



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **ULAŞIM ARAÇLARI İÇİNDE VE DIŞ ORTAMDA SİYAH KARBON VE PARTİKÜL MADDE MARUZİYETİ**

**BURCU ONAT  
BURCU UZUN  
ÖZCAN AKIN  
ÜLKÜ ALVER ŞAHİN  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**



# ULAŞIM ARAÇLARI İÇİNDE VE DIŞ ORTAMDA SİYAH KARBON VE PARTİKÜL MADDE MARUZİYETİ

*Black Carbon and Particulate Matter Exposure Inside And Outside of Transport Vehicles*

**Burcu ONAT**  
**Burcu UZUN**  
**Özcan AKIN**  
**Ülkü Alver ŞAHİN**

## ÖZET

Trafik kaynaklı emisyonlar araç sayısındaki artış ve trafik yoğunluğuna bağlı olarak ulaşımda geçen sürelerin uzaması nedeniyle şehirlerde insan sağlığını tehdit eden en önemli hava kirlenici kaynaklardan biri durumuna gelmiştir. Trafik kaynaklı hava kirleniciler şehirlerde hem genel hava kalitesini kötü yönde etkilemekte hem de seyahat eden ve ana yollara yakın yerlerde zaman geçiren nüfus için ciddi potansiyel sağlık tehdidi oluşturmaktadır. Siyah karbon (SK), trafikten kaynaklanan hava kirliliği ile ilişkili olumsuz sağlık etkilerinin belirlenmesinde yeni bir indikatör olarak kabul görmüş önemli bir hava kirlenicidir. SK'nın şehirlerde başlıca kaynağı ulaşımdır, toplam SK emisyonunun yaklaşık %67'sinin dizel motor egzozu, yaklaşık %20'sinin benzinli araç egzozundan kaynaklandığı belirtilmektedir. Ayrıca solar radyasyonu absorplayici özellik gösterdiğinden dolayı küresel ısınmaya katkıda (yaklaşık  $+1,1 \text{ W m}^{-2}$ ) bulunmaktadır.

Şehirlerde SK emisyonlarının büyük bir oranı trafik kaynaklıdır ancak bu kirlenicinin ulaşım türü, etkilediği alanlardaki zamansal seviyesi ve  $\text{PM}_{2.5}$  gibi farklı kirlenicilerle ilişkisi bu konuda yapılan çalışmaların sayısının azlığı nedeniyle hala tam olarak anlaşılamamıştır. Yapılan çalışmalar şehirlerde şehrin nüfusu ve araç yoğunluğuna farklı olarak ulaşımda geçen sürelerin günün %5 ile %10'unu kapsadığını belirtmektedir. Ancak İstanbul gibi yaklaşık 4 milyon kayıtlı aracı ve 16 milyona varan nüfusu ile yüksek seviyede trafik emisyonlarının olduğu şehirlerde bu süreler daha uzun olabilmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul'da trafik kaynaklı SK seviyelerinin belirlenmesi ve  $\text{PM}_{2.5}$  ile ilişkisinin tespiti amacıyla otobüs, metrobüs, metro, otomobil, deniz otobüsü ve feribot gibi farklı ulaşım türlerinde Haziran 2016 – Eylül 2016 tarihleri arasında araç içi ve dış ortamında ölçümler yapılmıştır. Ölçümler portatif ölçüm cihazları kullanılarak eş zamanlı yürütülmüş olup SK ölçümü portatif AE 41 model Aethalometer ile,  $\text{PM}_{2.5}$  ölçümleri ise ışık saçılımı (light scattering) yöntemine göre çalışan PDR 1200 (Thermo) portatif partikül ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ulaşım araçları,  $\text{PM}_{2.5}$ , Siyah karbon.

## ABSTRACT

Traffic sourced emissions have become one of the most important environmental problems because of the rising with the increasing of number of vehicle, traffic load and the commuting time. Traffic sourced emissions has got harmful effects on the city air quality, also it has potential harmful effects on the population who live nearby the main road and commute every day. Black carbon (BC) is an important traffic sourced pollutant and accepted as a new indicator for determining the relation between adverse health effects and traffic. The main source of BC in the cities is traffic. The total BC emission is caused by 67% diesel exhaust and 20% gasoline exhaust in the cities. Additionally, BC contributes to the global warming because it can absorb the solar radiation.

The important rate of BC emissions in cities is sourced from traffic, but it has some misunderstandings about travel mode, time trend and the relation to the other pollutants such as  $PM_{2.5}$ , because the studies about this subject are so few. The commute time in the cities is changing between 5-10%, but in the metropol cities, such as İstanbul with the population of 16 million and 4 million vehicle, the commute time can be more.

