstanbul metrosu yaklaşık 100 yıldır hizmet veren Londra, New York ve Berlin gibi metrolardan çok daha yeni teknolojiye sahiptir. Yurtdışındaki metrolar ve İstanbul metrosunun genel özellikleri ve partikül madde konsantrasyonları Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 5 ve Tablo 6'dan görüldüğü gibi metroların havalandırma sistemi, fren sistemi ve tekerlek tipindeki farklılıklar metrolardaki partikül madde konsantrasyonlarını etkilemektedir. Metrolarda partikül maddenin en önemli kaynağı trenin raylar üzerindeki hareketidir. Bu nedenle metrolarda uygun fren ve tekerlek sistemi seçimi metrodaki partikül madde seviyesinin azalması bakımından çok önemlidir. Uygun fren sistemi ve lastik tekerlek sistemine sahip metrolarda partikül madde konsantrasyonları oldukça düşüktür. Mexico City (PM<sub>2.5</sub>: 61 µg/m<sup>3</sup>) ve Hong Kong (PM<sub>2.5</sub>: 33 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>10</sub>: 44 µg/m<sup>3</sup>) metrolarında lastik tekerlek sistemi mevcuttur ve partikül madde seviyeleri diğer metrolara göre düşüktür. Tokyo metrosunda, Londra ve Stockholm metrolarındakine benzer eski tip (blok) fren sistemi mevcuttur, fakat aynı zamanda lastik/çelik tekerlek sistemine sahip olması nedeniyle partikül madde seviyesi diğer iki metrodan çok daha düşüktür (Tokyo PM<sub>10</sub>: 33-120 µg/m<sup>3</sup>, Londra PM<sub>2.5</sub>: 270-480 µg/m<sup>3</sup>, Stockholm: 165-258 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>10</sub>: 302-469 µg/m<sup>3</sup>). Dolayısıyla partikül madde miktarını azaltmak için mevcut fren sisteminde bir değişikliğe gidilmesi ekonomik olmayacağından ancak yeni jenerasyon trenlerde tekerlek sisteminin kauçuk/lastik olarak tasarlanmasının metrolarda partikül madde gideriminde oldukça etkili bir yöntem olacağını söylemek mümkündür.

İstanbul metrosunda tren içlerinde filtreli klima sistemler kullanılmalıdır. Filtreli havalandırma sistemleri partikül maddeleri filtrelerde tutarak ortamdaki partikül madde seviyesinin azalmasını sağlar. 4.Levent-Taksim hattında istasyon peronlarında PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları 105-182 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Yine 4.Levent-Taksim hattında tren içindeki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu ise 62 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bunun sebebi tren içindeki filtreli klima havalandırma sisteminin bulunmasıdır. Yurtdışında da klima veya doğal havalandırması olan metrolar arasında partikül madde seviyesi bakımından büyük farklar vardır (Tablo 5-6).

İstanbul metrosunun havalandırma sisteminde yapılabilecek iyileştirmeler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- (a) Tünellere havayı temizleyen ve tozun çökmesine fırsat vermeden havanın değişimini sağlayan güçlü havalandırıcılar (ventilatörler) yerleştirilebilir
- (b) Tren içinde toz tutucu filtresi olan klima sistemleri kullanılabilir
- (c) Trenlerin klima ve havalandırma sistemlerindeki filtreler düzenli aralıklarla değiştirilmelidir.

Havalandırma ve klima sistemlerindeki filtrelerin düzenli ve kontrollü bir şekilde periyodik olarak değiştirilmesi çok önemlidir. Ayrıca filtre ve klimaların standartlara uygun olmasına dikkat edilmelidir. Havalandırma sisteminde bu düzenlemeler yapıldığında özellikle 4.Levent-Taksim metro hattındaki istasyon peronlarında partikül madde seviyeleri düşecektir.

Ayrıca İstanbul metrosunda tünel içinde yıkama ve temizleme işlemleri henüz yapılmamıştır. Tünel temizliği tüneldeki toz miktarının azalmasını sağlar. Stockholm'de yapılan bir çalışmada su ile yapılan tünel temizliğinden sonra 15 gün süreyle ölçümler yapılmış ve  $PM_{10}$ 'da %13,  $PM_{2.5}$ 'ta %10'luk bir azalma olduğu tespit edilmiştir [6]. Bu sonuçlar düzenli olarak yapılan tünel yıkama sonrası elde edilen sonuçlardır. Tünel temizliğinin yapılması partikül madde miktarının azalmasını sağlayacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma İstanbul Büyükşehir Belediyesinin bir iştirak şirketi olan İstanbul Ulaşım Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

