



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### FARKLI ULAŞIM ARAÇLARI İÇİNDE $PM_{2.5}$ KONSANTRASYONUNUN BELİRLENMESİ ve ÇEVRESEL FAKTÖRLERLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Fazilet ÖZKAYA

DANIŞMAN  
Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 12.07.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliğı Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliğı Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ



Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Burcu ONAT  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakülte



Doç. Dr. Selami DEMİR  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

[Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 33331 numaralı projesi ile desteklenmiştir. ]

[Bu tez, 115Y263 numaralı TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir. ]

## ÖNSÖZ

[Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Ülkü Alver Şahin'e, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan değerli hocam sayın Doç.Dr. Burcu Onat'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca manevi destekleriyle her an yanımda olan aileme ve dostlarıma da sonsuz teşekkürler ederim. |

Temmuz 2019

[Fazilet ÖZKAYA]

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ .....                                                                           | iv        |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                     | v         |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                   | vii       |
| TABLO LİSTESİ .....                                                                   | xi        |
| SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....                                                       | xii       |
| ÖZET .....                                                                            | xiii      |
| SUMMARY .....                                                                         | xiv       |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                                 | <b>1</b>  |
| <b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>                                                        | <b>3</b>  |
| 2.1. TRAFİK KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ VE MARUZİYETİ .....                               | 3         |
| 2.2 İNCE (PM <sub>2.5</sub> ) PARTİKÜLLER .....                                       | 5         |
| 2.3 ULAŞIM ARAÇLARI İÇİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR .....                                   | 6         |
| 2.3.1 PM <sub>2.5</sub> Konusunda Yapılan Çalışmalar .....                            | 6         |
| 2.4 KENTSEL VE KIRSAL ALANLARDA PM <sub>2.5</sub> KONUSUNDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR ..... | 10        |
| <b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>                                                     | <b>15</b> |
| 3.1. ÇALIŞMANIN YAPILDIĞI ULAŞIM TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ .....                         | 16        |
| 3.1.1. Otomobil .....                                                                 | 16        |
| 3.1.2. Metrobüs .....                                                                 | 17        |
| 3.1.3. Otobüs .....                                                                   | 19        |
| 3.1.4. Deniz Otobüsü .....                                                            | 21        |
| 3.1.5. Feribot .....                                                                  | 22        |
| 3.2. ÇALIŞMADA KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZI VE ÖZELLİKLERİ .....                           | 24        |
| 3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ .....                                                       | 25        |
| <b>4. BULGULAR .....</b>                                                              | <b>26</b> |
| 4.1. PM <sub>2.5</sub> ÖLÇÜMLERİ İSTATİSTİKSEL TANIMLANMA .....                       | 27        |
| 4.1.1. Araç İçi PM <sub>2.5</sub> Ölçüm İstatistikleri .....                          | 27        |
| 4.1.2. Duraklarda PM <sub>2.5</sub> Ölçüm İstatistikleri .....                        | 28        |
| 4.2. PM <sub>2.5</sub> KONSANTRASYONLARININ ZAMANSAL DEĞİŞİMİ .....                   | 29        |
| 4.2.1. Otomobil .....                                                                 | 29        |

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.2.Metrobüs.....                                                | 32        |
| 4.2.2.1. 34 No.lu Avcılar-Zincirlikuyu Hattı.....                  | 32        |
| 4.2.2.2. 34AS No.lu Avcılar-Söğütlüçeşme Hattı.....                | 35        |
| 4.2.3.Otobüs.....                                                  | 39        |
| 4.2.3.1. 76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi Hattı.....          | 39        |
| 4.2.3.2. 146 No.lu Bakırköy-Boğazköy Hattı .....                   | 43        |
| 4.2.4.Deniz Ulaşımı.....                                           | 45        |
| 4.2.4.1. Deniz Otobüsü Bakırköy-Bostancı Hattı .....               | 45        |
| 4.2.4.2.Feribot Yenikapı-Yalova Hattı.....                         | 49        |
| 4.3.PM <sub>2,5</sub> KONSANTRASYONLARININ MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ..... | 51        |
| 4.3.1.Otomobil.....                                                | 51        |
| 4.3.2.Metrobüs.....                                                | 52        |
| 4.3.2.1. 34 Avcılar-Zincirlikuyu Hattı .....                       | 52        |
| 4.3.2.2. 34AS Avcılar-Söğütlüçeşme Hattı.....                      | 53        |
| 4.3.3.Otobüs.....                                                  | 55        |
| 4.3.3.1.76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi Hattı.....           | 55        |
| 4.3.3.2. 146 No.lu Bakırköy-Boğazköy Hattı .....                   | 57        |
| 4.3.4.Deniz Ulaşımı.....                                           | 58        |
| 4.3.4.1.Deniz Otobüsü Bakırköy-Bostancı Hattı .....                | 58        |
| 4.3.4.2.Feribot Yenikapı-Yalova Hattı.....                         | 59        |
| 4.4. ARAÇ İÇİ VE DURAK PM <sub>2,5</sub> İLİŞKİSİ.....             | 61        |
| <b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>                                  | <b>65</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                              | <b>68</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                  | <b>76</b> |
| EK 1. PM <sub>2,5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR .....    | 76        |
| EK 2. PM <sub>2,5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR .....    | 77        |
| EK 3. PM <sub>2,5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR .....    | 78        |
| EK 4. PM <sub>2,5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR .....    | 79        |
| EK 5. PM <sub>2,5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR .....    | 80        |
| EK 6. PM <sub>2,5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR .....    | 81        |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                              | <b>82</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3. 1: Otomobil hattı güzergâhı ( <a href="https://www.google.com.tr/maps">https://www.google.com.tr/maps</a> ).....                                    | 16 |
| Şekil 3. 2: Otomobilde araç içinde ve dış ortamda yapılan ölçüm çalışması.....                                                                               | 17 |
| Şekil 3. 3: 34 No.lu Avcılar-Zincirlikuyu metrobüs hattı güzergâhı<br>( <a href="https://www.google.com.tr/maps">https://www.google.com.tr/maps</a> ).....   | 17 |
| Şekil 3. 4: 34AS No.lu Avcılar-Söğütluçeşme metrobüs hattı güzergâhı<br>( <a href="https://www.google.com.tr/maps">https://www.google.com.tr/maps</a> )..... | 18 |
| Şekil 3. 5: Metrobüste araç içinde yapılan ölçüm çalışması. ....                                                                                             | 18 |
| Şekil 3. 6: Metrobüs durağında yapılan dış ortam ölçüm çalışması. ....                                                                                       | 19 |
| Şekil 3. 7: 146 No.lu otobüs hattı güzergâhı ( <a href="https://www.google.com.tr/maps">https://www.google.com.tr/maps</a> ).....                            | 19 |
| Şekil 3. 8: 76B No.lu otobüs hattı güzergâhı ( <a href="https://www.google.com.tr/maps">https://www.google.com.tr/maps</a> ).....                            | 20 |
| Şekil 3. 9: Otobüslerde yapılan araç içi ölçüm çalışması.....                                                                                                | 20 |
| Şekil 3. 10: Otobüs duraklarında yapılan dış ortam ölçüm çalışması. ....                                                                                     | 21 |
| Şekil 3. 11: Deniz otobüsü hattı güzergâhı ( <a href="https://www.google.com.tr/maps">https://www.google.com.tr/maps</a> ).....                              | 21 |
| Şekil 3. 12: Deniz otobüsü içinde yapılan ölçüm çalışması.....                                                                                               | 22 |
| Şekil 3. 13: Deniz otobüsü rıhtımlarında yapılan dış ortam ölçüm çalışması.....                                                                              | 22 |
| Şekil 3. 14: Yenikapı-Yalova Feribot hattı güzergâhı<br>( <a href="https://www.google.com.tr/maps">https://www.google.com.tr/maps</a> ).....                 | 23 |
| Şekil 3. 15: Feribot içinde yapılan ölçüm çalışması. ....                                                                                                    | 23 |
| Şekil 3. 16: Yenikapı-Yalova feribot güzergahında rıhtımlarda yapılan dış ortam<br>ölçüm çalışması. ....                                                     | 24 |
| Şekil 3. 17: PM <sub>2.5</sub> ölçüm cihazı (pDR-1200). ....                                                                                                 | 25 |
| Şekil 4. 1: Otomobilde Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında PM <sub>2.5</sub><br>konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....                      | 29 |
| Şekil 4. 2: Otomobilde Eylül, Ekim ve Aralık aylarında PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonunun gün<br>içindeki zamansal değişimi. ....                           | 30 |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4. 3:</b> Otomobilde Ocak, Şubat ve Nisan aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....                | 31 |
| <b>Şekil 4. 4:</b> 34 No.lu metrobüs hattında Haziran-Ağustos aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....     | 32 |
| <b>Şekil 4. 5:</b> 34 No.lu metrobüs hattında Eylül-Kasım aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....         | 33 |
| <b>Şekil 4. 6:</b> 34 No.lu metrobüs hattında Aralık-Nisan aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....        | 34 |
| <b>Şekil 4. 7:</b> 34AS No.lu metrobüs hattında Haziran-Ağustos aylarındaki $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. .... | 36 |
| <b>Şekil 4. 8:</b> 34AS No.lu metrobüs hattında Ağustos-Ekim aylarındaki $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....    | 37 |
| <b>Şekil 4. 9:</b> 34AS No.lu metrobüs hattında Aralık-Mayıs aylarındaki $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....    | 38 |
| <b>Şekil 4. 10:</b> 76B No.lu otobüs hattında Haziran-Ağustos aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....     | 40 |
| <b>Şekil 4. 11:</b> 76B No.lu otobüs hattında Eylül-Aralık aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....        | 41 |
| <b>Şekil 4. 12:</b> 76B No.lu otobüs hattında Ocak-Mayıs aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....          | 42 |
| <b>Şekil 4. 13:</b> 146 No.lu otobüs hattında Haziran-Eylül aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....       | 43 |
| <b>Şekil 4. 14:</b> 146 No.lu otobüs hattında Ekim-Nisan aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....          | 44 |
| <b>Şekil 4. 15:</b> Deniz otobüsünde Haziran-Ağustos aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....              | 46 |
| <b>Şekil 4. 16:</b> Deniz otobüsünde Eylül-Kasım aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....                  | 47 |
| <b>Şekil 4. 17:</b> Deniz otobüsünde Aralık-Mayıs aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....                 | 48 |
| <b>Şekil 4. 18:</b> Feribotta Haziran-Ekim aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....                        | 49 |
| <b>Şekil 4. 19:</b> Feribotta Kasım-Nisan aylarında $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi. ....                         | 50 |



|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4. 20:</b> Cam açık ve kapalıyken ölçülen $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının aylık ortalamaları. ....                                                  | 51 |
| <b>Şekil 4. 21:</b> Otomobil içinde cam açık ve kapalı iken $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının değişimi box-plot grafiği. ....                                  | 52 |
| <b>Şekil 4. 22:</b> Metrobüs 34 Avcılar-Zincirlikuyu hattında her ölçüm sürecindeki ortalama $PM_{2.5}$ değerlerinin aylık değişimi. ....                    | 53 |
| <b>Şekil 4. 23:</b> Bir yıl boyunca metrobüste araç içi $PM_{2.5}$ parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği.....                        | 53 |
| <b>Şekil 4. 24:</b> 34AS Metrobüs hattında her ölçüm sürecindeki ortalama $PM_{2.5}$ değerlerinin aylık değişimi. ....                                       | 54 |
| <b>Şekil 4. 25:</b> Bir yıl boyunca metrobüste araç içi $PM_{2.5}$ parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği.....                        | 55 |
| <b>Şekil 4. 26:</b> 76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi otobüs hattında her ölçüm sürecindeki ortalama $PM_{2.5}$ değerlerinin aylık değişimi.....         | 56 |
| <b>Şekil 4. 27:</b> Bir yıl boyunca 76B No.lu otobüs araç içi $PM_{2.5}$ parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği.....                  | 56 |
| <b>Şekil 4. 28:</b> 146 No.lu Bakırköy-Boğazköy otobüs hattında her ölçüm sürecindeki ortalama $PM_{2.5}$ değerlerinin aylık değişimi. ....                  | 57 |
| <b>Şekil 4. 29:</b> Bir yıl boyunca 146 No.lu otobüs araç içi $PM_{2.5}$ parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği.....                  | 58 |
| <b>Şekil 4. 30:</b> Deniz Otobüsü Bakırköy-Bostancı hattında her ölçüm sürecindeki ortalama $PM_{2.5}$ değerlerinin aylık değişimi. ....                     | 59 |
| <b>Şekil 4. 31:</b> Bir yıl boyunca deniz otobüsü araç içi $PM_{2.5}$ parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği.....                     | 59 |
| <b>Şekil 4. 32:</b> Feribot hattında her ölçüm sürecindeki ortalama $PM_{2.5}$ değerlerinin aylık değişimi. ....                                             | 60 |
| <b>Şekil 4. 33:</b> Bir yıl boyunca feribot araç içi $PM_{2.5}$ parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği. ....                          | 61 |
| <b>Şekil 4. 34:</b> 34 No.lu metrobüs hattı araç içinde aylık ölçülen $PM_{2.5}$ değerlerinin duraklarda ölçülen değerler ve birbirleri ile korelasyonu..... | 62 |
| <b>Şekil 4. 35:</b> 34AS No.lu metrobüs hattı araç içinde aylık ölçülen $PM_{2.5}$ değerlerinin peronlarda ölçülen değerler ile korelasyonu.....             | 62 |
| <b>Şekil 4. 36:</b> 76B No.lu otobüs hattı araç içinde aylık ölçülen $PM_{2.5}$ değerlerinin duraklarda ölçülen değerler ile korelasyonu.....                | 62 |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4. 37:</b> 146 No.lu otobüs hattı araç içinde aylık ölçülen $PM_{2.5}$ değerlerinin duraklarda ölçülen değerler ile korelasyonu..... | 63 |
| <b>Şekil 4. 38:</b> Deniz otobüsü hattı araç içinde aylık ölçülen $PM_{2.5}$ değerlerinin rıhtımlarda ölçülen değerler ile korelasyonu. ....  | 63 |
| <b>Şekil 4. 39:</b> Feribot hattı araç içinde aylık ölçülen $PM_{2.5}$ değerlerinin rıhtımlarda ölçülen değerler ile korelasyonu.....         | 63 |



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3. 1:</b> Saha çalışmasında seçilen ulaşım türleri ve özellikleri.....                                  | 15 |
| <b>Tablo 3. 2:</b> Deniz otobüsüne ait teknik özellikler.....                                                    | 21 |
| <b>Tablo 4. 1:</b> Ulaşım araçları içinde ölçülen PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ) ..... | 27 |
| <b>Tablo 4. 2:</b> Durak ve rıhtımlarda ölçülen PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ).....    | 28 |



## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

| Kısaltmalar     | Açıklama                                                                    |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| CO              | : Karbonmonoksit                                                            |
| CO <sub>2</sub> | : Karbondioksit                                                             |
| EPA             | : United States Environmental Protection Agency-Amerika Çevre Koruma Ajansı |
| EEA             | : European Economic Area-Avrupa Ekonomi Alanı                               |
| HEI             | : Health Effect Institute-Sağlık Etkileri Enstitüsü                         |
| NO <sub>x</sub> | : Azot oksit                                                                |
| O <sub>3</sub>  | : Ozon                                                                      |
| PM              | : Partikül Madde                                                            |
| SK              | : Siyah Karbon                                                              |
| SO <sub>2</sub> | : Kükürtdioksit                                                             |
| UİP             | : Ultra İnce Partikül                                                       |
| WHO             | : World Health Organization-Dünya Sağlık Örgütü                             |

## ÖZET

# FARKLI ULAŞIM ARAÇLARI İÇİNDE $PM_{2.5}$ KONSANTRASYONUNUN BELİRLENMESİ VE ÇEVRESEL FAKTÖRLERLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fazilet ÖZKAYA

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

Bu çalışmada Haziran 2016- Eylül 2017 tarihleri arasında İstanbul’da gün içinde kişilerin seyahat ederken kullandıkları beş farklı ulaşım türünde (otomobil, otobüs, metrobüs, deniz otobüsü ve feribot) araç içinde ve dış ortamda  $PM_{2.5}$  ölçümleri yapılmıştır. Kişilerin ulaşım araçları içinde maruz kaldıkları ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları belirlenmiş ve istatistiksel analiz yapılarak değerlendirilmiştir. Ulaşım araçları içinde ölçülen  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları ulaşım türüne göre farklılık göstermiştir. Ulaşım araçları içinde en yüksek ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu 76B No.lu otobüs hattında  $44,5 \pm 38,6 \mu g/m^3$  olarak ölçülmüştür. Ulaşım araçları içinde en düşük ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu ise otomobil içerisinde cam kapalı ve klima iç hava sirkülasyonu ile çalışır durumda seyir halinde iken  $7,6 \pm 5,7 \mu g/m^3$  olarak belirlenmiştir.