In this study, in order to determine the traffic-related SK levels in İstanbul and to determine the relation with  $PM_{2.5}$ , it is aimed to investigate the effects of vehicle interior and exterior in different transportation types such as bus, metrobus, metro, automobile, sea bus and ferry between June 2016 and September 2016 measurements were made. Measurements were carried out simultaneously using portable measuring instruments, and the SK measurement was performed with the portable AE 41 model Aethalometer and the  $PM_{2.5}$  measurements with the PDR 1200 (Thermo) portable particle meter, which operates according to the light scattering method.

**Key Words:** Transport vehicles,  $PM_{2.5}$ , Black Carbon

## 1. GİRİŞ

Trafik emisyonları, kentsel çevrelerde hava kirliliği maruziyetine sebep olan en önemli kaynaklardan biridir ve çeşitli olumsuz sağlık etkileri ile ilişkilendirilmektedir [1]. Özellikle araç yoğunluğunun fazla olduğu metropoliten bölgelerde çeşitli günlük faaliyetler sırasında yapılan seyahatlerde geçen sürelerde yüksek trafik emisyonlarına maruz kalılabilmektedir. Kirletici konsantrasyonlar genellikle trafik mikro ortamlarında oldukça yüksektir. Kişiler günde ortalama 1,5-2 saat seyahat etmelerine rağmen trafikte yaptıkları seyahat günlük maruziyetlerine önemli bir katkı sağlayabilmektedir [2].

Motorlu araçlardan gelen emisyonlar, kentsel çevrede hava kirliliğine neden olan partikül maddenin (PM) önemli bir kaynağıdır.  $PM_{2.5}$ , olumsuz sağlık sonuçlarıyla olan ilişkisi nedeniyle kentsel hava kirliliğinin en yaygın olarak izlenen parametrelerinden biridir [3].

Siyah karbon (SK), trafikten kaynaklanan hava kirliliği ile ilişkili olumsuz sağlık etkilerinin belirlenmesinde yeni bir indikatör olarak kabul görmüş önemli bir hava kirleticisidir. Janssen vd., tarafından yapılan çalışmada SK'nın hava kalitesinin sağlık risklerini değerlendirmede ek bir gösterge olduğu belirtilmiştir [4]. Diğer emisyon kaynaklarının olmadığı karayollarında, SK emisyonlarının öncelikli olarak trafikten yayıldığı düşünülmektedir. SK'nın trafik kirliliğinin önemli bir göstergesi olduğu, epidemiyolojik araştırmalarda sağlık sonuçlarıyla güçlü bir şekilde ilişkili olduğu gösterilmektedir [2]. Ayrıca taşıt egzozundan verilen ince partikül madde ve SK emisyonları araç içerisine kolaylıkla girerek araç içerisinde de yüksek emisyonlara sebep olabilmektedir. Dolayısı ile yolcular hem araç içinde hem de trafik emisyonlarının yoğun olduğu dış ortamda ince partikül madde ve SK konsantrasyonlarına maruz kalabilmektedir.

SK'nın ulaşım türü ve  $PM_{2.5}$  gibi farklı kirleticilerle ilişkisi bu konuda yapılan çalışmaların azlığı sebebiyle tam olarak anlaşılamamıştır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda ulaşım türleri içinde maruz kalınan SK konsantrasyonları ölçülmüştür. Ryan vd. tarafından yapılan bir çalışmada günlük siyah karbon maruziyeti en yüksek özel araç içerisinde cam açık seyir halinde iken ölçülmüştür ( $4397 \text{ ng/m}^3$ ). Aynı çalışmada günlük ortalama siyah karbon maruziyeti özel araç içerisinde cam kapalı iken  $1,67 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  ve otobüste  $2,35 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  olarak ölçülmüştür [5]. Li vd. tarafından yapılan bir çalışmada ise otobüs ve metroda ölçülen siyah karbon maruziyeti sırasıyla  $7,28 \pm 1,87 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  ve  $9,43 \pm 2,89 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 'dir [2].

