

# KENTSEL ALANLARDA ULAŞIM ARAÇLARINDAN KAYNAKLANAN İNCE PARTİKÜL MADDE MARUZİYETİNİN BELİRLENMESİ

*Determination Of Exposure To Fine Particles In Transportation Vehicles In Urban Areas*

**Burcu UZUN**  
**Burcu ONAT**  
**Ülkü ALVER ŞAHİN**  
**Özcan AKIN**  
**Fazilet ÖZKAYA**  
**Coşkun AYVAZ**

## ÖZET

Trafik yoğunluğunun fazla olduğu kentsel bölgelerde, insanlar çeşitli günlük aktiviteler sırasında seyahat ederken, trafik kaynaklı emisyonlara maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul'da altı farklı seyahat türünde (otobüs, metro, metrobüs, araba, deniz otobüsü ve feribot) ultra ince partikül (UİP), PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ve bireysel maruziyet oranları belirlenmiştir. 10 nm-1000 nm arasındaki UİP ölçümleri, CPC Model 3007 taşınabilir partikül sayacı ile yapılmıştır (TSI Inc., Shoreview, MN, USA) PM<sub>2.5</sub> ölçümleri, anlık ölçüm yapabilen PDR 1200 taşınabilir aerosol monitör (Thermo-Fisher Scientific, USA) ile yapılmıştır. Otomobil ölçümleri, (1) camlar açık ve hava sirkülasyonu kapalı, (2) camlar kapalı ve hava sirkülasyonu orta, klima aktif (A/C) şekilde ayarlanarak iki durum için gerçekleştirilmiştir. Ortalama UİP konsantrasyonları otobüs, metro, metrobüs, deniz otobüsü ve feribot için sırasıyla, 33242 pt.cm<sup>-3</sup>, 18319 pt.cm<sup>-3</sup>, 31622 pt.cm<sup>-3</sup>, 24547 pt.cm<sup>-3</sup>, 22304 pt.cm<sup>-3</sup> olarak, PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ise sırasıyla, 40.3 µg.m<sup>-3</sup>, 27.7 µg.m<sup>-3</sup>, 21.9 µg.m<sup>-3</sup>, 19.5 µg.m<sup>-3</sup>, 16.4 µg.m<sup>-3</sup> olarak bulunmuştur. Pencereleler açıkken arabada ölçülen UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları pencereleler kapalıyken ölçülen konsantrasyonlardan sırasıyla 8.8 ve 4.3 kat daha yüksek bulunmuştur. Otobüs ve metrobüs bireysel maruziyet oranları, UİP için 10.8E<sup>+8</sup>-8.1E<sup>+8</sup> pt.km<sup>-1</sup> ve PM<sub>2.5</sub> için 1.33-0.56 µg.km<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Deniz ulaşım araçlarında, seyahat süresi uzun olan feribotta hesaplanan UİP ve PM<sub>2.5</sub> bireysel maruziyet oranlarının, deniz otobüsüne göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Otomobilde camlar açıkken, ortalama UİP ve PM<sub>2.5</sub> maruziyeti sırasıyla 12.6E<sup>+8</sup> pt.km<sup>-1</sup> ve 0.70 µg.km<sup>-1</sup> olarak, pencereleler kapalıyken ise sırasıyla 1.4E<sup>+8</sup> pt.km<sup>-1</sup> ve 0.16 µg.km<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ultra ince partiküller, PM<sub>2.5</sub>, maruziyet, seyahat türü

## ABSTRACT

In urban areas with high traffic density, people are exposed to traffic-related emissions while traveling during various daily activities. In this study, ultra-fine particles (UFP) and PM<sub>2.5</sub> concentrations were monitored in six different travel mode in Istanbul and commuters' inhalation rates were calculated. CPC Model 3007 portable condensation particle counter (TSI Inc., Shoreview, MN, USA) was used to measure UFP, with a particle number range of from 10 to 1000 nm. PM<sub>2.5</sub> was measured using a pDR 1200 portable real time aerosol monitor (Thermo-Fisher Scientific, USA). Car measurements were conducted for the following two conditions; (1) the windows open and air vents closed, (2) the windows closed and air vents set medium, air conditioning on (A/C). The average UFP concentrations were 33242 pt.cm<sup>-3</sup>, 18319 pt.cm<sup>-3</sup>, 31622 pt/cm<sup>-3</sup>, 24547 pt.cm<sup>-3</sup>, 22304 pt.cm<sup>-3</sup> in bus, metro, metrobüs, fast ferry and car ferry, respectively. The average PM<sub>2.5</sub> concentrations were 40.3 µg.m<sup>-3</sup>, 27.7 µg.m<sup>-3</sup>, 21.9 µg.m<sup>-3</sup>, 19.5 µg.m<sup>-3</sup>, 16.4 µg.m<sup>-3</sup> in bus, metro, metrobüs, fast ferry and car ferry, respectively. It was found that the UİP and PM<sub>2.5</sub> concentrations in car with the windows open were 8.8 and 4.3 times higher than the concentrations in car with the windows were closed. The commuters inhalation rates