Temmuz 2019, 96 sayfa.

Anahtar

kelimeler:

Hava

Kirliliği,

Ulaşım,

$PM_{2.5}$

## SUMMARY

### DETERMINATION OF PM<sub>2.5</sub> CONCENTRATION IN DIFFERENT TRANSPORTATION VEHICLES AND INVESTIGATION OF ITS RELATION TO ENVIRONMENTAL FACTORS

M.Sc. THESIS

Fazilet ÖZKAYA

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Academic Title Ülkü ALVER ŞAHİN

Co-Supervisor : Academic Title Name SURNAME

In this study, PM<sub>2.5</sub> measurements were carried out in and out of the vehicle in five different types of transportation (car, bus, metrobus, sea bus and ferry) used by commuters during the day in Istanbul between June 2016 and September 2017. The mean exposure concentrations of PM<sub>2.5</sub> in the transportation of commuters were determined and statistically analyzed in which people were exposed to in transport vehicles. . The concentrations of PM<sub>2.5</sub> measured in transport vehicles differed according to the transportation type. The highest average concentration of PM<sub>2.5</sub> in transport vehicles was measured as 44,5±38,6 µg/m<sup>3</sup> in the bus line 76B. The lowest mean concentrations of PM<sub>2.5</sub> in transportation vehicles were measured as 7,6±5,7 µg/m<sup>3</sup> when the windows were close in the private car. |

July 2019, 96 pages.

**Keywords:**

Air

Pollution,

Transportation,

PM<sub>2.5</sub> |

## 1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında trafik kaynaklı hava kirlenmesi şehirlerde çözümü beklenen en önemli çevresel sorunlarından biri olarak görülmektedir. Dünya genelinde birçok alanda, nüfuslar ana yollara ve otoyollara yakın yerlerde yaşamakta ve taşıt trafiğinden kaynaklanan egzoz emisyonlarına, egzoz dışı emisyonlara (fren ve lastik aşınması gibi) ve aynı zamanda insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olabilecek gürültüye de maruz kalmaktadır (HEI 2010). Trafik kaynaklı hava kirleticiler 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.

Trafik kaynaklı emisyonlar araç sayısındaki artış ve trafik yoğunluğuna bağlı olarak ulaşımda geçen sürelerin uzaması nedeniyle şehirlerde insan sağlığını tehdit eden en önemli hava kirleticilerinden biri durumuna gelmiştir. Ülkemizde 1990'lı yıllardan beri şehirlerde genel hava kalitesine belirlenmesine yönelik  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $PM_{10}$ , daha sonradan CO ve  $O_3$  kirleticileri de olmak üzere geleneksel kirleticilere yönelik ölçüm çalışmaları yürütülmektedir. Alınan çeşitli önlemlerle (kömürden doğalgaza geçiş) ulusal ve uluslararası standartlarda sınır değerleri tanımlanmış olan bu kirleticilerinden özellikle  $SO_2$ 'nin şehirlerdeki seviyelerinde önemli iyileşme sağlanmıştır. Ancak genel hava kalitesini ifade eden bu geleneksel kirleticilerin yanında özellikle son yıllarda şehirlerde dizel ve benzinli araç sayısının artışına bağlı olarak trafik kaynaklı ince partikül madde emisyonları da hızlı bir şekilde artış göstermiştir. Trafik kaynaklı kirleticilerin yoğun olduğu ana yollarda, araç içinde ve yollara yakın yerleşim birimlerinde kirleticiler konsantrasyonları şehrin genel hava kalitesi ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek olabilmektedir.

Motorlu taşıtlar ise kentsel hava kirliliğinin önemli bir kaynağıdır. Hava kirleticilerinin potansiyel sağlık etkilerinin farkındalığı arttıkça, birçok ülke daha sıkı emisyon kontrolleri uygulamış ve motorlu taşıtlardan gelen emisyonların azaltılmasında ve hava kalitesinin iyileştirilmesinde sürekli ilerleme kaydetmiştir. Bununla birlikte, nüfus artışı ve ekonomik gelişme, metropol alanlarının genişlemesi ve arazi kullanımındaki değişiklikler nedeniyle

motorlu taşıtlara artan bağımlılık nedeniyle dünyanın motorlu taşıt filosu hızlı büyümektedir. İstanbul 16 milyondan fazla nüfusu ve 4 milyondan fazla kayıtlı araç sayısı ile büyük bir metropol şehirdir. İstanbul'da trafikte geçirilen süreler her geçen yıl artış göstermektedir. Bu nedenle ana yollara yakın yerlerde yaşayanlar, seyahat ederken ulaşım araçlarını kullanan ve trafiğin yoğun olduğu bölgelerde zaman geçirenler, trafik kaynaklı kirleticilere yüksek oranlarda maruz kalmaktadır. Trafikte seyahat esnasında normal maruziyetin 3 ile 10 katı fazla hava kirletici maruziyeti olabilmektedir (Krzyzanowski ve diğ., 2005; Morales ve diğ., 2017; Onat ve diğ., 2019). İstanbul'da trafikte geçirilen süreler her yıl trafik yoğunluğundaki artışla birlikte artmaktadır. İstanbul dünyada trafik sıkışıklığı sıralamasında en yüksek altıncı sırada yer almaktadır ve ekstra seyahat süresi 46 dakikadır (Tomtom, 2018), ortalama günlük seyahat süreleri 1,5 ila 2,0 saat arasında değişmektedir. İstanbul'daki kişisel dizel araç sayısı son yıllarda hızla artmıştır ve tüm araç trafiğinin %40'ını oluşturmaktadır (TUİK, 2018).

İstanbul'un hava kirliliğine trafiğin katkısı her geçen gün artsa da, doğrudan trafik egzozuyla ilgili olan Ultra İnce Partikül Madde (UİP) , Siyah Karbon (SK) ve İnce Partikül Madde (PM<sub>2.5</sub>) ile ilgili kısıtlı çalışma mevcuttur (Onat ve Stakeeva, 2013; Onat ve diğ., 2014; Şahin ve diğ. 2012; Onat ve diğ., 2017; Onat ve diğ., 2019). Bu çalışmalar, trafik mikro ortamlarındaki parçacıkların %90'ının <1.0 µm olduğunu ve durgun hava koşullarında otobüs, araba ve yürüyüş modlarında PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Bu tez çalışmasında daha önce kısa sürelerde ve tek ulaşım türleri için yapılan çalışmalar referans alınarak çok daha kapsamlı şekilde İstanbul'daki tüm ulaşım araçlarının içinde ve dışında PM<sub>2.5</sub> maruziyeti mevsimsel ve çevresel faktörlere göre çalışılmıştır. Bu kapsamda Haziran 2016- Eylül 2017 tarihleri arasında İstanbul'da gün içinde kişilerin seyahat ederken kullandıkları ulaşım araçları (otomobil, otobüs, metrobüs, deniz otobüsü ve feribot) içinde ve dış ortamlarında (durak ve rıhtım) PM<sub>2.5</sub> ölçümleri yapılmıştır. Kişilerin ulaşım araçları içinde ve dış ortamda maruz kaldıkları ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları belirlenmiş ve mevsimsel değişimler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. |



## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. TRAFİK KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ VE MARUZİYETİ

Trafik kaynaklı emisyonlar, trafik yoğunluğu ve araç sayısındaki artışa bağlı olarak ulaşımда geçen sürelerin uzaması nedeniyle şehirlerde insan sağlığını tehdit eden en önemli hava kirletici kaynaklarından biri olmuştur. Trafik ile ilgili hava kirliliğine kısa ve uzun süreli maruz kalma, insanlarda olumsuz sağlık etkilerine neden olmaktadır (Fang ve diğ., 2015; Li ve diğ., 2016; Pan ve diğ., 2018). Kentsel alanlarda, aerodinamik çapı  $\leq 2.5$   $\mu\text{m}$  olan partikül madde ( $\text{PM}_{2.5}$ ), çapları  $<100$  nm olan ultra ince parçacıklar (UİP) ve siyah karbon (SK), trafik ile ilgili önemli kirleticilerdir (Okokon ve diğ., 2017; Li ve diğ., 2015; HEI, 2010).  $\text{PM}_{2.5}$ , UİP ve SK' nin olumsuz sağlık etkileri olduğu çeşitli maruziyet çalışmalarında belirtilmiştir (Peters ve diğ., 2004; Nyhan ve diğ., 2014; Vivanco-Hidalgo ve diğ., 2018; Heal ve diğ., 2012). SK, eksik motor yanmasından yayılan birincil bir parçacıktır (EPA, 2010). SK,  $\text{PM}_{2.5}$  'in önemli ışık emici bileşenidir ve küresel ısınmaya katkısı bulunmaktadır (Ramanathan ve Carmichael, 2008).

Trafikle ilgili kirleticilerin en yüksek konsantrasyonları, yollarda veya yakınlarında birikme eğiliminde olup (Leavey ve diğ., 2017; Morales ve diğ., 2017), HEI 2010 raporuna göre en yüksek maruziyet bölgesi, ana yoldan 300-500 m'lik bir alan içinde tanımlanmıştır. Trafikte seyahat edenler 3 ila 10 katı daha fazla maruz kalabilir. (Krzyzanowski ve diğ., 2005; Morales ve diğ., 2017). Trafik kaynaklı hava kirliliğinin sebep olduğu kişisel maruz kalma ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda, araçlardaki kirletici konsantrasyonlarına ve ortamlardaki yüksek kirletici konsantrasyonlarına bağlı olarak mikro çevre birimlerine odaklanılmıştır. Trafik mikroçevrelerindeki hava kirleticilerine maruz kalma seviyeleri, kirleticinin ortam konsantrasyonlarına, zaman ve aktivite çeşidine, seyahat modlarına, meteorolojik koşullara, trafik yoğunluğuna ve yol özelliklerine bağlıdır (Williams ve Knibbs, 2016; Dons ve diğ., 2011 ve 2013; Moreno ve diğ., 2015; Huang Tan ve diğ., 2017; Nazelle ve diğ., 2012; Ham ve diğ., 2017; Rivas ve diğ., 2017; Quintana ve diğ., 2018). Kirleticilerin farklı seyahat modundaki konsantrasyonları, kişisel maruz kalmayı azaltmak ve daha yararlı bilgiler sağlamak için tespit edilmelidir (Tan ve diğ., 2017).

Benzinli ve dizel araçlardan kaynaklanan trafik kirleticileri azot dioksit ( $\text{NO}_2$ ), CO, karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ), siyah karbon (SK), kaba ( $\text{PM}_{10}$ ) ve ince ( $\text{PM}_{2.5}$ ) partikül madde, ultra ince partikül ve hava toksinleri içermektedir. Bu kirleticiler trafik kaynaklı oluşabildiği gibi diğer yanma kaynaklarından da oluşmaktadır (HEI, 2010).

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından trafik kaynaklı emisyonlar ile sağlık arasındaki ilişki hem epidemiyolojik hem de toksikolojik araştırmalarda incelenmiştir (WHO, 2005; WHO, 2013).Yapılan araştırmalarda, trafik kaynaklı emisyonların kardiorespiratuar morbidite, mortalite ve kanser gibi çeşitli olumsuz sağlık etkileri ile ilişkisi olduğu belirtilmiştir (Beckerman ve diğ., 2012; Berflind ve diğ., 2009; Chen ve diğ., 2013; Crouse ve diğ., 2010; Jerrett ve diğ., 2009; Parent ve diğ., 2013; Von Klot ve diğ., 2011).

Trafik mikro ortamlarında kirletici konsantrasyonlar, oldukça yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Kişiler günde ortalama 1,5-2 saat seyahat etmektedirler. Trafikte geçirilen süre kişilerin günlük maruziyetlerine önemli bir katkı sağlayabilmektedir (Kaur ve diğ., 2007). Günlük maruziyetin değerlendirilmesinde yolcuların davranışı (Dhondt ve diğ., 2012), ulaşım türleri (Dons ve diğ., 2012) ve araç içi hava kirliliğini etkileyen faktörlerin (Fruin ve diğ., 2004) dikkate alınması önemlidir.