**Tablo 5.** Yurtdışındaki Metrolar ve İstanbul Metro Sistemlerinin Genel Özelliklerinin Karşılaştırılması[18]

Yer	1890	1902	1904	1927	1950	1966	1969	1976	1982	1987	1989	1999	1989	2000
Yer	London	Berlin	New York	Tokyo	Stockholm	Montreal	Meksiko City	Washington	Helsinki	Cairo	Hong Kong	Guangzhou	Istanbul	Istanbul
Yer	a				m		City	n			Kong	u		
													M1	M2
Açıldığı tarih	1890	1902	1904	1927	1950	1966	1969	1976	1982	1987	1989	1999	1989	2000
Günde seyahat eden yolcu sayısı (milyon)	2.8	1.2	4.6	7.4	0.8	0.7	4.4	0.5	0.2	2.7	2.3	0.5	0.24	0.185
Fren sistemi	Blok	Regeneratif (Elektrik) /sürtümme (pnömatik)	Dinamik (Elektronik)	Blok	Elektrik/ blok	Reostatlı/ dinamik			Elektrik		Elektrik/ sürtümme	Elektrik/ sürtümme	Pnömati k	Pnömati k
Tekerlek tipi	Çelik	Çelik	Çelik	Lastik/ Çelik	Çelik	Lastik	Lastik	Çelik	Çelik	Çelik	Lastik/ Çelik	Çelik	Çelik	Çelik
Havalandırma sistemi	Doğal	Doğal	Klima	Klima	Doğal	Doğal	Doğal	Klima	Isıtma ve filtreasyon ile doğal mekanik destek	Heating, Klima, doğal	Klima	Klima	Doğal	Filtres- yonlu havalan- dirma
İstasyon sayısı	275	170	468	266	100	65	175	86	16	65	53	31	18	6
Uzunluk (km)	408	144	368	292	108	66	201	170	21	65	60	37	19.6	8.5
M1: Aksaray - Havalimanı hafif metro hattı														
M2: 4. Levent- Taksim metro hattı														



**Tablo 6.** Yurtdışındaki Metrolar ve İstanbul Metro Sistemlerinde Yapılan Partikül Madde Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması [18]

Yer	Ölçüm yeri	Ölçüm Süresi	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	TSP	İstanbul	
						M1	M2
Londra	İstasyon peronu/ kabin	8 saatlik vardiya	270-480 130-200	141-153		İstasyon Peronu/ Kabin içi/ Tren içi	İstasyon Peronu/ Kabin içi/ Tren içi
Berlin	İstasyon peronu	9 saat					
New York	İstasyon peronu	8 saat	62				
Meksiko City	İstasyon peronu	1 saat	61 (31-96)				
Hong Kong	İstasyon peronu	25-50 dk	33(21-48)	44 (23-85)			
Guangzhou	İstasyon peronu	2.5 saat	44	67 (26-123)			
Tokyo	İstasyon peronu/ kabin	3 saat		30-120			
Stockholm	İstasyon peronu	12 saat	165-258 (34-388)	302-469 (59-722)			
Washington	İstasyon peronu	8 saatlik vardiya/ 24 saat					
Helsinki	İstasyon Peronu/ tren içi	İş günleri	4744- 60±18 /21±4				
Cairo	İstasyon peronu	1 saat			938(794-1094)		
						Aksaray 117 (90-150) Otogar 63 (30-140) Havallmanı 67 (40-110)	4.Levent 91 (50-130) Şişli 153 (80-230) Taksim 221 (130-350)
						73 73(40-200)/ 73	62 50 (15-100)/ 62
						Aksaray 89 (45-135) Otogar 98 (60-140) Havallmanı 49 (35-80)/ 73(40-200)/ 73	4.Levent 105 (50-240) Şişli 107 (70-165) Taksim 182 (110-280)/ 50 (15-100)/ 62
						18 saat/ 18 saat/ 6 saat	24saat/ 18 saat/ 6 saat