Yapılan bazı çalışmalarda farklı ulaşım türleri karşılaştırıldığında otomobil ile seyahat ederken daha yüksek PM, SK ve nanopartikül (NP) konsantrasyonuna maruz kalındığı ve bu farklılığın ulaşım türüne, trafik yoğunluğuna, araç içerisindeki havalandırma ve yakıt türüne bağlı olduğu ifade edilmiştir [6]. Ülkemizde ulaşım türü farklılıkları dikkate alınarak trafik kaynaklı emisyonların belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Yapılan çalışmalarda sadece ince partikül konsantrasyonları belirlenmiştir. Onat ve Stakeeva tarafından yapılan bir çalışmada İstanbul'da farklı

ulaşım türleri ile seyahat esnasında maruz kalınan  $PM_{2,5}$  konsantrasyonları ölçülmüştür.  $PM_{2,5}$  konsantrasyonları metrobüs içinde  $29-45 \mu g/m^3$ , belediye otobüsünde  $89-106 \mu g/m^3$ , yaya olarak yapılan ölçümlerde trafik yoğunluğunun arttığı nokta ve kavşaklarda ise  $250-300 \mu g/m^3$  olarak bulunmuştur [7]. Yine Onat ve Stakeeva tarafından İstanbul'da metroda yürütülen bir çalışmada da  $PM_{2,5}$  konsantrasyonları ölçülmüş ( $50-300 \mu g/m^3$ ) ve yüksek konsantrasyonlar tespit edilmiş, istasyon derinliği arttıkça  $PM_{2,5}$  seviyesinde artış olduğu gözlenmiştir [8].

Bu çalışmada, İstanbul'da ulaşım araçları içinde SK seviyelerinin belirlenmesi ve  $PM_{2,5}$  ile ilişkisinin tespiti amacıyla otobüs, metrobüs, metro, otomobil, deniz otobüsü ve feribot gibi farklı ulaşım türlerinde araç içi ve dış ortamında ölçümler yapılmıştır.

## 2.MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada ölçümler otobüs, metrobüs, metro, otomobil, deniz otobüsü ve feribot olmak üzere altı farklı ulaşım türünde Haziran 2016 – Eylül 2016 tarihleri arasında araç içi ve dış ortamda (durak, peron, rıhtım) gerçekleştirilmiştir. Tablo 1' de saha çalışmasında tercih edilen ulaşım türleri ve güzergah özellikleri ve ölçüm sıklığı gösterilmektedir. Ölçümler gün içinde genel olarak 09:00-16:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir.

Güzergahlarda yapılan ölçümlerde trafik yoğunluğunun durumuna göre bir günde 2 sefer yapılmıştır. Sabah ilk ölçüm çalışması (gidiş-dönüş) tamamlandıktan sonra aynı hatta tekrar ölçüm çalışması yapılmıştır. Ölçüm çalışması metrolarda trenin 2.vagonunda ve istasyon peronunda yürütülmüştür. Metrobüs ve otobüste aracın orta kapısına karşılık gelen kısımda ölçümler yapılmıştır. Deniz otobüsü ve feribotta orta alanda ölçümler yapılmıştır. Dış ortam ölçümleri 15 dakika süreyle ölçülmüştür.

**Tablo 1.** Saha Çalışmasında Kullanılan Ulaşım Türleri, Güzergâhlar ve Ölçüm Sıklığı

|               | Güzergah   | Uzunluk (km) | Yaklaşık Seyahat Süresi (Gidiş-Dönüş) (dk) | Ölçüm sıklığı |
|---------------|--|--------------|--|---------------|
| Otobüs        | 76B Bakırköy-Cihangir Mah.                             | 40           | 150  | 2 gün/ay      |
| Metrobüs      | Avcılar-Zincirlikuyu                                   | 30           | 120  | 2 gün/ay      |
|               | Avcılar-Söğütözü                                       | 42           | 170  | 2 gün/ay      |
| Metro         | M1 Aksaray-Atatürk Havalimanı hattı hafif raylı sistem | 24,7         | 64   | 1 gün/ay      |
| Otomobil      | Avcılar-Zincirlikuyu                                   | 30           | 100  | 2 gün/ay      |
| Deniz Otobüsü | Bakırköy-Bostancı                                      | 20           | 100  | 2 gün/ay      |
| Feribot       | Yenikapı-Yalova  | 50           | 75   | 1 gün/ay      |