Kişisel maruziyetin belirlenmesine yönelik çalışmalar ulaşım türleri içerisinde gerçekleştirilmiştir (Dons ve diğ., 2012; Hankey ve Marshall, 2015; Li ve diğ., 2015). Yapılan birçok çalışma farklı araç türlerinde yolcuların, yayalar ve bisikletlilerden daha fazla partikül ve diğer kirletici maddelere maruz kaldığını göstermektedir (Berghmans ve diğ., 2009; Boogaard ve diğ., 2009; Int Panis ve diğ., 2010 ; Zuurbier ve diğ., 2010; Cole-Hunter ve diğ., 2012; Huang ve diğ., 2012; Both ve diğ., 2013; Kingham ve diğ., 2013; Do ve diğ., 2014; Suarez ve diğ., 2014; Hankey ve Marshall, 2015; Ramos ve diğ., 2015; Cepeda ve diğ., 2016). Son yıllarda ulaşım türü ve çevresel değişkenler dikkate alınarak yapılan trafik kaynaklı emisyon izleme çalışmalarında, olumsuz sağlık etkilerinden dolayı UİP ve SK maruziyeti üzerine odaklanılmıştır. Bu

çalışmalarda, UİP ve SK konsantrasyonları ulaşım türüne göre değişkenlik göstermiştir (Joodatnia ve diğ., 2013; Dons ve diğ., 2011, 2013; Both ve diğ., 2013; Bigazzi ve diğ., 2012).

İstanbul dünyada trafik sıkışıklığı sıralamasında en yüksek altıncı sırada yer almaktadır. İstanbul'da ekstra seyahat süresi 46 dakikadır (Tomtom, 2018), ortalama gidiş saatleri 1.5 ila 2.0 saat/d arasındadır. İstanbul'daki kişisel dizel araç sayısı son yıllarda hızla artmıştır ve tüm araç trafiğinin %40'ını içermektedir (TUİK, 2018). Nitrojen ( $\text{NO}_x$ ) ve  $\text{PM}_{2.5}$  emisyonlarının trafik ile ilgili oksitleri sırasıyla İstanbul'da toplam  $\text{NO}_x$  ve  $\text{PM}_{2.5}$  emisyonlarının %89 ve %29' unu oluşturmaktadır (Markasis ve diğ., 2009). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından sağlanan yerel hava kalitesi izleme ağı, verileri Bakanlığa ait özel bir ağı (VPN) üzerinden GSM Modemler aracılığıyla Bakanlığın Çevre Referans Laboratuvarı Veri İşletim Merkezine aktararak izlenmektedir.  $\text{NO}_x$ , kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ), karbon monoksit (CO) ve  $\text{PM}_{10}$  gibi geleneksel hava kirleticileri bu istasyonlarda izlenmektedir.

İstanbul'un hava kirliliğine trafiğin katkısı her geçen gün artsa da, doğrudan trafik egzozuyla ilgili olan ince partiküller kirleticiler izlenmektedir ve İstanbul'da bu kirleticilere maruziyeti konusunda çok az çalışma vardır. Literatürde yalnızca  $\text{PM}_{2.5}$  e kişisel maruz kalma ve partikül madde konsantrasyonlarının (yani, 0.3, 0.5, 1.0, 5.0 ve 10  $\mu\text{m}$ ) otomobillerde, otobüslerde, hafif raylı ve metrolarda maruziyeti konusunda yapılmış kısıtlı çalışma mevcuttur (Onat ve Stakeeva, 2013; Onat ve diğ., 2014).

## 2.2 İNCE ( $\text{PM}_{2.5}$ ) PARTİKÜLLER

Partikül madde (PM) 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 bileşiğı içeren özel bir komplekstir. Partikül maddeler morfolojik (yapısal), fiziksel (boyut ve boyut dağılımı), kimyasal (kimyasal madde içeriğı) ve termodinamik (havada akışı) özelliklerine göre farklılık gösterir. Bu farklılıklar, partiküllerin insan sağlığına, çevreye, doğadaki radyoaktif dengeye ve dünya iklimine etkisinin şiddetini belirlemektedir (Wilson ve diğ., 2002).

Bölgesel ölçekte atmosferik partiküllerin hava kalitesi ve vizibilite üzerindeki etkileri endişe verici boyutlara ulaşmıştır. Trafik, şehirlerdeki partikül madde kirliliğinin önemli bir kaynağıdır (Knibbs ve diğ., 2011; Morawska ve diğ., 2008). Krakow'da (Polonya) yapılan bir araştırmaya göre ince partiküllerin %53-68'inin trafikten kaynaklandığı belirlenmiştir (Watkiss ve diğ., 2005). Düzenli olarak yapılan günlük seyahat sırasında kişiler partikül maddelere önemli miktarda maruz kalabilmektedir (Dons ve diğ., 2011).

## 2.3 ULAŞIM ARAÇLARI İÇİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.3.1 PM<sub>2.5</sub> Konusunda Yapılan Çalışmalar

Geçmişten günümüze ulaşım araçları içinde partikül madde maruziyeti ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

2004 yılında Helsinki metro sisteminde iki hafta boyunca 0,01-0,5 µm arasındaki partiküllerin sayımı, PM<sub>2.5</sub>, SK ve organik karbon ölçümü yapılmıştır. İki farklı metro istasyonunda; yer seviyesi değerleri günlük ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu 47 ve 60 µgm<sup>-3</sup> olarak, ve metro içlerinde 19 ve 21 µgm<sup>-3</sup> olarak bulunmuştur. Aynı ölçüm periyodu içerisinde, şehir içi hava kalitesi izleme istasyonunda tekabül eden PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon değerleri 10 µgm<sup>-3</sup> ve 17 µgm<sup>-3</sup> olarak bulunmuştur (Aarnio ve diğ., 2005). Helsinki'de yapılan başka bir çalışmada yeni ve eski özellikteki otobüs ve tramvaylarda 0,01–1 µm boyutundaki partiküllerin sayımı, PM<sub>2.5</sub>, SK ölçümleri kabin ve sürücü bölmelerinde yapılmış ve ayrıca kişilerin maruz kalma durumu araştırılmıştır. Ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu, eski özellikteki otobüs ve tramvaylarda şehir merkezindeki istasyon değerlerine göre yüksek olduğu tespit edilmiş, bu 4 günlük ölçümlere dayanarak günlük ortalama oran 2,20 ve 2,80 arasında değişmektedir. Aynı zamanda yeni modellerdeki araçlar ile şehir merkezindeki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon değerleri benzerlik göstermiştir (Asmi ve diğ., 2009).

Kaur ve diğ. (2005) tarafından Londra'da beş farklı ulaşım türünde (yürüyüş, bisiklet, otobüs, otomobil ve taksi) PM<sub>2.5</sub>, CO ve 0,02–1 µm aralığındaki parçacıkların ölçümü yapılarak dört haftalık bir saha çalışması yürütülmüştür. Ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları sırasıyla yürüyüş, bisiklet, otobüs, otomobil ve taksi için 27,5 µgm<sup>-3</sup>, 33,5 µgm<sup>-3</sup>, 34,5 µgm<sup>-3</sup>, 38 µgm<sup>-3</sup> ve 41,5 µgm<sup>-3</sup> olarak bulunmuştur. Beş farklı ulaşım türünde ölçülen en yüksek ortalama PM<sub>2.5</sub>

konsantrasyonu takside, en düşük ise yürüyüşteyken ölçülmüştür (Kaur ve diğ., 2005). Londra'da Kaur ve diğ. (2009) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, ulaşım türünün (yürüyüş, bisiklet, otobüs, otomobil ve taksi)  $PM_{2.5}$ , UİP ve CO'ya maruz kalmada önemli bir etkisi olduğu belirtilmiştir. Araçlarda ölçülen ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyon değerleri sırasıyla  $27,1 \mu g m^{-3}$ ,  $33,8 \mu g m^{-3}$ ,  $33,1 \mu g m^{-3}$ ,  $33,4 \mu g m^{-3}$  ve  $43,4 \mu g m^{-3}$  olarak bulunmuştur. Ayrıca meteorolojik faktörlerle ilişkisine bakıldığında  $PM_{2.5}$  konsantrasyon değerleri üzerinde rüzgar hızının etkili olduğu tespit edilmiştir (Kaur ve diğ., 2009).

2009 yılında Hollanda'da yapılan bir çalışmada eş zamanlı olarak önceden seçilmiş 12 rotada otomobil ve bisiklette 0,01-0,1  $\mu m$  aralığındaki partiküllerin sayımı,  $PM_{2.5}$  ve gürültü ölçümü yapılmıştır. Ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu, otomobil ve bisiklet sürücüleri için sırasıyla 49,4 ve  $44,5 \mu g m^{-3}$  olarak belirlenmiştir. Otomobil sürücülerinin maruz kaldıkları ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun, bisiklet kullananların ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonundan %11 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Boogaard ve diğ., 2009).

Zuurbier ve diğ. (2010) tarafından Arnhem'de yapılan bir çalışmada benzin ve dizel otomobil, dizel ve elektrikli otobüs ve farklı trafik yoğunluklarına sahip iki bisiklet yolunda  $PM_{2.5}$  ölçümleri yapılmıştır. En yüksek ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu, benzin otomobilde  $73,6 \mu g m^{-3}$  ve düşük trafik yoğunluğunun olduğu rotada bisiklet sürücüleri için  $65,2 \mu g m^{-3}$  olarak bulunmuştur. En düşük ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu ise elektrikli otobüste  $27,7 \mu g m^{-3}$  olarak tespit edilmiştir (Zuurbier ve diğ., 2010).

Int Panis ve diğ. (2010) tarafından Belçika'da yapılan bir çalışmada üç farklı rotada (Brüksel, Mol, Louvain-la-Neuve) otomobil ve bisiklette ölçülen en yüksek ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları sırası ile  $5,2 \mu g m^{-3}$  ve  $0,7 \mu g m^{-3}$  olarak belirlenmiştir. Brüksel ve LLN'de,  $PM_{2.5}$  ve  $PM_{10}$  konsantrasyonu, arabaya kıyasla bisiklet için önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur (Int Panis ve diğ., 2010).

Sidney'de yapılan diğ er bir çalışmada dört farklı ulaşım türünde (tren, otobüs, feribot ve otomobil) U P ve PM<sub>2.5</sub>  l  mleri yapılmıştır. Ulaşım türlerindeki PM<sub>2.5</sub>  l  mlerine ait geometrik ortalamalar tren, otobüs, otomobil ve feribot için sırasıyla 27,3  gm<sup>-3</sup>, 29,6  gm<sup>-3</sup>, 22,6  gm<sup>-3</sup>, 28  gm<sup>-3</sup> olarak bulunmuştur (Knibbs ve diğ., 2010).

De Nazelle ve diğ. tarafından Barselona'da yapılan çalışmada, otomobil, bisiklet, yaya ve otobüs olmak üzere dört farklı ulaşım türünde U P, SK, CO ve PM<sub>2.5</sub> ve CO<sub>2</sub>  l  mleri yapılmıştır. Ortalama olarak değerlendirildiğinde tüm kirleticiler için en yüksek konsantrasyonlar otomobil ile seyahat sırasında ölçülmüştür. Bu çalışmaya göre ulaşım türlerinde ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu otomobil, bisiklet, yürüyüş ve otobüste sırasıyla 35  gm<sup>-3</sup>, 29  gm<sup>-3</sup>, 21  gm<sup>-3</sup>, 25  gm<sup>-3</sup> olarak bulunmuştur (De Nazelle ve diğ., 2012).

Los Angeles'da yapılan bir çalışmada kentsel bir yerleşim caddesi üzerinde yürüyüş, bisiklet ve otomobilde iki farklı sürüş modunda (cam açık ve cam kapalı klima çalışır durumda) sabah, öğlen ve akşam saatlerinde U P ve PM<sub>2.5</sub>  l  mleri yapılmış ve U P maruziyeti belirlenmiştir. PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının, öğle ve akşam saatlerine kıyasla sabah saatlerinde daha yüksek olduğu bulunmuştur. PM<sub>2.5</sub> karayolu üzerinde, 15  gm<sup>-3</sup> yıllık NAAQS (National Ambient Air Quality standard/ Ulusal  evre Hava Kalite Standartları)'den önemli ölçüde daha düşüktü. U P ve PM<sub>2.5</sub> ortalama konsantrasyonları, yürürken, bisiklet sürerken ve otomobilde cam açık seyir halindeyken birbirine benzerlik göstermiştir (Quiros ve diğ., 2013).

Santiago'da yapılan bir çalışmada ise belirli bir rotada farklı ulaşım türlerinde (bisiklet, otobüs, otomobil ve metro) U P ve PM<sub>2.5</sub>  l  mleri yapılmıştır. Metro, otomobil, bisiklet ve otobüste ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları sırasıyla 62,4  gm<sup>-3</sup>, 46,5  gm<sup>-3</sup>, 50,9  gm<sup>-3</sup> ve 60,4  gm<sup>-3</sup> olarak ölçülmüştür (Suarez ve diğ., 2014).

Barselona’da yapılan bir çalışmada ise yürüyüş, otobüs, metro ve tramvayda ölçülen ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları sırasıyla  $28 \mu g m^{-3}$ ,  $45 \mu g m^{-3}$ ,  $43 \mu g m^{-3}$  ve  $30 \mu g m^{-3}$  olarak bulunmuştur (Moreno ve diğ., 2015).

Avrupa şehirlerinde, De Nazelle ve diğ. (2017) tarafından aktif ve pasif seyahat türlerinde (yürüyüş, bisiklet, otomobil ve otobüs gibi ulaşım türlerinde)  $PM_{2.5}$ , SK, UİP ve CO ölçümleri yapılan çalışmaların karşılaştırılması üzerine bir literatür çalışması yapılmıştır. Yayaalar, otomobil ve otobüs kullanıcıları ve bisikletlilerden ortalama olarak hava kirliliği maruziyetlerine daha az maruz kalmaktadır. Otomobil kullanıcıları ise ortalama bisikletçiler ve yayalara göre daha fazla maruz kalmaktadır (De Nazelle ve diğ., 2017).

Rivas ve diğ. tarafından Londra’da yapılan bir çalışmada otomobil, otobüs, yürüyüş ve metro ulaşım araçlarında UİP, SK,  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  ve  $PM_{10}$  maruziyetini belirleyen faktörler analiz edilmiştir. Her kirlenici parametre için, meteorolojinin (rüzgar hızı) veya ortam yoğunluklarının (yüksek uzaysal veya zamansal çözünürlükle) etkisini değerlendirmek için farklı modeller oluşturulmuştur. Rüzgar hızının, metro hariç otomobil, otobüs ve yürüyüş sırasında tüm kirleniciler ve özellikle partikül madde fraksiyonu için önemli bir değişken olduğu belirtilmiştir. Ayrıca rüzgar hızının, otomobil ve yürüyüş ile karşılaştırıldığında otobüs konsantrasyonları üzerinde en güçlü etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Rivas ve diğ., 2017).

Hong Kong’da yapılan bir çalışmada, çeşitli toplu taşıma mikro çevrelerinde  $PM_{2.5}$ , BC, UİP ve CO konsantrasyonlarını ve yolcuların bu kirlenicilere maruziyetlerini araştırmak için bir Mobil Maruz Kalma Ölçüm Sistemi kullanılmıştır. Otobüs kullanıcılarının demiryolu kullanıcılarına oranla iç ortam hava kirlenicilerine daha yüksek bir dozda maruz kaldığı belirtilmiştir. SK ve partikül madde konsantrasyonları dizel kullanılan otobüs kabinlerinde ve trafiğin yoğun olduğu yol kenarlarında yüksek konsantrasyonlarda gözlenmiştir (Yang ve diğ., 2015).