were between  $13.9E^{+8}$  and  $6.8E^{+8}$  pt.km<sup>-1</sup> for UFP and between 1.79 and 0.44 µg.km<sup>-1</sup> for PM<sub>2.5</sub> in bus and metrobus, respectively. In the marine vessels, the inhalation rates for UFP and PM<sub>2.5</sub> in car ferry with long travel period was higher than the inhalation rates in fast ferry. The average exposure concentrations for UFP and PM<sub>2.5</sub> in the car with windows open was examined  $12.6E^{+8}$  pt.km<sup>-1</sup> and 0.70 µg.km<sup>-1</sup>, while the average exposure concentrations for UFP and PM<sub>2.5</sub> in the car with windows closed were  $1.4E^{+8}$  pt.km<sup>-1</sup> and 0.16 µg.km<sup>-1</sup>.

**Key Words:** Ultra fine particles, PM<sub>2.5</sub>, exposure, travel mode.

## 1. GİRİŞ

Trafikten kaynaklanan hava kirleticilerine, kısa ve uzun süreli maruziyet sonucunda olumsuz sağlık etkilerine sebep olduğu belirtilmiştir [1,2,3]. Kentsel alanlarda, ince partiküller (PM<sub>2.5</sub>) (aerodinamik çap<2,5 µm) ve aerodinamik çapı 100 nm'den küçük olan ultra ince partiküller (UİP) trafik ile ilgili başlıca kirleticiler arasında yer almaktadır [4,5,6].

PM<sub>2.5</sub> ve UİP'nin sağlık üzerindeki olumsuz etkileri birçok maruziyet çalışmasında belirtilmiştir [7,8,9,10]. PM<sub>2.5</sub>, partikül madde ile ilişkili sağlık riskinin önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir [11]. UİP'ler küçük boyuta sahip olmasından dolayı, alveollere kolayca inerek solunum yolları üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır [12]. Kentsel alanlarda UİP'lerin ana kaynağı motorlu taşıt emisyonlarıdır [13] ve araç içi UİP konsantrasyonları trafik yoğunluğundan ve araç hızından etkilenmektedir [14]. Özellikle toplu taşıma mikro ortamlarında seyahat ederken, araç yoğunluğunun fazla olması, kişilerin günlük maruziyetine ve buna bağlı olarak sağlık etkilerine önemli ölçüde katkı sağlayabilmektedir [15,16,17,18,19].

Kişisel maruziyet ile ilgili yapılan çalışmalar, yüksek konsantrasyonların görülmesi sebebiyle otomobilde ve toplu taşıma mikro ortamlarındaki kirlenici konsantrasyonlarına odaklanmıştır. Trafik mikro ortamlarındaki kirlenici maruziyet seviyeleri, kirlenicinin ortamdaki konsantrasyonu, zaman ve aktivite düzenleri, seyahat türü, meteorolojik koşullar, trafik yükü ve yol özellikleri gibi faktörlerle ilgilidir [16,17,20,21,22,23,24,25,26]. Farklı seyahat türlerinin kirlenici maruziyetine olan katkılarının belirlenmesi, maruziyet riskinin azaltılması için yararlı bilgiler sağlayacağından önemlidir [22].

Son yıllarda, İstanbul'da özel araç sayısı hızla artmıştır ve tüm araç trafiğinin %40'ını oluşturmaktadır [27]. İstanbul'da ulaşım araçlarından kaynaklanan kirlenici maruziyeti üzerine çok az sayıda çalışma yapılmıştır. PM<sub>2.5</sub> maruziyeti ve partikül madde sayımı (0.3, 0.5, 1.0, 5.0 ve 10 µm) ile ilgili otomobil, otobüs, hafif raylı sistem ve metrolarda yapılan çalışmalar, trafik mikro ortamlarındaki partiküllerin %90'ının, 1,0 µm'den küçük olduğunu ve PM<sub>2.5</sub> maruziyetinin otobüs, otomobil ve yürüme modlarında sakin hava koşullarında (rüzgar hızı ≤ 2 m/s) daha yüksek olduğunu göstermiştir [28,29]. Bu çalışmanın amacı, İstanbul'da sık kullanılan farklı seyahat türleri (otobüs, metro, metrobus, otomobil, deniz otobüsü ve feribot) içinde UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarını belirlemek ve farklı mikro ortamların bireysel katkılarını tespit etmektir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Ölçümler kişisel hava örnekleyicileri kullanılarak, otobüs, metrobus, metro, otomobil, deniz otobüsü ve feribot olmak üzere altı farklı seyahat türünde Haziran 2016–Eylül 2017 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Tablo 1' de tercih edilen seyahat türleri ve özellikleri gösterilmektedir.