### 2.1. Siyah Karbon Ölçümleri

Ulaşım aracı içerisinde ve dış ortamda anlık siyah karbon ölçümleri optik yöntemle ölçüm yapabilen MicroAeth-AE51 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada trafik ve ulaşım etkilerini görebilmek için ölçüm periyodu 10 saniyede bir ve pompa çekiş hızı  $100 \text{ ml/dk}$  olarak ayarlanmıştır. SK ölçümü için filtre esaslı ışık emme yöntemleri, "yüklenme etkisi" nden etkilenmektedir; filtrenin aerosol yüklemesi arttıkça cihazın SK seviyeleri orantılı olarak azalmaktadır. Bu çalışmada bu etki, Kirchstetter ve Novakov'un aşağıdaki K-N olarak adlandırılan ampirik ilişkisi kullanarak optimize edilmiştir [9]:

$$BC = BC_0 / (0,88Tr + 0,12)$$

Bu denklemde 'BC' düzeltilmiş siyah karbon konsantrasyonu, 'BC<sub>0</sub>' ise düzeltilmemiş konsantrasyondur. Formüldeki Tr katsayısı aethalometrenin filtre iletim değeri olup  $Tr = \exp(-ATN / 100)$  formülü ile hesaplanmaktadır. ATN değeri ise her ölçüm için aethalometre tarafından belirlenen bir katsayıdır. Bu düzeltme algoritması tüm SK ölçümlerine uygulanmıştır [2].

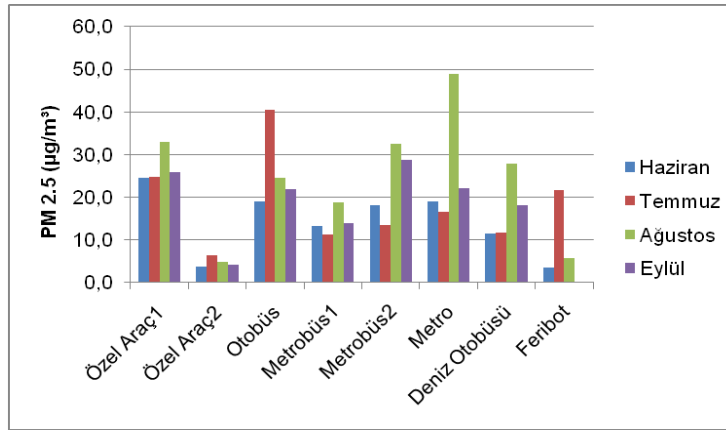
## 2.2. PM<sub>2,5</sub> Ölçümleri

Çalışmada araç içerisinde ve dış ortamda PM<sub>2,5</sub> ölçümleri ışık saçılımı yöntemine göre çalışan PDR 1200 portatif partikül ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Cihazda, belirli akış hızlarında pompanın çalıştırılması ile farklı partikül boyutlarının ölçümü sağlanmaktadır. Bu çalışmada PM<sub>2,5</sub> boyutu için pompa çekiş hızı 4 L/dk olarak ayarlanmıştır. Çalışma için ölçüm periyodu 10 saniyede bir olarak seçilmiştir. Ölçümlerin doğrulaması referans yöntemine göre örnekleme yapabilen Partisol FRM Air Sampler (Model 2000, Thermo Inc., USA) cihazı ile yapılmıştır.

## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

### 3.1. Ulaşım Türleri İçinde ve Dış Ortamda PM<sub>2,5</sub> Konsantrasyonu

Bu çalışmada farklı ulaşım araçları içinde (özel araç, otobüs, metro, metrobüs, deniz otobüsü ve feribot) ölçülen ortalama PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonları Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Aylara göre farklı ulaşım türlerinde ölçülen ortalama PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonları (özel araç1; cam açık, özel araç2; cam kapalı, Otobüs;76B, Metrobüs1;34AS, Metrobüs2;34, Metro;M1, Deniz otobüsü ve Feribot)

Özel araçta yapılan ölçümler iki farklı durum için gerçekleştirilmiştir. Özel araç1 aracın camları açıkken, özel araç2 ise aracın camları kapalıyken ölçümler yapılmıştır. PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonları özel araç1'de 24,6 µg/m<sup>3</sup> - 33,0 µg/m<sup>3</sup> arasında, özel araç2'de 3,7 µg/m<sup>3</sup> - 6,5 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmiştir.