Sacramento’da yapılan bir çalışmada yolcuların maruz kaldıkları hava kirliliğini tahmin etmek için altı farklı modda (tek kişilik araçlar, yüksek kapasiteli araçlar (birden fazla yolcu), otobüs, hafif raylı tren, tren ve bisiklet)  $PM_{2.5}$ , SK ve UİP ölçümleri yapılmıştır. Ulaşım araçları içerisinde ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları, otomobil, otobüs, hafif raylı sistem, tren ve bisiklette sırasıyla  $7,1 \mu g m^{-3}$ ,  $7,47 \mu g m^{-3}$ ,  $5,69 \mu g m^{-3}$ ,  $32,46 \mu g m^{-3}$  ve  $9,56 \mu g m^{-3}$  olarak ölçülmüş ve hafif raylı sistem en düşük ortalama sahipken trende en yüksek ortalama hava kirliliği seviyeleri gözlemlenmiştir. Ayrıca kişisel araçlardaki havalandırma ayarları ile araç içi  $PM_{2.5}$ , SK ve UİP konsantrasyonlarını %75'e kadar önemli ölçüde azaltılabileceği öngörülmüştür (Ham ve diğ., 2017).

Ding ve diğ. tarafından gerçekleştirilen çalışmada bir araba kabininde  $PM_{2.5}$ 'in transfer özelliklerini araştırmak için, farklı havalandırma modları altında (dış ortam ile ve dış ortam havası olmadan devridaim ile sirkülasyon) kabinde  $PM_{2.5}$  ve  $CO_2$ 'nin konsantrasyonunun, en az mekanik havalandırma ve uygun deneysel rota koşulları ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayla otomobil kullananların  $PM_{2.5}$  maruziyetine maruz kalmamaları adına dış hava olmadan devridaim ile sirkülasyonda seyahati tercih etmeleri gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Ding ve diğ., 2016 ).

Alvarez ve diğ. tarafından Meksiko’da bir metro istasyonunda yapılan çalışmada  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  örnekleme analizi edilmiştir. En yüksek partikül madde konsantrasyonları 06:00 ila 14:00 saatleri arasında iken en düşük partikül madde konsantrasyonları 22:00 ila 06: 00 saatleri arasında kaydedilmiştir. Ayrıca metroda  $60 \mu g m^{-3}$  ve  $93 \mu g m^{-3}$  arasında değişen  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları dış ortamda ölçülen konsantrasyon değerlerinden yaklaşık olarak %6 daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Alvarez ve diğ., 2012).

#### **2.4 KENTSEL VE KIRSAL ALANLARDA $PM_{2.5}$ KONUSUNDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR**

Son yıllarda trafik kaynaklı  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları için bölgesel ölçekte yapılan çalışmaların sayısında artış olmuştur.



Son yıllarda PM<sub>2.5</sub> için il standart ve hedeflerinin düzeyleri ve aşımaları ile ilgili endişelerle Bari vd. tarafından Mayıs 2009'dan Aralık 2015'e kadar Kanada'da yürütülen çalışmada kışın ölçülen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının (ortalama: 11,6  $\mu\text{gm}^{-3}$ , medyan: 10  $\mu\text{gm}^{-3}$ ) yazın ölçülen konsantrasyonlardan daha (ortalama: 9,0  $\mu\text{gm}^{-3}$ , medyan: 7,0  $\mu\text{gm}^{-3}$ ) daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Bari ve diğ., 2017).

Son yıllarda PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarındaki endişe veren artış dolayısıyla Çin'de geniş çaplı bir literatür çalışması gerçekleştirilmiştir. 31 şehirdeki emisyonların kimyasal özellik sonuçlarına ve 21 şehirdeki emisyon kaynak dağılım sonuçlarına dayanarak, ikincil kaynakların ve trafik emisyonunun Güney Çin'de daha yüksek katkıya sahip olduğu, kömür yanması, toz ve biyokütle yakımının toplam PM<sub>2.5</sub> yüzdesinin Kuzey Çin'de daha yüksek olduğu bulunmuştur (Zyang ve diğ., 2017).

Irak'ın Bağdat şehrinde yapılan bir çalışmada kükürt dioksit, partikül maddeleri (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>7</sub> ve PM<sub>10</sub> gibi), azot oksitleri, VOC'ler ve yanmamış hidrokarbonlar gibi egzozdan kaynaklanan çeşitli bileşikler ve kirleticileri Mart 2016'da 24 saat boyunca ölçümleri yapılmıştır. Ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon seviyesinin (36  $\mu\text{gm}^{-3}$ ), WHO'nun 24 saatlik maksimum konsantrasyon seviyesini (25  $\mu\text{gm}^{-3}$ ) %44 kadar aştığı gözlemlenmiştir (Chaichan ve diğ., 2018).

Chang ve diğ. tarafından yapılan bir araştırmada trafiğe bağlı hava kirleticilerine maruziyetin tahmin edebilmesi için trafik emisyonları ve dağılım modelleri bir arada değerlendirilmiştir. Çalışma ile otoyollara yönelik çalışmalara odaklanan maruz kalma ve risk değerlendirme uygulamaları için potansiyel faydasını göstermekte ve ayrıca yoldan uzaklığın bir fraksiyonu olarak konsantrasyon azaltımının bölgeden bölgeye değişiklik gösterebileceği öne sürülmüştür. Böylelikle Portland'daki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu, yoldan yaklaşık olarak 200 m uzakta %40 ın üzerinde düşüş gösterdiği tespit edilmiştir (Chang ve diğ., 2015).

Pekin'de dört mevsim boyunca üç kapalı (konut ev, yurt ve ofis) ve bir açık havada  $PM_{2.5}$  a bağlı Polikiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAHs) konsantrasyonları analiz edilmiştir. Kış ve yaz aylarında açık hava için toplam PAHs en yüksek ve en düşük ortalama konsantrasyonu, sırasıyla 200,1 ve 9,1  $ng/m^3$  bulunmuştur. Üç kapalı alanda toplam PAHs mevsimsel varyasyonları açık havayla aynıdır. Kaynak paylaştırmasında, araç egzozu, kömür yanması ve biyokütle yanması, iç ve dış mekan  $PM_{2.5}$  a bağlı PAHs önemli bir katkısı gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan çalışma ile Avrupa Komisyonu tarafından belirlenen yıllık sınır olan 1  $ng/m^3$ 'tan çok daha yüksek değerlerde seyrettiği ve kanser riskinin Pekin'de hem iç hem de dış mekanlarda yüksek düzeyde olduğunu belirtilmiştir (Chen ve diğ., 2017).

Chen ve diğ. tarafından Pekin'in kentsel alanında 2005'ten 2013'e kadar siyah karbon (SK) ve  $PM_{2.5}$  hava kirleticileri üzerine bir çalışma yapılmıştır. SK ve  $PM_{2.5}$  haftalık ortalama kütle konsantrasyonları 4,3  $\mu g/m^3$  ve 66,8  $\mu g/m^3$  tespit edilmiş ve bu değerler WHO standardından yaklaşık olarak 5-7 kat daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Chen ve diğ., 2016).

Vietnam'ın Ho Chi Minh şehrinde yol kenarında yapılan çalışmada  $PM_{2.5}$  ve BTEX konsantrasyonlarını belirlemek üzere Aralık 2007-Ocak 2008 boyunca örnekleme yapılmıştır. Örnekleme, ortalama trafik akışına sahip bir caddenin her iki tarafında ve 8 noktada yapılmış, aynı zamanda meteoroloji verileri ve araç akımları da kaydedilmiştir. Hafta içinde ölçülen 24 saatlik ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu hafta sonu ölçülen  $PM_{2.5}$  konsantrasyon değerlerinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Giang ve diğ., 2014 ).

Goud ve diğ. tarafından Bangalore'da partiküler madde konsantrasyonlarını tahmin etmek için CALINE 4 modeli kullanılarak günün 06:00 ile 10:00 saatleri arasında yapılan bir çalışmada tahmini  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları 121,3  $\mu g/m^3$  ila 403,7  $\mu g/m^3$  arasında değişmiştir. Trafikğin en yoğun olduğu saatler 08:00 -12:00 ve 16:00 -20:00 arasında kaydedilmiştir. Ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları 121,3  $\mu g/m^3$  ila 403,7  $\mu g/m^3$  arasında değiştiği belirlenmiştir. Pazartesi ve Cuma günleri maksimum konsantrasyonlar gözlenmiştir. Ayrıca maksimum konsantrasyon pazartesi günü kaydedilmiş ve iki tekerlekli araçlar, otomobil, otobüs ve kamyonun hakim olduğu yoğun trafikten kaynaklandığı ileri sürülmüştür (Goud ve diğ., 2015).

Çin’de yapılan bir çalışmada, 2015’ten itibaren yüksek çözünürlüklü zamansal ve mekansal zemin seviyesinde  $PM_{2.5}$  verileri kullanarak Çin genelinde  $PM_{2.5}$  maruziyetinin analizlerini yapılmıştır. Sonuçlar, yıllık ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun  $52,81 \mu g m^{-3}$  olduğu ve en yüksek yıllık ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun öncelikle Kuzey Çin’de ortaya çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca, en düşük ve en yüksek aylık ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarının sırasıyla Ağustos ve Ocak aylarında ortaya çıktığı, en düşük ve en yüksek günlük ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarının sırasıyla 16:00 ve 10:00 saatlerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte 2013’te elde edilen veriler ile yapılan karşılaştırmalar, yıllık ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarının 2013’ten 2015’e kadar %12,31 oranında azaldığını ve 2015’in başlarında çevre koruma yasalarının uygulanmasından kaynaklandığını belirtilmiştir (Guo ve diğ., 2017).

Hindistan’da Pant ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada 2013’te yaz ve kış mevsimlerinde trafiğin yoğun olduğu bir bölgede  $PM_{2.5}$  örnekleri toplanmış ve bu örnekler karakterize edilmiştir.  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarının, özellikle kış mevsiminde, Hindistan’ın  $PM_{2.5}$  hava kalitesi standardını birkaç kez aştığı görülmüştür. Trafik egzoz emisyonlarının katkısı yaz aylarında %18.7, kışın %16.2 oranlarında olduğu gözlemlenmiştir. Bir diğer  $PM_{2.5}$  kaynakları (odun ve diğer biyokütle/atık/ kömür) kışın konsantrasyonların yüksek olmasına katkıda bulunmuştur. İkincil sülfatlar, nitratlar ve klorür ve organik madde de  $PM_{2.5}$  kütlesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur (Pant ve diğ., 2015).

Çin’deki 190 şehirde bir yıllık izlemeden elde edilen  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarının istatistiksel özeti sadece 25’i Çin’in Ulusal ortam havası kalite standartlarını karşılayabildiğini ve Çin şehirlerinde  $PM_{2.5}$ ’in nüfus ağırlıklı ortalamasının  $61 \mu g m^{-3}$ , küresel nüfus ağırlıklı ortalamasından 3 kat daha yüksek olduğunu ve yüksek bir sağlık riski oluşturduğu görülmüştür.  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları, olumsuz meteorolojik koşullar nedeniyle Çin’in kuzey bölgelerine oranla güney bölgelerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir.  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarındaki dikkat çekici mevsimsel değişkenliği, kış aylarında en yüksek ve yaz aylarında en düşük seviyede görülmüştür.  $PM_{2.5}$  ve CO oranının günlük dağılımı, ikincil PM oluşumunun önemli bir katkısını yansıtan öğleden sonraki dönemlerde belirgin bir zirve gösterir (Zhang ve diğ., 2015).

Whiteman ve diğ. tarafından Utah'ta yapılan bir çalışmada kış aylarında günlük partikül konsantrasyonlarını etkileyen meteorolojik faktörler kırk yıllık verilere dayanarak incelenmiş ve kış aylarında PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu Ulusal Çevre Havası Kalitesi Standardı (NAAQS)'na göre yaklaşık olarak 18 gün içinde en fazla 6 gün aştığı gözlemlenmiştir. PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının 35 µgm<sup>-3</sup> ü aştığı durumlar, meteorolojik faktörlerin; sıcaklık 0 °C'nin altında, % 50'den fazla bağıl nem ve düşük rüzgar hızında görülmüştür (Whiteman ve diğ., 2014).

Çin'de Ocak 2013'te hava kalitesi izleme istasyonlarında elde edilen verilerine (CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> ve SO<sub>2</sub>) dayanarak zamansal ve mekânsal kirlilik raporu hazırlanmıştır. Çalışmada, 2014-2015 yılları arasında Çin'in 31 büyük şehrinde meydana gelen hava kirliliği özelliğini ve meteorolojik koşullara olan ilişkisi analiz edilmiştir. 2014 yılı için ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu 63,7 µgm<sup>-3</sup> olduğu belirtilmiş ve 2015 yılına oranla ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu %12 azaldığı görülmüştür. 2014 yılı için meteorolojik koşullar kirlletici dağıtım anlamında 2015 yılına göre daha olumsuz olduğu sonucuna varılmıştır (He ve diğ., 2017).

Çin'de sis olayları sırasında partikül kirliliğine ikincil aerosol katkısını inceleyen Huang ve diğ. Ocak 2013 boyunca Beijing, Shanghai, Guangzhou ve Xi'an kentlerindeki kimyasal yapıları ve partikül madde kaynaklarını araştırmıştır. Bu dört şehirde yapılan çalışmada PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları Beijing'de 158,5 µgm<sup>-3</sup>, Shanghai'da 90,7 µgm<sup>-3</sup>, Guangzhou'da 69,1 µgm<sup>-3</sup> ve Xi'an'da 345,1 µgm<sup>-3</sup> olarak tespit edilmiştir. Şiddetli sis olayları büyük ölçüde ikincil aerosol oluşumu ile gerçekleştiği görülmüş ve bu oluşuma PM<sub>2.5</sub> ve organik aerosolün sırasıyla %30-77 ve %44-71 oranında katkıda bulunduğunu belirtilmiştir (Huang ve diğ., 2014).