İlk olarak, ölçümler rota boyunca ilk durakta (otobüs istasyonu veya platform) 15 dakika (dk) boyunca dış ortamda yapılmıştır. Ardından, araç içi ölçümler rotanın son durağına kadar devam etmiştir. Son olarak, 15 dk boyunca araç dışında ölçümler yapılmıştır. Ölçümler dönüş rotasında da aynı şekilde devam etmiştir. Toplamda sabah ve öğlen olmak üzere iki farklı periyotta 475 trip yapılmıştır. Otomobil

ölçümleri, (1) camlar açık ve hava sirkülasyonu kapalı, (2) camlar kapalı ve hava sirkülasyonu orta, klima aktif (A/C) şekilde ayarlanarak iki durum için gerçekleştirilmiştir. Ölçümler otobüs ve metrobüsler de orta kapının hizasında, hafif raylı sistemde trenin ikinci vagonun da yapılmıştır. İstatistiksel analizler, SPSS programı (sürüm 20.0) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1:** Seçilen güzergahlar ve özellikleri.

Seyahat türü	Rota	Uzunluk (km)	Durak Sayısı	Seyahat süresi (dk)	Trip Sayısı
Otobüs1	Bakırköy-Boğazköy Mahallesi	40	48	75	78
Otobüs2	Bakırköy-Cihangir Mahallesi	20	39	65	42
Metrobüs1	Zincirlikuyu-Avcılar	30	26	60	72
Metrobüs2	Söğütlüçeşme-Avcılar	42	33	85	72
Hafif raylı metro	Yenikapı-Atatürk Havalimanı	26,1	18	35	46
Otomobil (cam açık/kapalı)	Avcılar-Zincirlikuyu	30	-	50	76
Deniz Otobüsü	Bakırköy-Bostancı	20	3	50	69
Feribot	Yenikapı-Yalova	50	-	75	20

## 2.1. Ölçüm Cihazları

10 nm-1000 nm arasındaki UİP ölçümleri, partikül sayacı ile yapılmıştır (TSI 3007 Hand held Condensation Particle Counter). 100000 partikül.cm<sup>-3</sup>'den büyük olan partikül ölçümleri, parçacık sayımının yüksek konsantrasyonların etkisini önlemek için Denklem 1 kullanılarak düzeltilmiştir [30].

$$y=38456^{e^{0.00001x}}, x>100000 \text{ cm}^{-3} \quad (1)$$

burada x=Cihazın ölçtüğü UİP konsantrasyonu, y=düzeltilmiş UİP değerini göstermektedir. PM<sub>2.5</sub> ölçümleri, pDR 1200 taşınabilir gerçek zamanlı aerosol monitörü (Thermo-Fisher Scientific, ABD) kullanılarak yapılmıştır. pDR 1200'ün doğruluğunu test etmek için, Partisol FRM Model 2000 gravimetrik hava örnekleyicisi (Thermo-Fisher Scientific, ABD) karşılaştırma yapmak için kullanılmıştır. İki yöntem arasındaki korelasyon katsayısı (r) 0.79 olarak belirlenmiştir. Ölçümler sırasında cihazların girişleri solunum yüksekliğine yerleştirilmiştir.