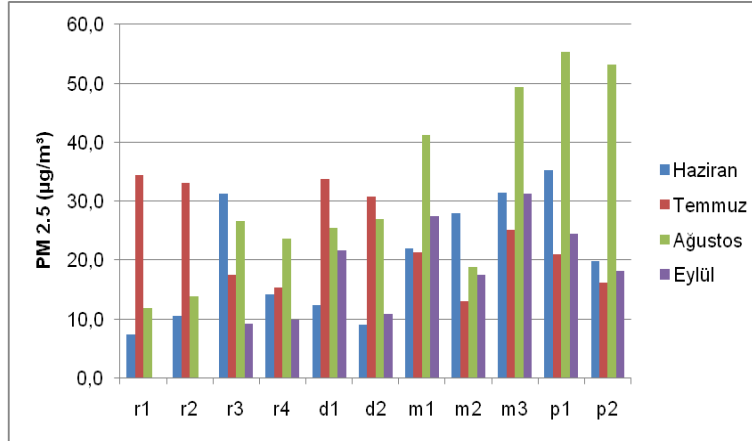
Otobüsde yapılan ölçümlerde PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonları 19,0 µg/m<sup>3</sup> ve 40,5 µg/m<sup>3</sup> arasında gözlenmiştir. Metrobüste yapılan ölçüm çalışması 34 ve 34AS olmak üzere iki farklı hatta yürütülmüştür. Metrobüs1 de yapılan ölçümlerde PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonları 11,2 µg/m<sup>3</sup> ve 18,7 µg/m<sup>3</sup> arasında, Metrobüs 2 de yapılan ölçümlerde ise 13,6 µg/m<sup>3</sup> ve 32,6 µg/m<sup>3</sup> arasında değişmiştir.

Metroda vagon içinde PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonları 16,5 µg/m<sup>3</sup> ve 48,9 µg/m<sup>3</sup> arasında gözlenmiştir. Deniz otobüsünde yapılan ölçümlerde PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonları 11,6 µg/m<sup>3</sup> ve 27,9 µg/m<sup>3</sup> arasında, Feribotta ise 3,5 µg/m<sup>3</sup> ve 5,8 µg/m<sup>3</sup> arasında değiştiği görülmüştür.

Sonuçlara bakıldığında PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonlarının her ulaşım türü için farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. En yüksek ortalama PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonu metroda ölçülmüştür. İkinci en yüksek PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonu Otobüs hattında ölçülürken, üçüncü en yüksek PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonu metrobüs2 hattında ölçülmüştür. En düşük PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonları ise özel araçta cam kapalı seyir halideyken ve feribotta ölçülmüştür. Onat ve Stakeeva tarafından yapılan bir çalışmada İstanbul'da farklı ulaşım türlerinde ölçülen PM<sub>2,5</sub> konsantrasyonları metrobüs içinde 29-45 µg/m<sup>3</sup>, belediye otobüsünde 89-106 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur ve bu çalışma sonuçlarından daha yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir [7]. Wu vd., tarafında yapılan çalışmada araç türlerinde yaz aylarında yapılan

ölçümlerde  $PM_{2,5}$  konsantrasyonu otobüs için  $22,1\pm 14,0 \mu g/m^3$ , taksi için  $28,2\pm 15,6 \mu g/m^3$ , metro  $25,1\pm 11,4 \mu g/m^3$ , yaya  $79,7\pm 35,76,2 \mu g/m^3$  ve bisiklet için  $65,9\pm 61,1 \mu g/m^3$  olarak bulunmuştur [10]. Moreno vd. tarafından Barcelona'da yapılan bir çalışmada ise Ekim ayında  $PM_{2,5}$  konsantrasyonları metroda  $37 \mu g/m^3$ , otobüsde  $48 \mu g/m^3$  ve tramvay-yürüme sırasında  $35 \mu g/m^3$  olarak ölçülmüştür. Sonuçlara göre SK ve  $PM_{2,5}$  konsantrasyonlarının tramvayda otobüs ve metroya göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir [6].

Aynı zamanda çalışmada tercih edilen güzergahların başlangıç ve bitiş noktalarında dış ortam (rıhtım,durak,peron) ölçümleri yapılmıştır. Dış ortamda ölçülen ortalama  $PM_{2,5}$  konsantrasyonları Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Aylara göre dış ortamda (rıhtım,peron,durak) ölçülen ortalama  $PM_{2,5}$  konsantrasyonları (r1;Yenikapı rıhtım, r2;Yalova rıhtım, r3;Bostancı rıhtım, r4;Bakırköy rıhtım, m1;Avcılar metrobüs durağı, m2;Söğütlüçeşme metrobüs durağı, m3;Zincirlikuyu metrobüs durağı, d1;Bakırköy otobüs durağı, d2; Cihangir Mahallesi otobüs durağı, p1;Yenikapı peronu, p2;Atatürk Havalimanı peronu)