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmayla Haziran 2016– Eylül 2017 tarihleri arasında İstanbul’da gün içinde seyahat amacıyla kullanılan beş farklı ulaşım aracı (otobüs, metrobüs, otomobil, deniz otobüsü ve feribot olmak üzere) içinde ve dış ortamda (durak ve rıhtım) kişilerin maruz kaldıkları  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarının belirlenmesi ve bu kirleticinin istatistiksel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Saha çalışmasında tercih edilen ulaşım türleri ve özellikleri Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

**Tablo 3. 1:** Saha çalışmasında seçilen ulaşım türleri ve özellikleri.

| Ulaşım Türü   | Güzergah                        | Uzunluk (km) | Durak Sayısı | Seyahat Süresi (Gidiş-Dönüş)(dakika) | Ölçüm periyodu (gün/ay) |
|---------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Otobüs        | 146 Bakırköy-Boğazköy Mahallesi | 40           | 48           | 150                                  | 1                       |
|               | 76B Bakırköy-Cihangir Mahallesi | 20           | 39           | 130                                  | 2                       |
| Metrobüs      | 34 Avcılar-Zincirlikuyu         | 30           | 26           | 120                                  | 2                       |
|               | 34AS Avcılar-Söğütlüçeşme       | 42           | 33           | 170                                  | 2                       |
| Otomobil      | Avcılar-Zincirlikuyu            | 30           |              | 100                                  | 2                       |
| Deniz Otobüsü | Bakırköy-Bostancı               | 20           | 3            | 100                                  | 2                       |
| Feribot       | Yenikapı-Yalova                 | 50           | 2            | 150                                  | 1                       |

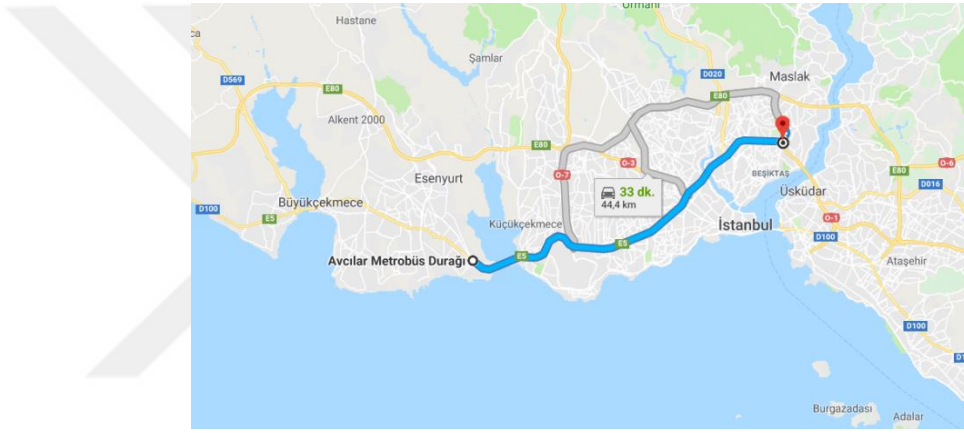
Araç içinde ölçüm çalışmasına başlamadan önce güzergâhın ilk durağında 15 dakika süre ile portatif cihazlar yardımıyla dış ortam ölçümü yapılmıştır. Dış ortam ölçümü tamamlandıktan sonra araca binilerek belirli olan güzergah boyunca araç içi ölçüme devam edilmiştir. Güzergahın son durağına gelinip sefer tamamlandıktan sonra araçtan inilip son durakta aracın dış ortamında 15 dakika süre ile ölçüm yapılmıştır. Tekrar araca binilerek güzergâhın dönüş yönünde araç içi ölçüme devam edilmiş, seyahat tamamlandıktan sonra aracın dış ortamında 15 dakika süre ile ölçüm yapılmıştır. Sabah saatleri için ilk ölçüm çalışması (gidiş-dönüş) tamamlandıktan sonra aynı hatta bu şekilde ikinci ölçüm çalışmasına devam edilmiştir. Ayrıca

dış ortam ve araç içinde yapılan tüm ölçüm çalışmaları sırasında sıcaklık, nem değerleri kaydedilmiştir. Çalışmanın yapıldığı ulaşım türleri, özellikleri ve güzergâhları ayrıntılı bir şekilde bir sonraki bölümde verilmiştir.

### 3.1. ÇALIŞMANIN YAPILDIĞI ULAŞIM TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

#### 3.1.1. Otomobil

Bu çalışmada otomobil ölçümlerinde FORD Fiesta-2013 model benzinli araç kullanılmıştır. Otomobil için başlangıç ve bitiş noktası, İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü ve Zincirlikuyu olarak belirlenmiştir. Çalışmada tercih edilen otomobil güzergâhı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3. 1: Otomobil hattı güzergâhı (<https://www.google.com.tr/maps>).

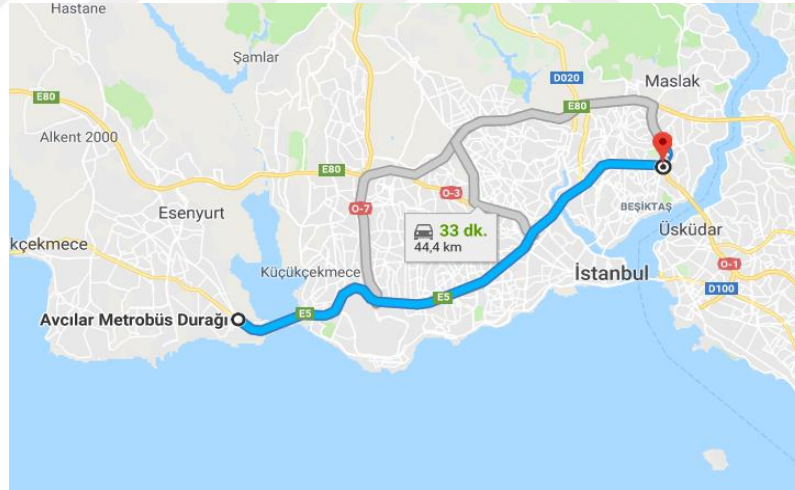
Otomobilde araç içi için yapılan ölçümler iki farklı durum için gerçekleştirilmiştir. Birinci durumda Avcılar-Zincirlikuyu gidiş seferinde aracın camları açık seyir halindeyken; ikinci durumda ise Zincirlikuyu-Avcılar dönüş seferinde aracın camları kapalı ve klima iç hava sirkülasyonu ile çalışır durumdayken ölçümler yapılmıştır. Otomobilde araç içinde ve dış ortamda yapılan ölçüm çalışmasına ait görüntüler Şekil 3.2’de verilmiştir.



**Şekil 3. 2:** Otomobilde araç içinde ve dış ortamda yapılan ölçüm çalışması.

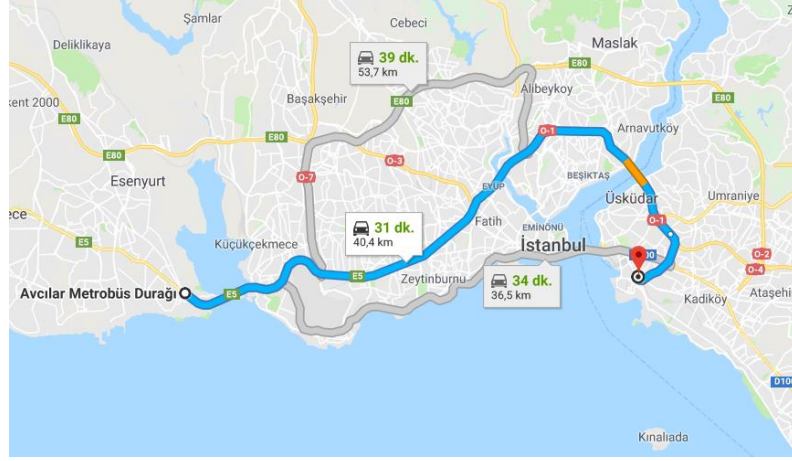
### 3.1.2. Metrobüs

Bu çalışmada metrobüs ölçümleri için 34 No.lu Avcılar-Zincirlikuyu ve 34AS No.lu Avcılar-Söğütlüçeşme metrobüs hatları tercih edilmiştir. Metrobüs güzergâhları Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de verilmiştir.



**Şekil 3. 3:** 34 No.lu Avcılar-Zincirlikuyu metrobüs hattı güzergâhı

(<https://www.google.com.tr/maps>).



**Şekil 3. 4:** 34AS No.lu Avcılar-Söğütlüçeşme metrobus hattı güzergâhı (<https://www.google.com.tr/maps>).

Metrobus içinde yapılan ölçümler Citaro ve Capacity olmak üzere iki farklı metrobus modelinde gerçekleştirilmiştir. Metrobus içinde yapılan ölçüm çalışmasına ait görüntüler Şekil 3.5’de verilmiştir.



**Şekil 3. 5:** Metrobüste araç içinde yapılan ölçüm çalışması.

Dış ortam ölçümleri Zincirlikuyu metrobus durağı, Avcılar metrobus durağı ve Söğütlüçeşme metrobus durağında gerçekleştirilmiştir. Metrobus durağında yapılan ölçüm çalışmasına ait görüntüler Şekil 3.6’de verilmiştir.

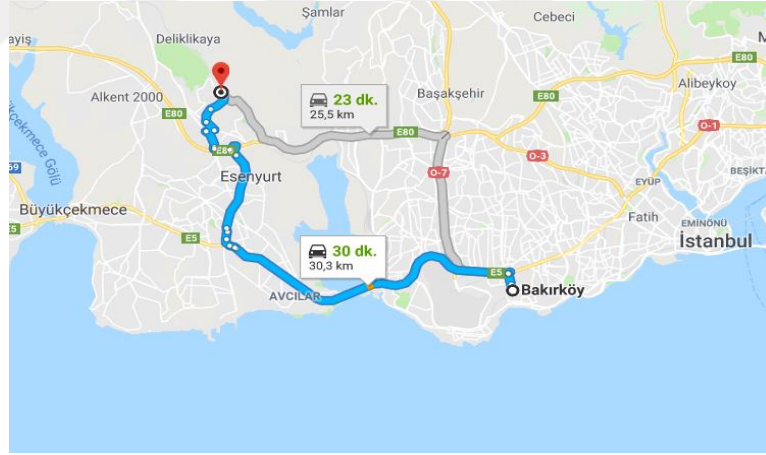




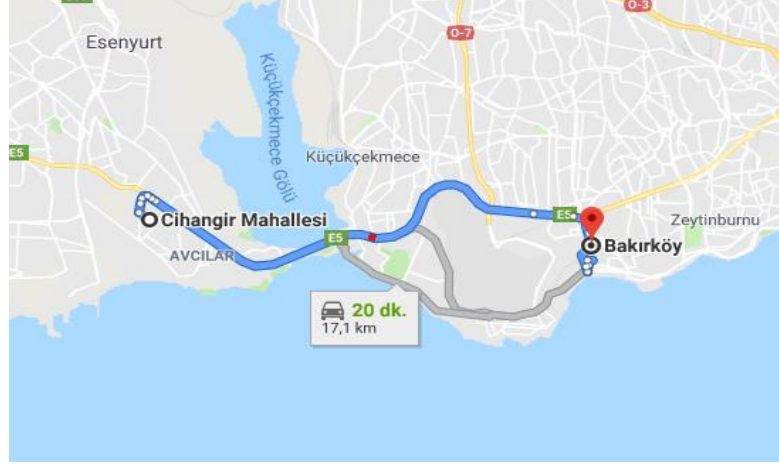
Şekil 3. 6: Metrobüs durağında yapılan dış ortam ölçüm çalışması.

### 3.1.3. Otobüs

Bu çalışmada otobüs araç içi ölçümleri için 76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi hattı ve 146 No.lu Bakırköy-Boğazköy Mahallesi otobüs hattı olmak üzere iki farklı güzergah tercih edilmiştir. Otobüs güzergâhları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’da verilmiştir.



Şekil 3. 7: 146 No.lu otobüs hattı güzergâhı (<https://www.google.com.tr/maps>).



**Şekil 3. 8:** 76B No.lu otobüs hattı güzergâhı (<https://www.google.com.tr/maps>).

Araç içi ölçüm çalışması sırasında cihazların taşınması ve güvenlik gibi sebeplerden dolayı daha uygun olduğu düşünülerek otobüsün orta kapısına yakın kısımda gerçekleştirilmiştir. Otobüste araç içinde yapılan ölçüm çalışmasına ait görüntüler Şekil 3.9’da verilmiştir.



**Şekil 3. 9:** Otobüslerde yapılan araç içi ölçüm çalışması.

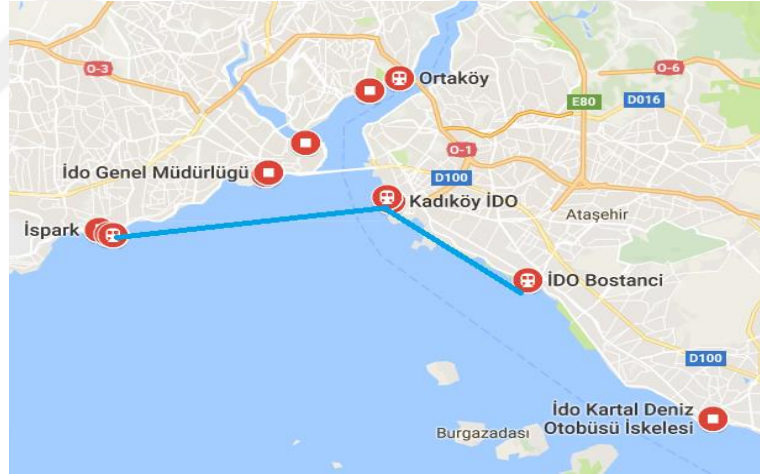
76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi hattı ve 146 No.lu Bakırköy-Boğazköy Mahallesi otobüs hatları için dış ortam ölçümleri güzergahların başlangıç ve bitiş noktaları olan Bakırköy otobüs durağı, Cihangir Mahallesi otobüs durağı ve Boğazköy Mahallesi otobüs durağında gerçekleştirilmiştir. Otobüs duraklarında yapılan dış ortam ölçüm çalışmasına ait görüntüler Şekil 3.10’da verilmiştir.



**Şekil 3. 10:** Otobüs duraklarında yapılan dış ortam ölçüm çalışması.

#### 3.1.4. Deniz Otobüsü

Bu çalışmada deniz otobüsü araç içi ölçümleri için Bakırköy-Bostancı hattı tercih edilmiştir. Deniz otobüsü güzergâhı Şekil 3.11’te verilmiştir.



**Şekil 3. 11:** Deniz otobüsü hattı güzergâhı (<https://www.google.com.tr/maps>).

Deniz otobüsü içinde yapılan ölçümler katamaran tipli iki farklı deniz otobüsünde gerçekleştirilmiştir. Deniz otobüsüne ait teknik özellikler Tablo 3.2’de verilmiştir.

**Tablo 3. 2:** Deniz otobüsüne ait teknik özellikler.

| Tekne Tipi | İnşa Yılı      | Yolcu Kapasitesi | Yakıt Kapasitesi(litre) |
|------------|----------------|------------------|-------------------------|
| Katamaran  | 1987/1988      | 449              | 2x4500                  |
| Katamaran  | 1997/1998/2000 | 350,358,400      | 2x3200                  |

Araç içi ölçüm çalışması deniz otobüsünün orta kısımlarında yürütülmüştür. Deniz otobüsü içinde yapılan ölçüm çalışmasına ait görüntüler Şekil 3.12' de verilmiştir.