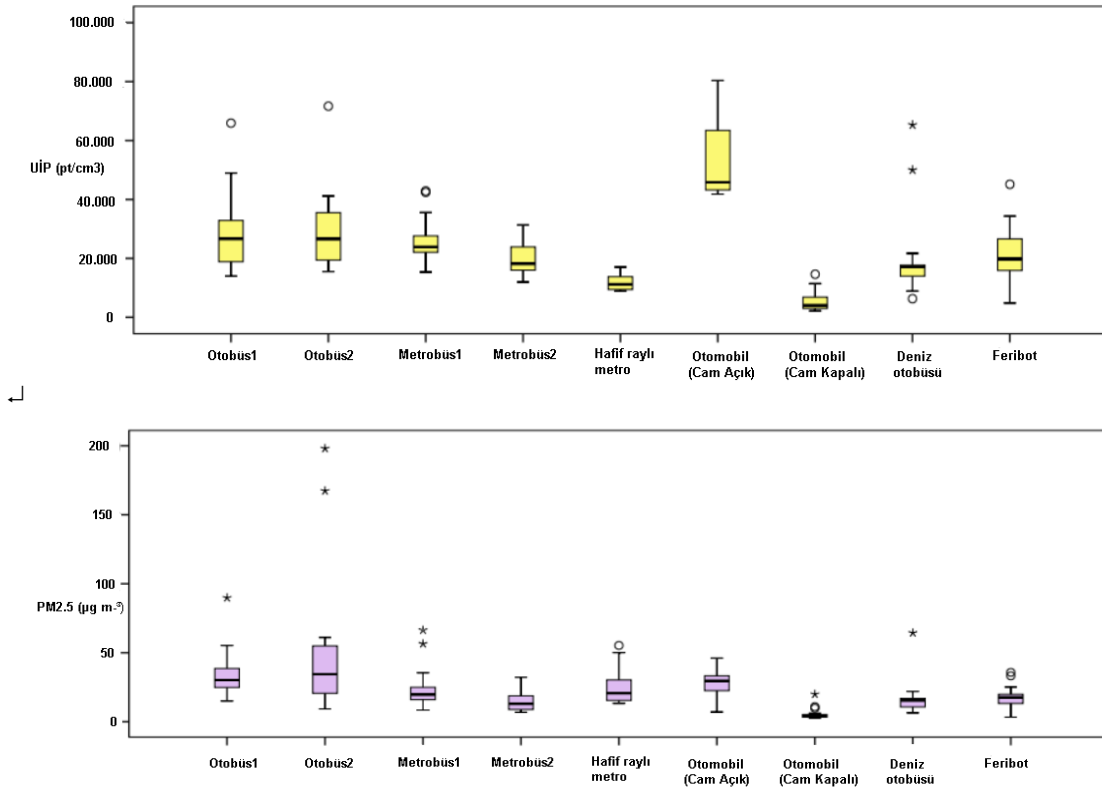
## 2.2. Bireysel maruziyet hesabı

Kilometre başına bireysel maruziyet, Denklem 2' ye göre hesaplanmıştır [25]. Solunum oranları otomobil ve otobüs yolcuları için sırasıyla 11,8 ve 12,7 L.dk<sup>-1</sup> olarak kabul edilmiştir [31]. Aynı zamanda, hafif raylı sistem, deniz otobüsü ve feribot ve istasyon/platform için 12.7 L dk<sup>-1</sup>lik bir solunum oranı kabul edilmiştir. İstasyon ve platformdaki ortalama bekleme süresi 5 dk olarak alınmıştır.

$$\text{Bireysel maruziyet } (\mu\text{g}/\text{km}) = [\text{Konsantrasyon } (\mu\text{g}.\text{m}^{-3}) \times \text{Zaman (dakika)} / \text{Uzaklık (km)}] \times \text{Solunum oranı (m}^3.\text{dk}^{-1}) \quad (2)$$

## 3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları altı farklı seyahat türünde izlenmiştir ve bireysel maruziyet oranları belirlenmiştir. Şekil 1, farklı seyahat türlerinde ölçülen UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının kutu grafiklerini göstermektedir. Tablo 2'de araç içi ve istasyon/platformdaki ortalama UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ve her bir seyahat türü için standart sapmalar gösterilmektedir.



**Şekil 1.** Seyahat türlerinde ölçülen ortalama UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının kutu grafikleri.