**KAYNAKLAR**

- [1] CHAN, L.Y., LAU, W.L. 2002a, Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 36 (21) 3363-3373.
- [2] CHAN, L.Y., LAU, W.L. ZOU, S.C. 2002b, Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China. *Atmospheric Environment* 36 (38) 5831-5840.
- [3] AARNIO, P., TUOMI, T., KOUSA, A. 2005, The concentrations and composition of and exposure to fine particles (PM<sub>2.5</sub>) in the Helsinki subway system. *Atmospheric Environment* 39(28), 5059-5066.
- [4] CHILLRUD, S.N, EPSTEIN, D. 2004, Elevated airborne exposures of teenagers to manganese, chromium, and iron from steel dust and New York City's subway system. *Environmental Science and Technology*
- [5] GOMEZ –PERALES, L.E., COLVILE, R.N., NIEUWENHUIJSEN, M.J. 2004, Commuters' exposure to PM<sub>2.5</sub>, CO, and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City. *Atmospheric Environment* 38(8), 1219-1229.
- [6] JOHANSSON, C., JOHANSSON, P.A. 2003, Particulate matter in the underground of Stockholm. *Atmospheric Environment* 37 (1), 3-9.
- [7] KARLSSON, H.L., LJUNGMAN, A.G., 2006, Comparison of genotoxic and inflammatory effects of particles generated by wood combustion, a road simulator and collected from street and subway. *Toxicological letters* 165, 203-211.
- [8] KLEMM,R.J. and MASON, R.M.J.R., 2000, Aerosol Research and Inhalation Epidemiological Study (ARIES): air quality and Daily Mortality Statistical Modeling-Interim Results, *J.Air.Waste Manage.Assoc*, 50, 1433-1439.
- [9] SEATON, A., CHERRIE, J. ,2005, The London underground: dust and hazards to health. *Occupational and Environmental Medicine*, 62, 355-362.
- [10] SIMPSON, R.W. ,1992, A Statistical Analysis of Particulate Data Sets in Brisbane, Australia. *Atmospheric Environment*. Vol 26-1, 75-86.
- [11] SIMPSON, R. W., MİLES, G. ,1990, Controlling Emissions to Avoid Violations of Health Standards for Short Term and Long Term Exposures to TSP Concentrations. *Atmospheric Environment*. Vol 24-1, 99-105
- [12] WANG, G., HUANG, L., GAO, S., WANG, L., 2002, Measurements of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Urban Area of Nanjing, China and the Assessment of Pulmonary Deposition of Particle Mass. *Chemosphere*, 48:689-695.
- [13] WANG, I.T, CHİCO, T., HUANG, Y.H., FARBER, R.J., 1999, Development, Evaluation and Application of a Primary Aerosol Model. *Journal of the Air and Waste Management*, Vol.49, Issue SPEC.ISS, 57-68.
- [14] WILSON, W.E. ve SUH, H.H., 1997, Fine Particles and Coarse Particles; Concentration Relationships Relevant to Epidemiologic Studies, *J.Air Waste Manage. Assoc.*, 47, 1238-1249.
- [15] PFEIFFER, G.D., HARRISON, R.M., LYNAM, D.R. ,1996, Personal exposures to airborne metals in London taxi drivers and office workers in 1995 and 1996. *The Science of the Total Environment*. 235 (1-3), 253-260.
- [16] BOUDIA, N., HALLEY, R., KENNEDY, G. 2006, Manganese concentrations in the air of the Montreal (Canada) subway in relation to surface automobile traffic density. *Science of the Total Environment* 366, 143-147.
- [17] ONAT, B., ŞAHİN, Ü., KAYA, A., KARİM, P., CERAN, T. 'İstanbul Metrosunda Solunabilir Partikül Maddenin Elementel Bileşimi' Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, 22-25 Ekim 2008, Hatay.
- [18] NIEUWENHUIJSEN, M.J., GOMEZ-PERALEZ, J.E., COLVİLE, R.N., 2007. Levels of particulate air pollution, its elemental composition, determinants and health effects in metro systems. *Atmospheric Environment* 41, 7995-8006.

## 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.

### Ülkü ŞAHİN

1975 yılı Ordu doğumludur. 1996 yılında İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 2001 yılında Yüksek Mühendis, 2005 yılında Doktor ünvanı almıştır. 1998-2007 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Hava Kirlenmesi, Yapay sinir ağları, Partikül madde, Ağır metal konularında çalışmaktadır.

### Baktıgül 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 Ajansın'da çalışmıştır. 2006 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır.

### Pınar KARİM

1977 yılı Rize doğumludur. 1998 yılında İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi, Kamu Yönetimi Bölümünü bitirmiştir. 1999-2006 yılları arasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bir iştiraki olan İGDAŞ-İstanbul Gaz Dağıtım San. ve Tic. A.Ş.'de çalışmaya başlamış, denetçi-uzman unvanlarıyla İnceleme Kurulu, Satınalma, Kalite bölümlerinde görev yapmıştır. 2006 yılından itibaren kent içi raylı sistemlerin (metro, hafif metro, tramvay, teleferik) tasarım-işletmecilik ve bakımlarını yapan İstanbul Ulaşım San ve Tic. A.Ş.'de Kalite ve İstatistik Analiz Şefi olarak görev yapmaktadır. Kalite Yönetim Sistemi (ISO 9001), Çevre Yönetim Sistemi (ISO 14001), İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi (OHSAS 18001) kurulum, geliştirme ve iyileştirilmesi, sürdürülebilir kalkınma, girdi kalite kontrol-kalibrasyon ve yolcu istatistikleri konularında çalışmaktadır.

### Tuba CERAN

1984 yılı Malatya doğumludur.2006 yılında İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir.2006 yılından itibaren kentiçi raylı sistemlerin (metro, hafif metro, tramvay, teleferik) tasarım-işletmecilik ve bakımlarını yapan İstanbul Ulaşım San ve Tic. A.Ş.'de Çevre Yetkilisi olarak görev yapmaktadır. Entegre Yönetim Sistemi (ISO 9001, OHSAS 18001, ISO 14001) faaliyetleri kapsamında iç denetimlerin gerçekleştirilmesinde, Çevre Yönetim Sisteminin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi, sürdürülebilirliğinin sağlanması, ISO 14001 kapsamında gerekli eğitimlerin verilmesi ve Çevre Risk Analizlerinin yapılması konularında çalışmaktadır.