Şekil 3. 12: Deniz otobüsü içinde yapılan ölçüm çalışması.

Dış ortam ölçümleri için rıhtımlarda yapılan ölçümler Bakırköy ve Bostancı rıhtımlarında gerçekleştirilmiştir. Rıhtımlarda yapılan ölçüm çalışmasına ait görüntüler Şekil 3.13 'de verilmiştir.

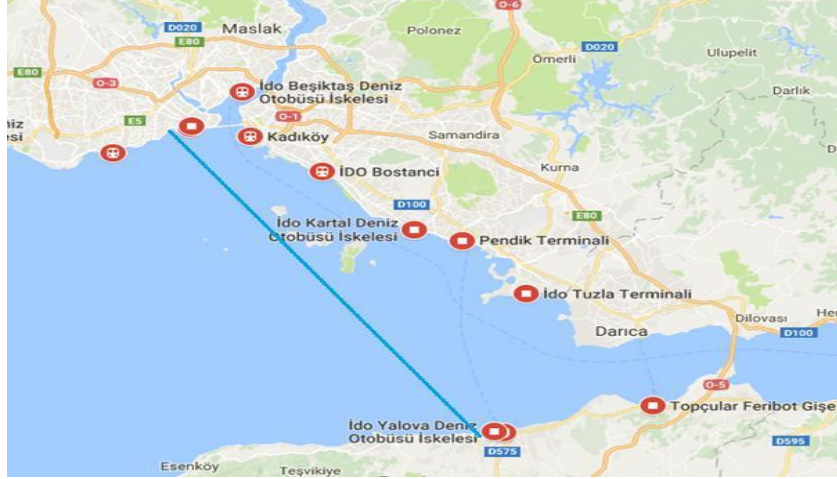


Şekil 3. 13: Deniz otobüsü rıhtımlarında yapılan dış ortam ölçüm çalışması.

### 3.1.5. Feribot

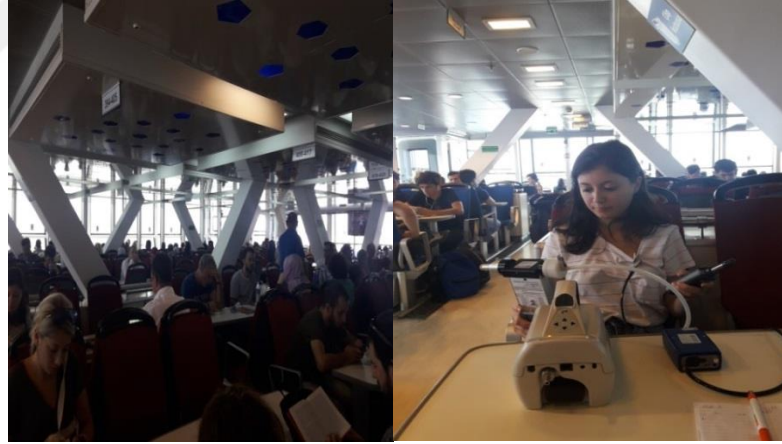
Bu çalışmada feribot araç içi ölçümleri için Yenikapı-Yalova hattı tercih edilmiştir. Feribot güzergâhı Şekil 3.14'te verilmiştir.





**Şekil 3. 14:** Yenikapı-Yalova Feribot hattı güzergâhı (<https://www.google.com.tr/maps>).

Feribot araç içi ölçümleri için ‘double ended hızlı feribot’ model araçlar kullanılmıştır. Bu feribotların günlük yolcu kapasitesi 600’dür. Yenikapı-Yalova güzergahında ölçümler ayda bir defa yapılmıştır. Araç içi ölçüm çalışması feribotun orta kısmında yürütülmüştür. Feribot içinde yapılan ölçüm çalışmasına ait genel görüntüler Şekil 3.15’te verilmiştir.



**Şekil 3. 15:** Feribot içinde yapılan ölçüm çalışması.

Yenikapı ve Yalova rıhtımlarında yapılan dış ortam ölçümlerine ait görüntüler Şekil 3.16’da verilmiştir.



**Şekil 3. 16:** Yenikapı-Yalova feribot güzergahında rıhtımlarda yapılan dış ortam ölçüm çalışması.

### 3.2. ÇALIŞMADA KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZI VE ÖZELLİKLERİ

Araç içi ve dış ortamda  $PM_{2.5}$  ölçümleri ışık saçılımı yöntemine göre çalışan pDR-1200 portatif partikül ölçüm cihazı (Şekil 3.17) ile yapılmıştır. Cihaz optik okuma başlığı, pompa modülü ve batarya olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

Cihazda saha koşullarında parçacık büyüklüğünü seçerek ölçümler yapabilmek için pompa modülü veya örneklem pompası kullanılmaktadır. Örneklem pompası ve optik okuyucu arasındaki hava akışı ince bir hortum vasıtası ile sağlanmıştır. Optik okuyucunun çıkış kısmına pompanın tıkanmasını önlemek amacı ile filtre haznesi takılmıştır. Ölçümler sırasında quartz filtre kullanılmıştır. Filtre değişimi 3-4 günde bir yapılmıştır. Optik okuyucunun giriş kısmına parçacık ayırma özelliğine sahip optimal olarak tasarlanmış metal siklon takılmıştır. Ölçüm sırasında cihaza ait bu bölümlerin tıkalı veya kapalı olmamasına dikkat edilmiştir.

Cihazın belirli akış hızlarında pompanın çalıştırılması ile partikül boyutlarının tanımlanması sağlanmaktadır. Bu çalışmada  $PM_{2.5}$  boyutu için pompa çekiş hızı 4 L/dk olarak ayarlanmıştır. Çalışma için ölçüm periyodu 10 saniyede bir olarak seçilmiştir. Cihaza ait pompa modülü ve batarya AC güç kaynağı vasıtasıyla şarj edilebilmektedir. Ölçüme ait veri dosyaları, pDR-1200 yazılım programı kullanılarak cihaz üzerinde bulunan bağlantı girişi ile bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 3. 17: PM<sub>2.5</sub> ölçüm cihazı (pDR-1200).

### 3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Araç içi ölçümlerde PM<sub>2.5</sub> ölçümleri 10 sn de bir yapılmakta ve 149659 adet veri kaydı mevcuttur. Ayrıca her ölçüm sürecinde seyahat güzergahı başlangıç ve bitiş duraklarında veya rıhtımlarında da aynı parametre için ölçümler yapılmış ve 45123 adet veri kaydı bulunmaktadır. Her ölçüm süreci zamanına karşılık gelen dış ortam meteorolojik verileri ve iç ortamlardaki sıcaklık ve nem (Maksimum ve Minimum olarak) ölçümleri de eklendiğinde oldukça fazla veri kaydı oluşmuştur. İstatistiksel analiz sonuçlarının elde edilmesinde IBM SPSS istatistik paket programı sürüm 20 kullanılmıştır. SPSS programı kullanılarak tanımlayıcı istatistiksel parametreler (ortalama, standart sapma, ortanca vb.) hesaplanmıştır. Parametrelerin birbirleri ile veya ortam şartları ile ilişkisi korelasyon katsayısı (Pearson Korelasyon) kullanılarak değerlendirilmiştir. Tüm analizler %99 (\*\*:  $p < 0,01$ ) ve %95 (\*:  $p < 0,05$ ) güven sınırları içinde değerlendirilmiştir. |

#### 4. BULGULAR

Bu başlık altında ulaşım araçları içinde ve dış ortamda yapılan PM<sub>2.5</sub> ölçüm çalışması sonuçları verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yolcuların Haziran 2016-Eylül 2017 tarihleri arasında İstanbul'da gün içinde seyahat etmek amacıyla kullandıkları ulaşım araçları içinde ve dış ortamda (durak ve rıhtım) kişilerin maruz kaldıkları PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon ölçümleri otobüs, metrobüs, otomobil, deniz otobüsü ve feribot olmak üzere beş farklı ulaşım türünde gerçekleştirilmiştir. Sahada yapılacak olan ölçüm çalışması için planlanan program Haziran 2016-Mayıs 2017 tarihleri arasında tamamlanacak şekilde planlanmıştı. Fakat belirlenen ölçüm dönemi içinde hava koşullarının uygun olmaması, cihazların teknik arıza ve bakım vb. durumlarından dolayı bazı ulaşım türlerinde her ay için ölçüm yapılamamış, eksik ölçümler ise takip eden aylardan Eylül 2017'ye kadar yapılarak tamamlanmıştır.



#### 4.1. PM<sub>2.5</sub> ÖLÇÜMLERİ İSTATİKSEL TANIMLANMA

##### 4.1.1. Araç İçi PM<sub>2.5</sub> Ölçüm İstatistikleri

Ulaşım araçları içinde ölçülen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının ortalama, standart sapma ve medyan değerleri Tablo 4.1’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 1:** Ulaşım araçları içinde ölçülen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>).

| Ulaşım Türü         | Veri Sayısı (N) | Ortalama | Standart Sapma | Medyan | Maksimum | Minimum |
|---------------------|-----------------|----------|----------------|--------|----------|---------|
| Otomobil-Cam Açık   | 9453            | 36,9     | 19,2           | 32,9   | 208,6    | 7       |
| Otomobil-Cam Kapalı | 8369            | 7,6      | 5,7            | 5,6    | 39,2     | 0       |
| 34                  | 16564           | 27,6     | 16             | 23,8   | 137,2    | 3,5     |
| 34AS                | 21953           | 17,3     | 12,8           | 14     | 116,2    | 2,1     |
| 76B                 | 21969           | 44,5     | 38,6           | 32,9   | 343,7    | 2,8     |
| 146                 | 20313           | 37,2     | 26,5           | 30,1   | 289,8    | 5,6     |
| Deniz Otobüsü       | 14693           | 19,7     | 10,9           | 18,9   | 89,6     | 2,1     |
| Feribot             | 7630            | 17,7     | 8,8            | 16,1   | 60,2     | 0,7     |

N:10 saniyede bir veri

Yapılan çalışmada tüm ulaşım modlarında araç içi en yüksek PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu 76B No.lu otobüs hattında 44,5±38,6 µg/m<sup>3</sup> olarak; ikinci en yüksek PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu ise 146B No.lu otobüs hattında 37,2±26,5 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Ulaşım araçları içinde en düşük PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu ise otomobil içerisinde cam kapalı ve klima iç hava sirkülasyonu ile çalışır durumda seyir halinde iken 7,6±5,7 µg/m<sup>3</sup> olarak gözlemlenmiştir.

#### 4.1.2. Duraklarda PM<sub>2.5</sub> Ölçüm İstatistikleri

Bu çalışma için yürütülen ölçümler dahilinde güzergahların dış ortamlarında (rıhtım, peron ve duraklar için) ölçülen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının ortalama, standart sapma ve medyan değerleri Tablo 4.2’ de verilmiştir.

**Tablo 4. 2:** Durak ve rıhtımlarda ölçülen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>).

| Dış Ortam                        | N    | Ortalama | Standart Sapma | Medyan | Maksimum | Minumum |
|----------------------------------|------|----------|----------------|--------|----------|---------|
| Zincirlikuyu Metrobüs Durağı     | 3536 | 41,2     | 26,5           | 33,6   | 186,9    | 4,9     |
| Avcılar Metrobüs Durağı          | 6177 | 34,1     | 24,1           | 28     | 247,1    | 4,9     |
| Söğütlüçeşme Metrobüs Durağı     | 3368 | 18,7     | 11,3           | 17,5   | 303,8    | 1,4     |
| Bakırköy Otobüs Durağı           | 6294 | 31,3     | 19,2           | 25,9   | 136,5    | 4,2     |
| Cihangir Mahallesi Otobüs Durağı | 3130 | 26,2     | 21,1           | 22,5   | 183,4    | 0,7     |
| Boğazköy Mahallesi Otobüs Durağı | 1807 | 18,9     | 12,6           | 13,3   | 121,8    | 3,5     |
| Bakırköy Rıhtım                  | 2290 | 24,5     | 16,3           | 21,7   | 172,9    | 3,5     |
| Bostancı Rıhtım                  | 2496 | 31,3     | 34,5           | 23,1   | 216,3    | 4,2     |
| Yenikapı Rıhtım                  | 1320 | 32,4     | 19,7           | 28,7   | 101,5    | 2,1     |
| Yalova Rıhtım                    | 776  | 31,1     | 24,7           | 23     | 105,7    | 2,8     |

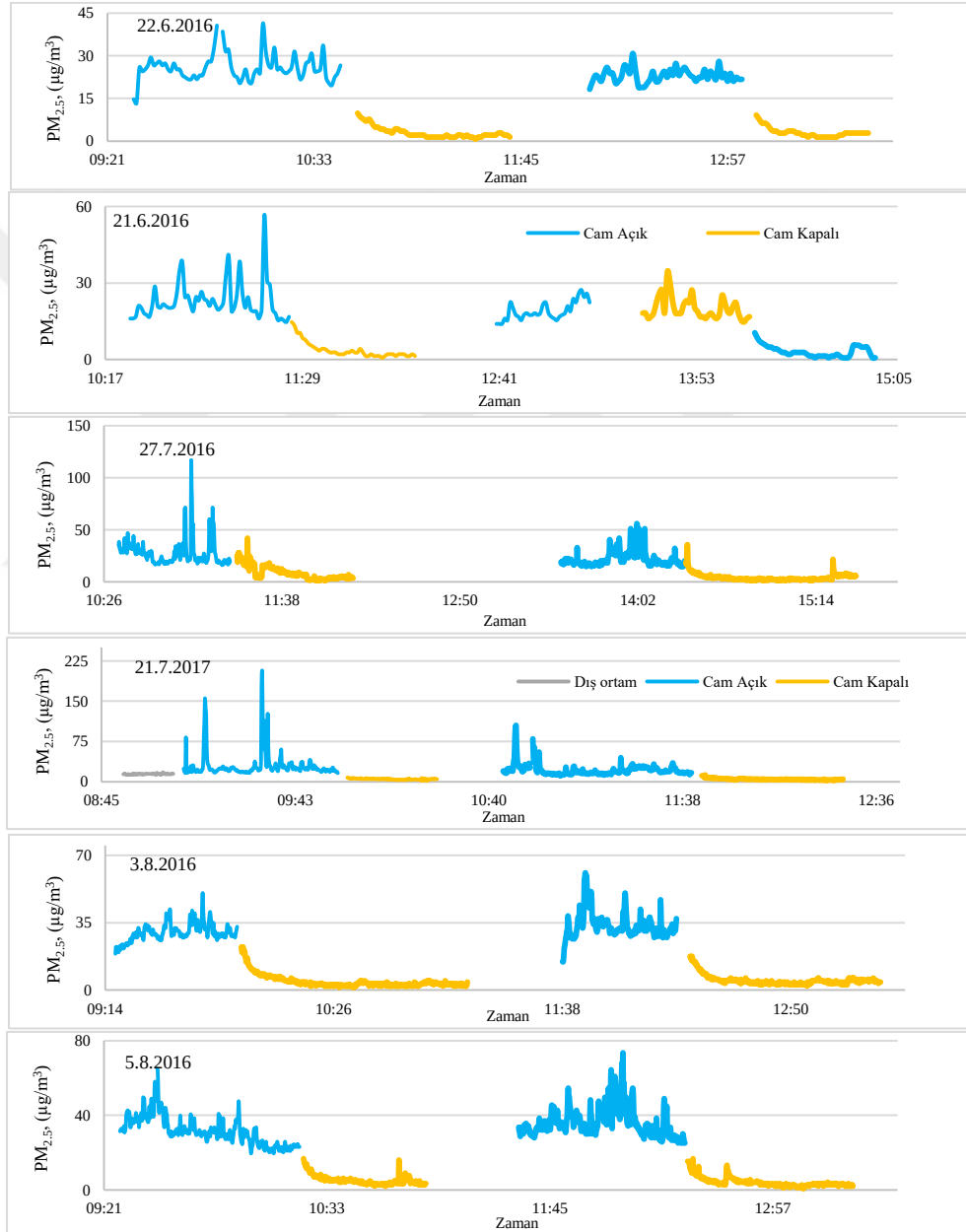
N:10 saniyede bir veri

Tablo 4.2’ e göre en yüksek ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu Zincirlikuyu Metrobüs Durağı 41,2±26,5 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. En düşük ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu ise Söğütlüçeşme Metrobüs durağında 18,7±11,3 µg/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Rıhtımlarda en yüksek ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu Yenikapı rıhtım 32,4±19,7 µg/m<sup>3</sup> iken otobüs duraklarında en yüksek ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu Bakırköy otobüs durağında 31,3±19,2 µg/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür.