Çalışma sonuçlarına göre, en yüksek ortalama UİP konsantrasyonu, otomobilde cam açık seyir halinde iken ( $63825 \text{ pt.cm}^{-3}$ ) gözlenmiştir. Pencereler kapalıyken otomobilin içinde ölçülen konsantrasyonlar, havalandırma koşulları nedeniyle tüm seyahat türlerinde en düşüktür. Bu sonuçlar, otomobillerde cam açık seyir halinde iken daha yüksek kirletici konsantrasyonların oluşabileceğini göstermiştir [23,32]. Daha önceki otomobilde bu iki farklı durum için yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bigazzi ve Figliozzi (2012), cam kapalı iken araç içi UİP konsantrasyonlarının, daha düşük olduğunu ve klima açıkken daha da azaldığını gözlemlemişlerdir [14]. Bu çalışmanın sonuçlarına benzer şekilde, Ham ve diğ. (2017), araç içerisinde en düşük ortalama UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının, camlar kapalı ve klima devridaim durumdayken gözlemlemiştir [25]. Otobüs1 ve otobüs2 seferlerinde ölçülen en yüksek ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları sırasıyla  $43.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $37.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bulunmuştur. Keskin ve Dilmaç (2017) tarafından İstanbul'da iki farklı otobüs hattında yapılan çalışmada, hafta içi ortalama PM<sub>10</sub> konsantrasyonu sırasıyla  $158 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $189 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu ise sırasıyla  $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür [33]. Bu çalışmada, otobüslerde pencere ve havalandırma koşulları kontrol edilememiştir. Havalandırma ayarları, araçlardaki iç/dış ortam kirletici oranlarının en büyük belirleyicisidir. Camların açılması karayolundaki kirletici maruziyetini etkilemektedir [34]. İkinci en düşük UİP konsantrasyonu  $18319 \text{ pt.cm}^{-3}$  olarak hafif raylı metroda ölçülmüştür. Hafif raylı sistem elektrik ile çalıştığından kirletici madde üretmemektedir. Bununla birlikte, dış ortamdan gelen kirletici konsantrasyonları, tren içi kirlilik oranlarını etkileyebilir. Taşıt trafiğine yakın olmak, yüksek konsantrasyonlarda UİP ve PM<sub>2.5</sub>'e neden olmaktadır ve ana yollardan uzak olan güzergahlarda daha düşük konsantrasyonlar görülmektedir [22]. Deniz otobüsü ve feribotta ölçülen ortalama UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının birbirine yakın değerler almakla birlikte deniz otobüsünde daha yüksek olduğu görülmüştür. Deniz otobüsünde iki kirletici konsantrasyonun daha yüksek olmasında, güzergah üzerinde ara duraklarının olması ve bu duraklardaki yolcu iniş binişlerinde oluşan egzoz emisyonlarının araç içi konsantrasyonlara etkisi olduğu düşünülmektedir.

### 3.1. Bireysel Maruziyet

İki kirleticinin ulaşım araçları içinde kilometre başına ve istasyon/peronlarda beklerken hesaplanan bireysel maruziyetler ve standart sapmaları Tablo 2'de verilmiştir. Kilometre başına hesaplanan maruziyetler, yolcuların farklı seyahat türlerinden kaynaklanan maruziyetlerin karşılaştırılması ve kirleticilere en az miktarda maruz kalınan seyahat türünün seçiminde bir yol sağlamaktadır [25].

**Tablo 2.** Her bir seyahat türünde ölçülen araç içi UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları.

Seyahat türü	Araç içi konsantrasyon		Bireysel maruziyet			
	UİP pt/cm <sup>3</sup>	PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup>	pt/km	UİP partikül	PM <sub>2.5</sub> µg/km	µg
<b>Otobüs1</b>						
Araç içi	32795±14973	37.1±16.7	7.8E <sup>+8</sup> ±3.6E <sup>+8</sup>	312.4E <sup>+8</sup> ±142.6E <sup>+8</sup>	0.88±0.40	35.3±15.9
Otobüs durağı	21635±14736	28.2±22.6	-	13.7E <sup>+8</sup> ±9.4E <sup>+8</sup>	-	1.8±1.4
<b>Otobüs2</b>						
Araç içi	33689±13991	43.4±35.0	13.9E <sup>+8</sup> ±5.8E <sup>+8</sup>	278.1E <sup>+8</sup> ±115.5E <sup>+8</sup>	1.79±1.44	35.8±28.9
Otobüs durağı	27264±19447	29.3±26.2	-	17.3E <sup>+8</sup> ±12.3E <sup>+8</sup>	-	1.9±1.7
<b>Metrobüs1</b>						
Araç içi	36969±12732	26.7±15.0	9.4E <sup>+8</sup> ±3.2E <sup>+8</sup>	281.7E <sup>+8</sup> ±97.0E <sup>+8</sup>	0.68±0.38	20.3±11.4
Metrobüs durağı	46913±16397	35.5±20.4	-	29.8E <sup>+8</sup> ±10.4E <sup>+8</sup>	-	2.3±1.3
<b>Metrobüs2</b>						
Araç içi	26275±11099	17.1±11.7	6.8E <sup>+8</sup> ±2.9E <sup>+8</sup>	283.6E <sup>+8</sup> ±119.8E <sup>+8</sup>	0.44±0.30	18.5±12.6
Metrobüs durağı	29179±17404	24.0±16.6	-	18.5E <sup>+8</sup> ±11.1E <sup>+8</sup>	-	1.5±1.1
<b>Hafif raylı metro</b>						
Vagon içi	18319±8057	27.7±12.1	3.1E <sup>+8</sup> ±1.4E <sup>+8</sup>	81.4E <sup>+8</sup> ±35.8E <sup>+8</sup>	0.47±0.21	12.3±5.4
Peron	14576±13067	30.5±12.5	-	9.3E <sup>+8</sup> ±8.3E <sup>+8</sup>	-	1.9±0.8
<b>Otomobil</b>						
Cam Açık	63825±19777	35.7±15.9	12.6E <sup>+8</sup> ±3.9E <sup>+8</sup>	376.6E <sup>+8</sup> ±116.7E <sup>+8</sup>	0.70±0.31	21.1±9.4
Cam Kapalı	7224±4696	8.3±5.8	1.4E <sup>+8</sup> ±0.9E <sup>+8</sup>	42.6E <sup>+8</sup> ±27.7E <sup>+8</sup>	0.16±0.11	4.9±3.4
<b>Deniz Otobüsü</b>						
Araç içi	24547±13912	19.5±9.5	-	124.6±70.6	-	9.9±4.8
Rıhtım				16.5±123.7		1.8±1.5
<b>Feribot</b>						
Araç içi	22304±9140	16.4±8.6	-	212.4±87.5	-	15.6±8.2
Rıhtım				22.6±153.0		1.9±1.3