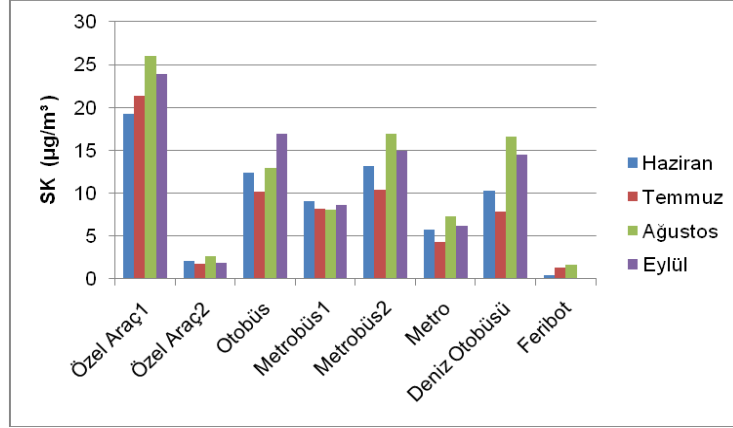
Şekil 2'ye göre Haziran ve Ağustos ayında en yüksek ortalama  $PM_{2,5}$  konsantrasyonu M1 metro hattında Yenikapı istasyon peronunda ölçülmüştür ( $35,3\pm 7,8 \mu g/m^3$  ve  $55,4\pm 7,3 \mu g/m^3$ ). Temmuz ayında en yüksek ortalama  $PM_{2,5}$  konsantrasyonu Yenikapı rıhtımında ( $34,5\pm 11,4 \mu g/m^3$ ) gözlemlenmiştir. Eylül ayında ise en yüksek ortalama  $PM_{2,5}$  konsantrasyonu Avcılar metrobüs durağında ( $27,4\pm 15,7 \mu g/m^3$ ) ölçülmüştür.

Çalışmada dış ortam ölçümü yapılan üç metrobüs durağı (Zincirlikuyu, Avcılar ve Söğütlüçeşme) karşılaştırıldığında Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için en yüksek ortalama  $PM_{2,5}$  konsantrasyonu Zincirlikuyu metrobüs durağında sırasıyla  $31,4\pm 8,4 \mu g/m^3$ ,  $25,1\pm 17,9 \mu g/m^3$ ,  $49,3\pm 7,2 \mu g/m^3$ ,  $31,3\pm 3,8 \mu g/m^3$  olarak ölçülmüştür. Zincirlikuyu metrobüs durağı D100 otoyolu üzerindeki köprülülük kavşağın altında yer almaktadır. Ayrıca gün boyunca trafik yoğunluğunun olduğu bir konumdadır. Dolayısıyla Zincirlikuyu metrobüs durağındaki yüksek konsantrasyonlara yoğun trafikten kaynaklanan kirleticilerin birikmesinin neden olduğu söylenebilir. Aynı şekilde Söğütlüçeşme metrobüs durağına göre yüksek konsantrasyonların ( $21,4-41,3 \mu g/m^3$ .) gözlemlendiği Avcılar metrobüs durağı da trafiğin yoğun olduğu D100 otoyolunun ortasındadır.

Aynı zamanda iki otobüs durağında yapılan ölçümlerde Haziran, Temmuz ve Eylül ayları için en yüksek  $PM_{2,5}$  konsantrasyonu Bakırköy otobüs durağında (d1) sırasıyla  $12,3\pm 9,6 \mu g/m^3$ ,  $33,8\pm 22,8 \mu g/m^3$ ,  $21,7\pm 12,3 \mu g/m^3$  olarak belirlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında dış ortamda ölçülen konsantrasyonların güzergahlar arasında farklılık gösterdiği ve trafik yoğunluğunun fazla olduğu yollardaki duraklarda yüksek konsantrasyonların gözlemlendiği söylenebilir.

### 3.2. Ulaşım Türleri İçinde ve Dış Ortamda Siyah Karbon Konsantrasyonu

Bu çalışmada farklı ulaşım araçları içinde (özel araç, otobüs, metro, metrobüs, deniz otobüsü ve feribot) ölçülen ortalama SK konsantrasyonları Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için Şekil 3'de verilmiştir.