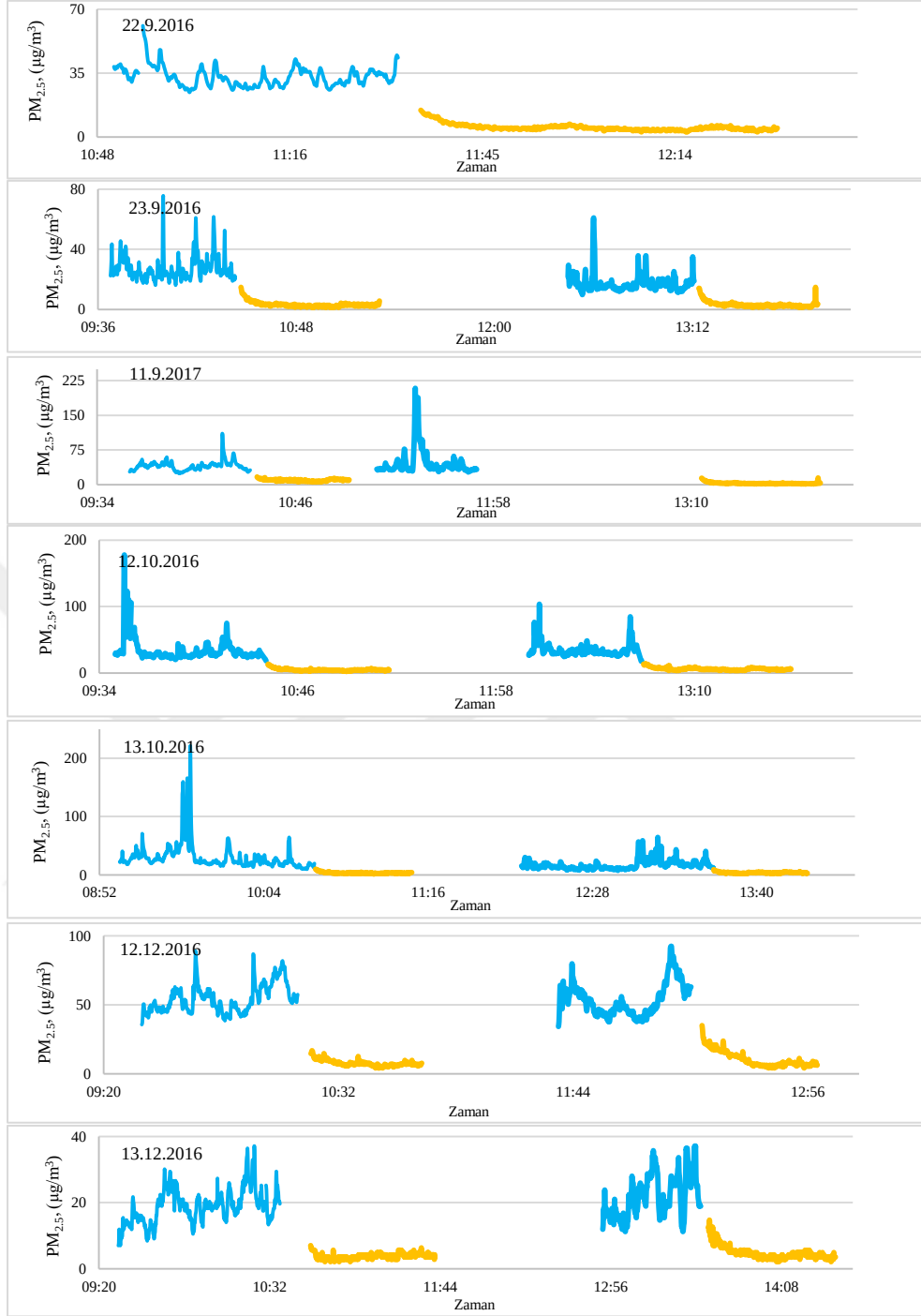
## 4.2. PM<sub>2.5</sub> KONSANTRASYONLARININ ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

### 4.2.1. Otomobil

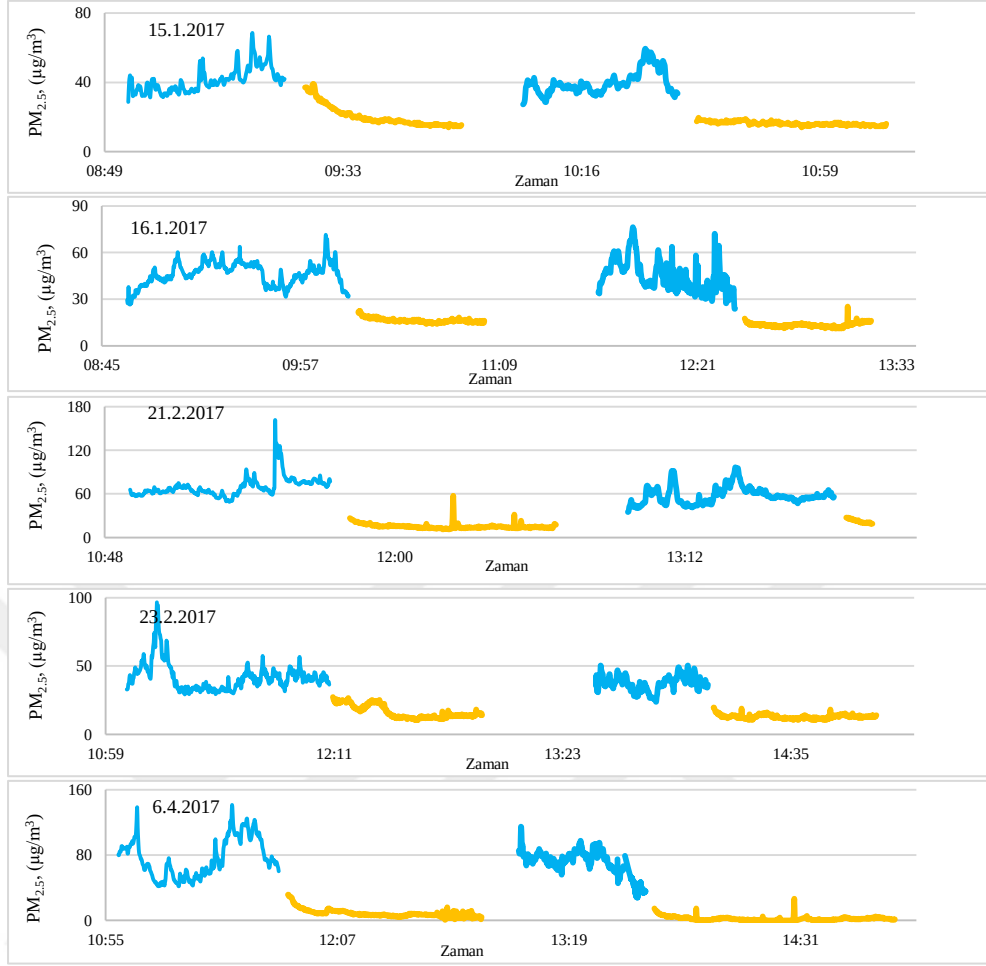
Bu çalışmada otomobilde ölçüm alınan aylarda PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının cam açık ve cam kapalı durumlarında gün içindeki zamansal değişimleri Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de verilmiştir.



**Şekil 4. 1:** Otomobilde Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



Şekil 4. 2: Otomobilde Eylül, Ekim ve Aralık aylarında  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



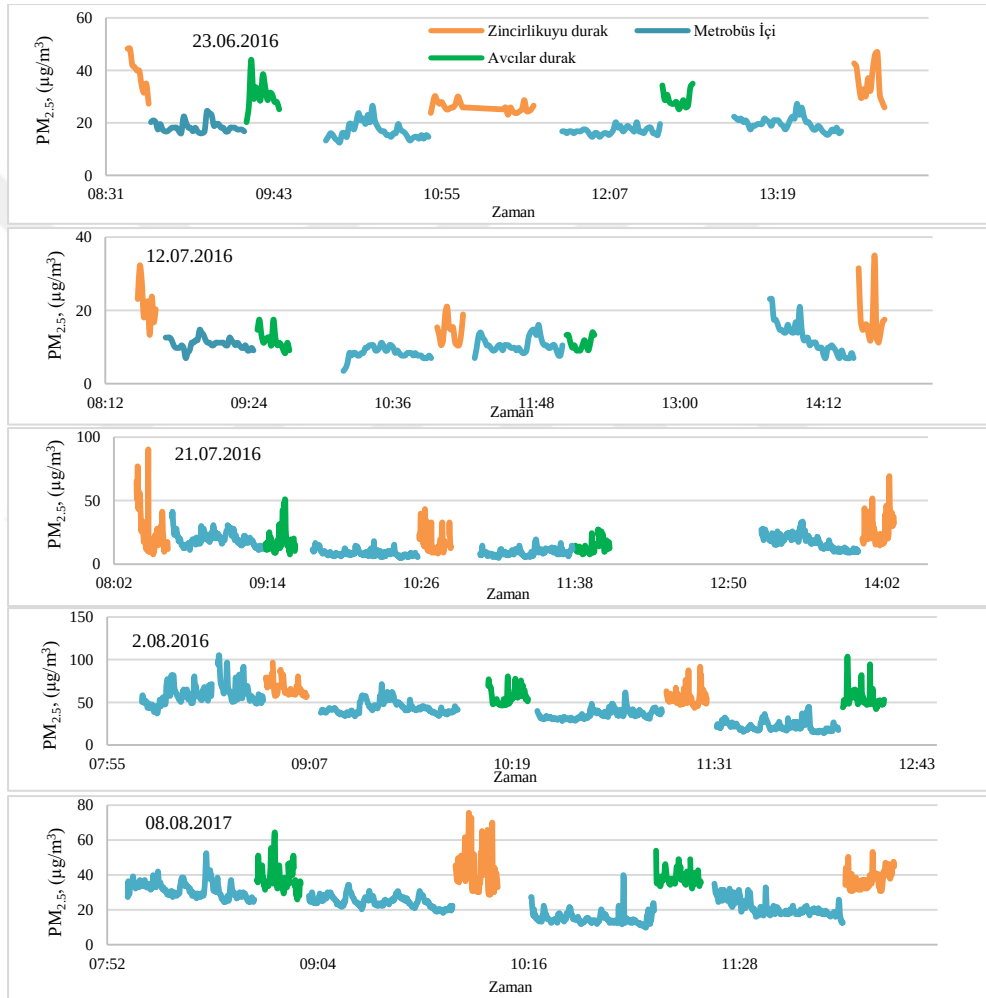
**Şekil 4. 3:** Otomobilde Ocak, Şubat ve Nisan aylarında PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.

Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de otomobilde cam açık durumdayken yapılan ölçümlerde PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun  $36,9 \pm 19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , cam kapalı iken ise  $7,6 \pm 5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu görülmektedir. Cam kapalı iken araç içi klimanın iç sirkülasyon modunda çalıştırılması ve dış ortamdan araç içine PM<sub>2.5</sub> girişinin olmaması düşük SK konsantrasyonlarının gözlenmesine sebep olmuştur.