Kilometre başına en yüksek ortalama UİP ve PM<sub>2.5</sub> maruziyeti 13.9E<sup>8</sup> pt.km<sup>-1</sup> ve 1.79 µg.km<sup>-1</sup> olarak otobüs2'de ölçülmüştür. Kilometre başına en düşük ortalama UİP ve PM<sub>2.5</sub> maruziyeti sırasıyla 1.4E<sup>8</sup> pt.km<sup>-1</sup> ve 0.16 µg.km<sup>-1</sup> olarak otomobilde camlar iken tespit edilmiştir. Kilometre başına hesaplanan maruziyetlerin, güzergah ve seyahat türlerine göre oldukça değişken olduğu görülmüştür. Araç içi kirletici madde konsantrasyonları trafik yoğunluğundan ve hız koşullarından etkilenebilir [14] ve ana yol üzerinde uzun bir seyahat süresi araç ve otobüslerde bulunan kirleticilere yüksek maruz kalma ile sonuçlanabilir. Otobüs ve metrobüs duraklarında UİP bireysel maruziyeti 29.8E<sup>+8</sup> – 17.3E<sup>+8</sup> partikül arasında, PM<sub>2.5</sub> bireysel maruziyeti ise 2.3-1.5 µg arasında değişmiştir. En düşük UİP bireysel maruziyet peronda gözlenmiştir. Deniz otobüsü ve feribot rıhtımlarında hesaplanan UİP bireysel maruziyet oranının 22.6-16.5 partikül arasında, PM<sub>2.5</sub> bireysel maruziyet oranının ise 1.9-1.8 µg arasında değiştiği ve yakın değerler aldığı görülmüştür. İstasyonlardaki kirletici seviyeleri, meteorolojik koşullar ve trafik yoğunluğu gibi faktörler bu farklılıkların nedeni olabilir.

### SONUÇ

Bu çalışma, farklı seyahat türlerinde ölçülen UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ve bireysel maruziyetlerin sonuçlarını göstermektedir. Trafik ortamındaki kirletici konsantrasyonları değişkendir. Seyahat eden kişiler, seyahat türü ve rota özelliklerine göre bu kirleticilere farklı miktarlarda maruz kalmaktadırlar. En düşük ve en yüksek kirletici konsantrasyonları, otomobilde pencereler kapalı ve pencereler açık durumda ölçülmüştür. Taşıtların içindeki havalandırma kirletici konsantrasyonlarını etkilemiştir ve en düşük UİP ve PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu otomobilde pencereler kapalı ve klima açıkken gözlenmiştir.