**Şekil 3.** Aylara göre farklı ulaşım türlerinde ölçülen ortalama SK konsantrasyonları (özel araç1; cam açık, özel araç2; cam kapalı, Otobüs;76B, Metrobüs1;34AS, Metrobüs2;34, Metro;M1, Deniz otobüsü ve Feribot)

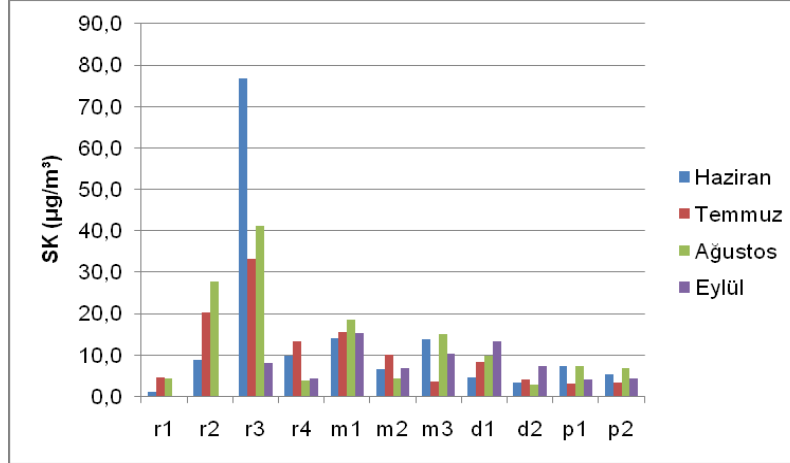
SK konsantrasyonları Özel araç1'de aracın camları açıkken  $19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $26,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Özel araç2'de aracın camları kapalıyken  $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında gözlemlenmiştir.

Otobüsde yapılan ölçümlerde SK konsantrasyonları  $10,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $16,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmiştir. Metrobüs1 de yapılan ölçümlerde SK konsantrasyonları  $8,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $9,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Metrobüs 2 de ise  $10,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $16,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmiştir.

Metroda yapılan ölçümlerde SK konsantrasyonları  $4,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmiştir. Deniz otobüsünde yapılan ölçümlerde SK konsantrasyonları  $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $16,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmiştir. Feribotta yapılan ölçümlerde SK konsantrasyonları  $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  -  $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında gözlemlenmiştir.

Sonuçlara bakıldığında en yüksek SK konsantrasyonu özel araçta cam açık seyir halinde iken gözlemlenmiştir. İkinci en yüksek SK konsantrasyonu Metrobüs2 ve Otobüs hattında ölçülürken iki hatta yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir. Üçüncü en yüksek SK konsantrasyonu Metrobüs1'de ölçülürken en düşük konsantrasyonlar özel araçta cam kapalı seyir halindeyken ve feribotta ölçülmüştür. Ryan vd. tarafından yapılan bir çalışmada bu çalışmaya benzer olarak günlük siyah karbon maruziyeti en yüksek özel araç içerisinde cam açık seyir halinde iken ölçülmüştür ( $4397 \text{ ng}/\text{m}^3$ ). Aynı çalışmada günlük ortalama siyah karbon maruziyeti özel araç içerisinde cam kapalı iken  $1668 \text{ ng}/\text{m}^3$  ve otobüste  $2353 \text{ ng}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Fakat İstanbul'da yapılan bu çalışmada daha yüksek değerler ölçüldüğü görülmüştür [5]. Moreno vd., tarafından Barcelona 'da yapılan bir çalışmada ise ortalama SK konsantrasyonları metroda  $7,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , otobüste  $5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve tramvayda  $3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür [6]. Li vd. tarafından yapılan bir çalışmada ise otobüs ve metroda ölçülen siyah karbon maruziyeti sırasıyla  $7.28 \pm 1.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $9.43 \pm 2.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'dir [2].

Aynı zamanda çalışmada tercih edilen güzergahların başlangıç ve bitiş noktalarında dış ortam (rıhtım,durak,peron) ölçümleri yapılmıştır. Dış ortamda ölçülen ortalama SK konsantrasyonları Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için sırasıyla Şekil 4'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.** Aylara göre dış ortamda (rıhtım,peron,durak) ölçülen ortalama SK konsantrasyonları (r1;Yenikapı rıhtım, r2;Yalova rıhtım, r3;Bostancı rıhtım, r4;Bakırköy rıhtım, m1;Avcılar metrobüs durağı, m2;Söğütlüçeşme metrobüs durağı, m3;Zincirlikuyu metrobüs durağı, d1;Bakırköy otobüs durağı, d2; Cihangir Mahallesi otobüs durağı, p1;Yenikapı peronu, p2;Atatürk Havalimanı peronu)

Şekil 4'e göre Haziran, Temmuz ve Ağustos ayında en yüksek ortalama SK konsantrasyonu r3;Bostancı rıhtımında sırasıyla  $76,8 \pm 102,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $33,1 \pm 47,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve  $41,2 \pm 32,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Eylül ayında ise en yüksek ortalama SK konsantrasyonu d1;Bakırköy otobüs durağında  $13,3 \pm 33,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Deniz otobüsü egzoz emisyonlarının rıhtımda SK konsantrasyon değerlerinin yüksek çıkmasında etkili olduğu söylenebilir.