Kilometre başına en yüksek ortalama UİP ve  $PM_{2.5}$  bireysel maruziyet oranı otobüslerde  $13,9E^8$   $pt.km^{-1}$ , ve  $1,79 \mu g.km^{-1}$  olarak ölçülmüştür. İki kirlenici için kilometre başına en düşük bireysel maruziyet otomobilde pencereler kapalı iken ölçülmüştür. Bu çalışmada, İstanbul'da toplu taşıma araçlarında en yüksek maruz kalma oranlarının otobüs ve metrobüslerde olduğunu gözlemlenmiştir. İstanbul'da raylı sistem ağı genişletilirse, otobüs ve metrobüs gibi karayolu taşımacılığı yerine raylı sistem için seyahat tercihleri artarsa, yolcuların hava kirlenicilere maruziyetleri azalabilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'nın 115Y263 nolu projesi tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Fang, S.C., Schwartz, J., Yang, M., Yaggi, H.K., Bliwise, D.L., Araujo, A.B, "Traffic-related air pollution and sleep in the Boston Area Community Health Survey", J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.25, 451-456, 2015.
- [2] Li, N., Georas, S., Alexis, N., Fritz P., Xia, T., Williams, M.A., Horner, E., Nel, A, "A work group report on ultrafine particles (AAAAI) why ambient ultrafine and engineered nanoparticles should receive special attention for possible adverse health outcomes in humans", J. Allergy. Clin. Immunol. 138(2), 386-396,2016.
- [3] Pan, L, Dong, W., Li, H., Miller, M.R., Chen, Y., Loh, M., Wu, S., et al., "Association patterns for size-fractioned indoor particulate matter and black carbon and autonomic function differ between patients with chronic obstructive pulmonary disease and their healthy spouses", Environ. Pol. 236:40-48,2018.
- [4] Okokon, E.O., Yli-Tuomi, T., Turunen, A.W., Taimisto, P., Penanen, A., Vouitsis, I., Samaras, Z., et al., "Particulates and noise exposure during bicycle, bus and car commuting: A study in three European cities", Environ. Res. 154, 181-189,2017.
- [5] Li, B., Lei, X. N., Xiu, G. L., Gao, C.Y., Gao, S., Qian, N.S., "Personal exposure to black carbon during commuting in peak and off-peak hours in Shanghai". Sci.Total Environ. 524, 237-245,2015.
- [6] Health Effects Institute, "Traffic-related Air Pollution: a Critical Review of the literature on emissions, exposure and health effects", In: (Special Report No.17). Health Effects Institute,2010.
- [7] Peters, A., Von Klot, S., Heier, M., Trentinaglia, I., Hörmann, A., Wichmann, H. E., Löwel, H., "Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction", New England J. of Med. 351(17), 1721-1730,2004.
- [8] Nyhan, M., McNabola, A., Misstear, B., "Comparison of particulate matter dose and acute heart rate variability response in cyclists, pedestrians, bus and train passengers", Sci. Total Environ. 468-469, 821-831. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.096>,2014.
- [9] Vivanco-Hidalgo, R. M., Wellenius, G., Basagaña, X., Cirach, M., González, A. G., de Ceballos, P., Zabalza, A., et al., "Short-term exposure to traffic-related air pollution and ischemic stroke onset in Barcelona, Spain", Environ. Res. 162, 160-165,2018.
- [10] Heal, M. R., Kumar, P., Harrison, R. M., "Particles, air quality, policy and health", Chem. Soc. Rev. 41(19), 6606-6630,2012
- [11] World Health Organization, "Air Quality Guidelines: global Update 2005 [Online]. The Regional Office for Europe of the World Health Organization", Copenhagen, Denmark (Available:). ([http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf)),2006.
- [12] Valavanidis, A., Fiotakis, K., Vlachogianni, T., "Airborne particulate matter and human health: toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms", Journal of environmental science and health, Part C, 26, 339-362,2008.
- [13] Morawska, L., Ristovski, Z., Jayaratne, E.R., Keogh, D.U., Ling, X., "Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: characteristics, ambient processing and implications on human exposure", Atmos. Environ. 42, 8113-8138,2008.
- [14] Bigazzi, A.Y., Figliozzi, M.A., "Impacts offree-way trafficconditions onin-vehicle exposure to ultrafine particulate matter", Atmos. Environ. 60, 495-503. ISSN 1352-2310,2012.

- [15] Buonanno, G., Stabile, L., Morawska, L., “Personal exposure to ultrafine particles: the influence of time-activity patterns”, *Sci. Total Environ.* 468 469, 903-907,2004.
- [16] Dons, E., Panis, L.I., Van Poppel, M., Theunis, J., Willems, H., Torfs, R., Wets, G., “Impact of timeactivity patterns on personal exposure to black carbon”, *Atmos. Environ.* 45 (21), 3594-3602,2011.
- [17] Dons, E., Temmerman, P., Van Poppel, M., Bellemans, T., Wets, G., Int Panis, L., “Street characteristics and traffic factors determining road users' exposure to black carbon”, *Sci.Total Environ.* 447 (1), 72–79,2013.
- [18] Saraswat, A., Kandlikar, M., Brauer, M., Srivastava, A., “PM2.5 population exposure in New Delhi using a probabilistic simulation framework”, *Environ. Sci. Technol.* 50 (6), 3174e 3183,2016.
- [19] Li, Z., Che, W., Frey, H. C., Lau, A. K., & Lin, C., “Characterization of PM2.5 exposure concentration in transport microenvironments using portable monitors”, *Environmental pollution*, 228, 433-442,2017.
- [20] Williams, R.D., Knibbs, L.D., “Daily personal exposure to black carbon: a pilot study”, *Atmos. Environ.* 132, 296–99,2016.
- [21] Moreno, T., Reche, C., Rivas, I., Minguillonn, et al., “Urban air quality comparison for bus, tram, subway and pedestrian commutes in Barcelona”, *Environ. Research.* 142, 495-510,2015.
- [22] Tan, S.H., Roth, M., Velasco, E., “Particle exposure and inhaled dose during commuting in Singapore”. *Atmos. Environ.* 170, 245-258, 2017.
- [23] De Nazelle, A., Fruin, S., Westerdahl, D., Martinez, D., Ripoll, A., Kubesch, N., Nieuwenhuijsen, M., “A travel mode comparison of commuters' exposures to air pollutants in Barcelona”, *Atmos. Environ.* 59, 151–159,2012.
- [24] Rivas, I., Kumar, P., Hagen-Zanker, A., Andrade, F.M., Slovic, D.A., Pritchard, P.J., Geurs T.K., “Determinants of black carbon, particle mass and number concentrations in London transport microenvironments”, *Atmos. Environ.* 161, 247-262.*Soc. Rev.* 41, 6606–6630,2017.
- [25] Ham, W., Vijayan, A., Schulte, N., Herner, J.D., “Commuter exposure to PM2.5, BC and UFP in six common transport microenvironment in Sacramento, California”, *Atmos. Environ.* 167, 335-345,2017.
- [26] Quintana, P. J., Khalighi, M., Quiñones, J. E. C., Patel, Z., Garcia, J. G., Vergara, P. M., Bryden, M., et al., “Traffic pollutants measured inside vehicles waiting in line at a major US-Mexico Port of Entry”, *Sci.Total Environ.* 622, 236-243,2018.
- [27] <http://tuik.gov.tr/Start.do>
- [28] Onat, B., Stakeeva, B., “Personal exposure of commuters in public transport to PM2.5 and fine particle counts”, *Atmos. Pol. Res.* 4(3), 329-335,2013.
- [29] Onat, B., Stakeeva, B., “Assessment of fine particulate matters in the subway system of Istanbul”, *Indoor and Built Environ.* 23(4), 574-583,2014.
- [30] Westerdahl, D., Fruin, S.A., Sax, T., Fine, P.M., Sioutas, C., “Mobile platform measurements of ultrafine particles and associated pollutant concentrations on freeways and residential streets in Los Angeles”, *Atmos. Environ.* 39, 3597-3610,2005.
- [31] Zuurbier, M., Hoek, G., Van den Hazel, P., & Brunekreef, B., “Minute ventilation of cyclists, car and bus passengers: an experimental study”, *Environ. Health.* 8(1), 48.s,2009.
- [32] Knibbs, L.D., de Dear, R.J., “Exposure to ultrafine particles and PM2.5 in four Sydney transport modes”, *Atmos. Environ.* 44, 3224-3227,2010.
- [33] Keskin, S.S., Dilmac, E., Indoor air particulate matter exposure of commuter bus passengers in Istanbul, Turkey. *Indoor and Built Environment*, 26(3), 337-346, 2017.
- [34] Hudda, N., Fruin, S., “Models for predicting the ratio of particulate pollutant concentrations inside vehicles to roadways”, *Environ. Sci. Technol.* 47 (19), 11048-11055. ISSN 0013-936X,2013.

## ÖZGEÇMİŞ

### Burcu UZUN

1992 yılı Giresun doğumludur. 2015 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2017 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Mühendis unvanı almıştır. Aynı bölümde 2017 yılından beri Doktora öğrenimine devam etmektedir.

**Burcu ONAT**

1973 yılı İstanbul doğumludur. 1994 yılında İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1998 yılında Yüksek Mühendis, İstanbul Üniversitesinden 2004 yılında Doktor unvanı 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. 2006-2014 yılları arasında İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmıştır. 2014 yılından beri İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Doç. Dr. Olarak görev yapmaktadır. İç Ortam Hava Kalitesi, Partikül Madde, Kişisel Maruziyet, Toplam Kalite Yönetimi, İş Sağlığı ve Güvenliği konularında çalışmaktadır.

**Ülkü ALVER ŞAHİN**

1975 yılı Ordu doğumludur. 1996 yılında İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 2001 yılında Yüksek Mühendis, 2005 yılında Doktor unvanı almıştır. 1998-2007 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2013 yılından beri İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Hava Kirlenmesi, Yapay sinir ağları, Partikül madde, Ağır metal konularında çalışmaktadır.

**Özcan AKIN**

1991 yılı İnegöl doğumludur. 2013 yılında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2017 yılından beri İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

**Fazilet ÖZKAYA**

1991 yılı İstanbul doğumludur. 2013 yılında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2017 yılından beri İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

**Coşkun AYVAZ**

1992 yılı İstanbul doğumludur. 2015 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2017 yılından beri İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine devam etmekte olup, aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.