Şekil 4'e göre çalışmada dış ortam ölçümü yapılan üç metrobüs durağı (Zincirlikuyu, Avcılar ve Söğütlüçeşme) karşılaştırıldığında Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için en yüksek ortalama SK konsantrasyonu m3;Avcılar metrobüs durağında sırasıyla  $14,1 \pm 10,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $15,5 \pm 17,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $18,4 \pm 12,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $15,3 \pm 11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda iki otobüs durağında yapılan ölçümlerde Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için en yüksek  $\text{PM}_{2,5}$  konsantrasyonu d1;Bakırköy otobüs durağında sırasıyla  $4,5 \pm 4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $8,2 \pm 11,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $9,8 \pm 16,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $13,3 \pm 33,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak gözlemlenmiştir.

Dünyada ve ülkemizde SK ile ilgili yasal düzenlemeler henüz mevcut değildir. Bu çalışmada elde edilen sonuçları literatur ile karşılaştırdığımızda trafik yoğunluğunun fazla olduğu metropolitan bölgelerden biri olan İstanbul'da da ulaşım araçları içerisinde SK konsantrasyonlarının daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. Aynı şekilde araç türlerine göre karşılaştırılma yapıldığında diğer çalışmalara benzer olarak en yüksek SK konsantrasyonunun özel araç içerisinde cam açık seyir halinde iken ölçülmüştür. Ulaşım türü ve güzergahlardaki farklılıkların  $\text{PM}_{2,5}$  ve SK konsantrasyonlarını etkilediği söylenebilir. Ancak trafik taşıt sayısı ve meteorolojik parametrelerin de etkisi dikkate alınarak yapılacak değerlendirme ile daha kesin sonuçlara ulaşmak mümkün olacaktır.

#### 4.TEŞEKKÜR

Bu çalışma 115Y263 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1]. WEİCHENTHAL, S., "Characterizing the impact of traffic and the built environment on near-road ultrafine particle and black carbon concentrations ", Environmental Research 132 , 305–310, 2014.
- [2]. LI, B., "Personal exposure to black carbon during commuting in peak and off-peak hours in Shanghai", Science of the Total Environment 524–525, 237–245, 2015.
- [3]. TARGINO, A.C., "Hotspots of black carbon and  $\text{PM}_{2,5}$  in an urban area and relationships to traffic characteristics", Environmental Pollution 218, 475-486, 2016.





- [4].JANNSEN, N.A.H., “Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM10 and PM2.5 “, Environmental Health Perspectives, volume 119 No: 12 December, 2011.
- [5]. RYAN D., “Daily personal exposure to black carbon: A pilot study“, Atmospheric Environment 132 296-299, 2016.
- [6].MORONE, T., “Urban air quality comparison for bus, tram, subway and pedestrian commutes in Barcelona“, Environmental Research 142 ,495–510, 2015.
- [7]. ONAT, B., “Personal exposure of commuters in public transport to PM2.5 and fine particle counts“, Atmospheric Pollution Research 4 , 329-335, 2013.
- [8]. ONAT, B., “Assessment of fine particulate matters in the Subway system of Istanbul“, Indoor and Built Environment 000, 1–10,2012.
- [9]. KIRCHSTETTER, T.W., “Controlled generation of black carbon particles from a diffusion flame and applications in evaluating black carbon measurement methods“, Atmos.Environ 41, 1874-1888, 2007.
- [10].WU,D., ‘Influences of Commuting Mode, Air Conditioning Mode and Meteorological Parameters on Fine Particle (PM2.5) Exposure Levels in Traffic Microenvironments’, Aerosol and Air Quality Research, 13: 709–720, 2013.

## 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. 2014 yılından beri İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Hava Kalitesi, Partikül Madde, Kalite Güvence, Çevre Yönetim Sistemleri konularında çalışmaktadır.

### Burcu UZUN

1992 yılı Giresun doğumludur. 2015 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2015 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. 2015-2017 TÜBİTAK projesinde Yüksek Lisans bursiyeri olarak görev yapmaktadır.

### Özcan AKIN

1991 yılı İnegöl doğumludur. 2013 yılında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2016 yılında Bursa Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. 2015-2017 TÜBİTAK projesinde Yüksek Lisans bursiyeri olarak görev yapmaktadır.

### Ükü ALVER 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. 2013 yılından beri İÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Hava Kirlenmesi, Yapay sinir ağları, Partikül madde, Ağır metal konularında çalışmaktadır.