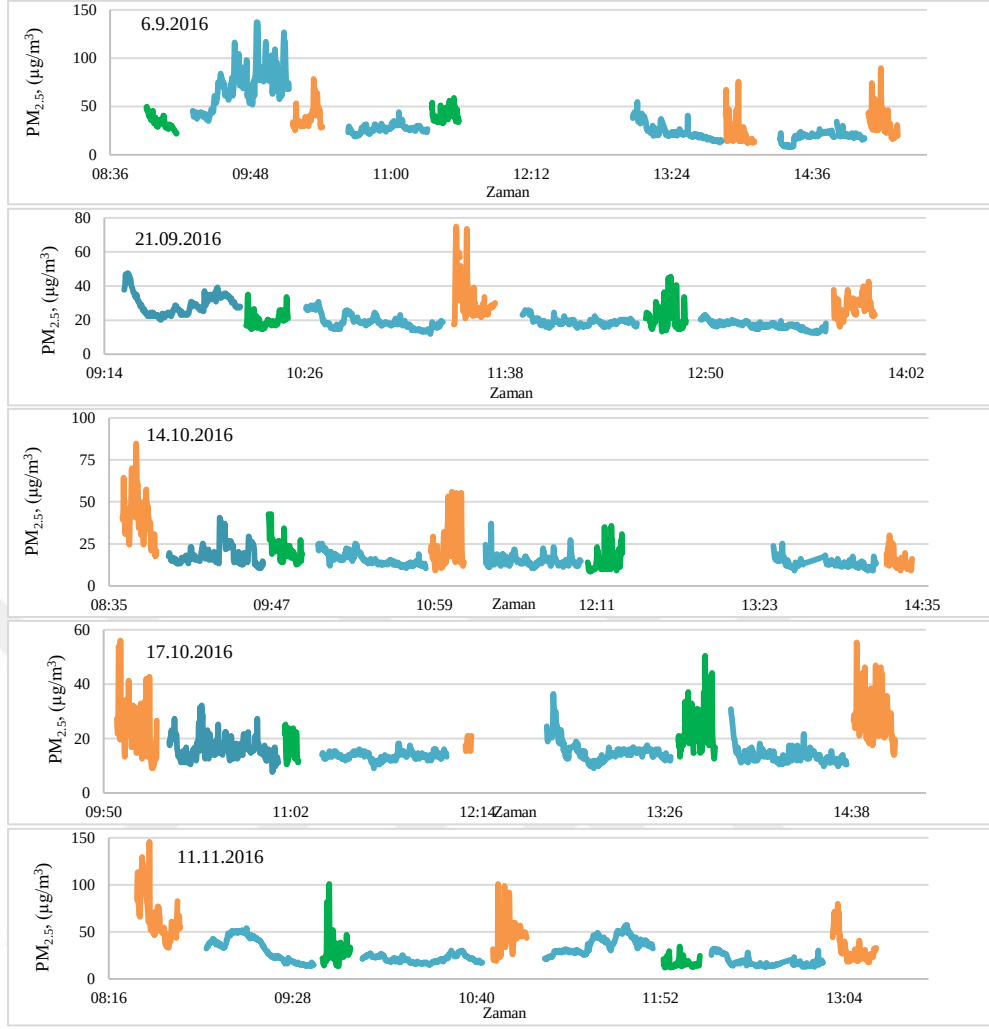
## 4.2.2.Metrobüs

### 4.2.2.1. 34 No.lu Avcılar-Zincirlikuyu Hattı

Bu çalışmada metrobüste yapılan  $PM_{2.5}$  ölçüm çalışması 34 No.lu metrobüs hattında yürütülmüştür. 34 No.lu metrobüs hattında ölçüm alınan aylarda  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun metrobüs içinde ve duraklarda gün içindeki zamansal değişimi sırasıyla Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4. 4: 34 No.lu metrobüs hattında Haziran-Ağustos aylarında  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



Şekil 4. 5: 34 No.lu metrobüs hattında Eylül-Kasım aylarında  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



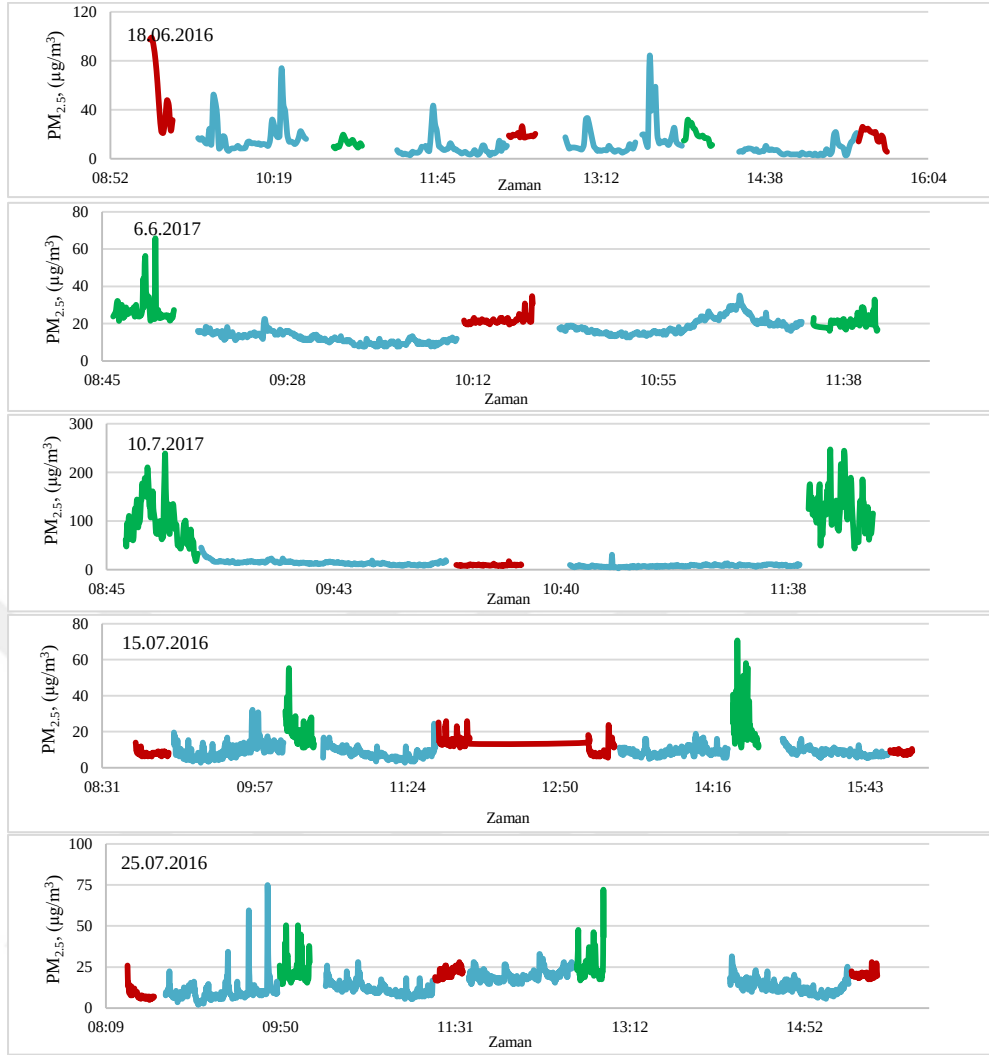
Şekil 4. 6: 34 No.lu metrobüs hattında Aralık-Nisan aylarında  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



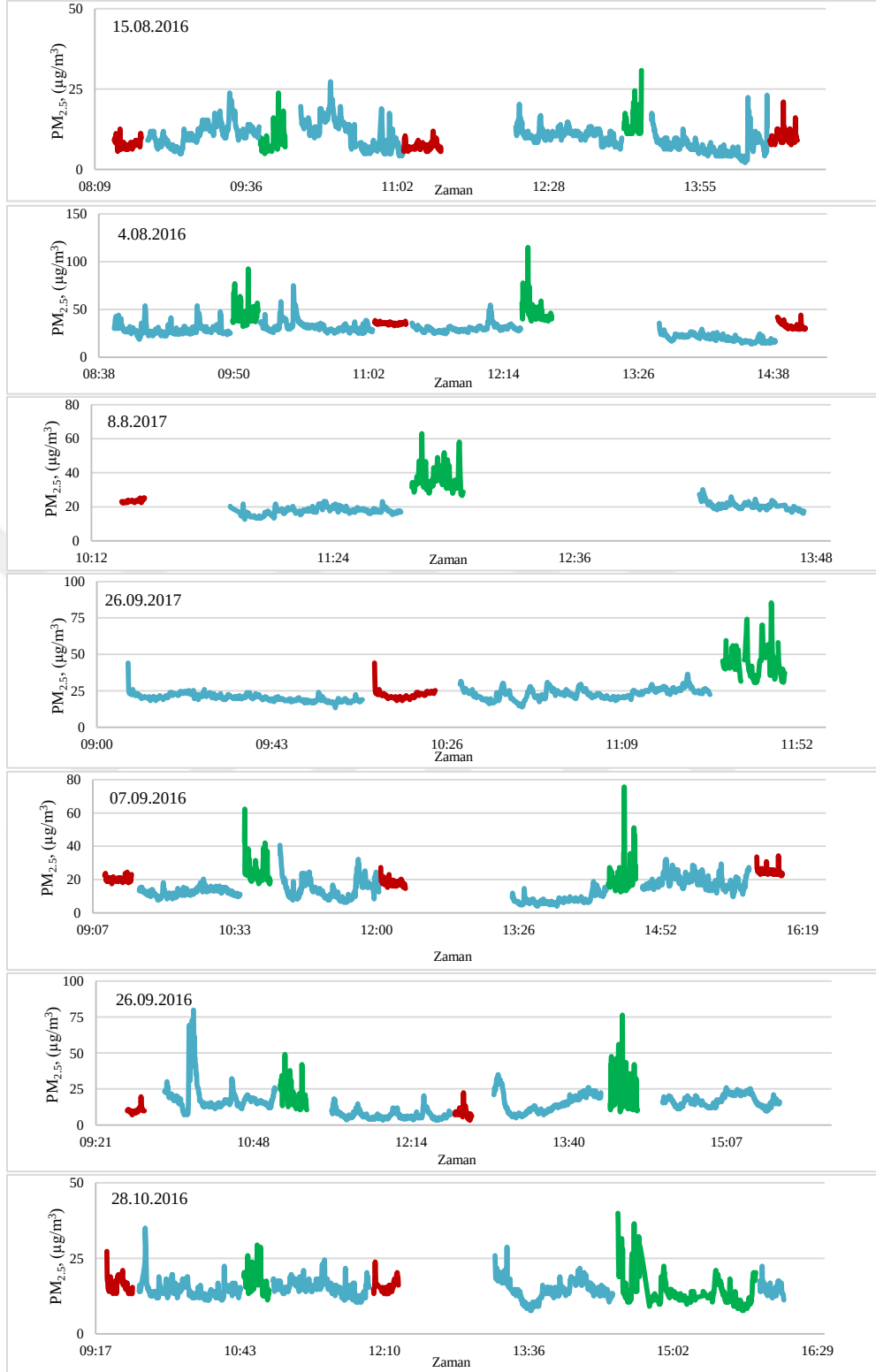
Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da 34 No.lu metrobüs hattında yapılan ölçümlerde araç içi ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun  $27,6 \pm 16,0 \mu g/m^3$  olduğu belirlenmiştir. 34 No.lu metrobüs hattı ise D100 karayolu güzergahı üzerinde bulunmaktadır ve günün her saatinde trafik yoğunluğundan etkilenmektedir. Avcılar metrobüs durağında ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu  $34,1 \pm 24,1 \mu g/m^3$  olarak bulunmuştur. Zincirlikuyu metrobüs durağında yapılan ölçümlerde ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu  $41,2 \pm 26,5 \mu g/m^3$  olarak bulunmuştur. 34 No.lu metrobüs hattında yapılan çalışmada duraklarda ölçülen ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu araç içinde ölçülen ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonundan daha yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

#### **4.2.2.2. 34AS No.lu Avcılar-Söğütluçeşme Hattı**

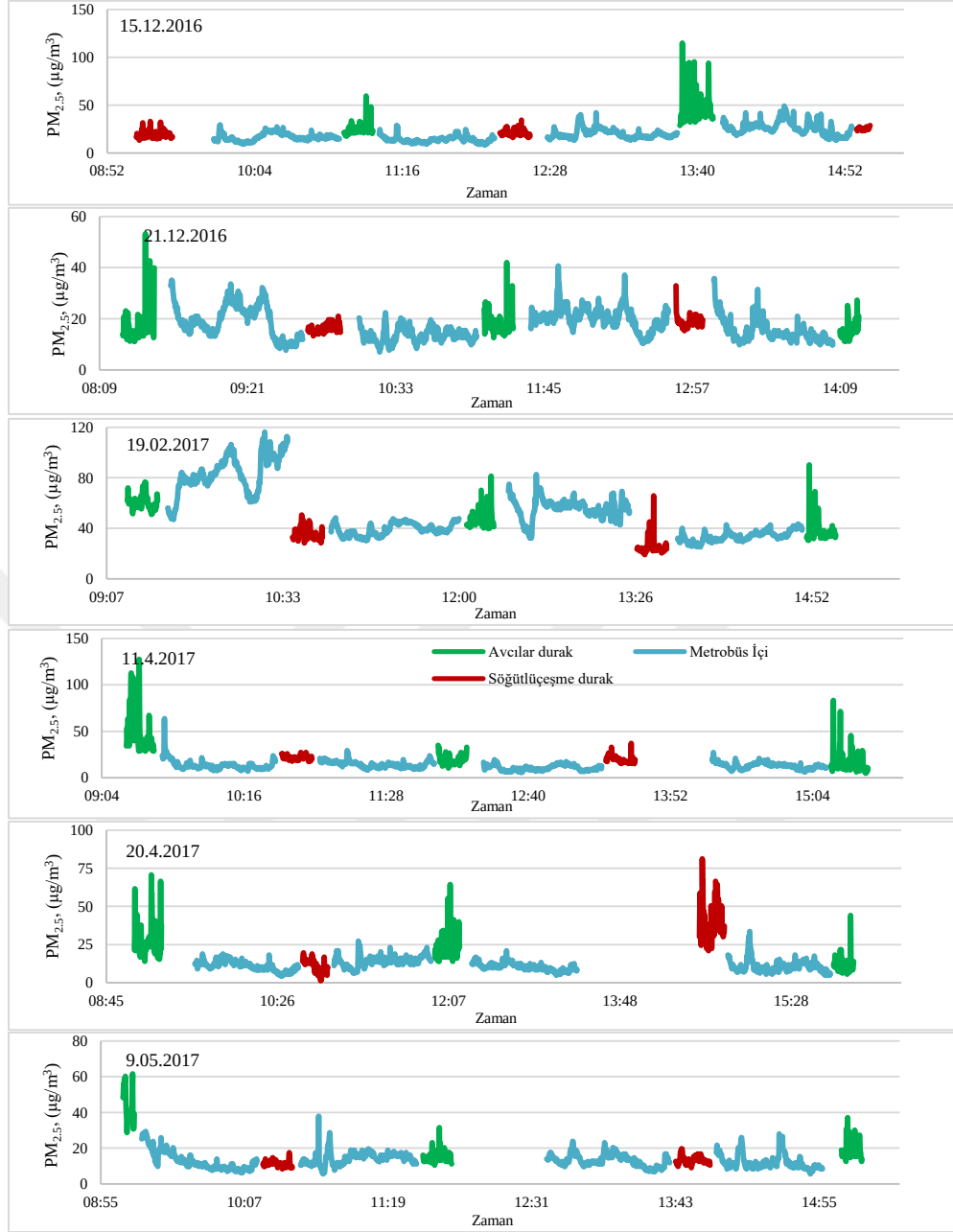
34AS No.lu metrobüs hattında ölçüm alınan aylarda  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun metrobüs içinde ve duraklarda gün içindeki zamansal değişimi ise sırasıyla Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4. 7: 34AS No.lu metrobüs hattında Haziran-Ağustos aylarındaki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



**Şekil 4. 8:** 34AS No.lu metrobüs hattında Ağustos-Ekim aylarındaki  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



Şekil 4. 9: 34AS No.lu metrobüs hattında Aralık-Mayıs aylarındaki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.

Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da 34AS No.lu metrobüs hattında yapılan ölçümlerde ise araç içi  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun  $17,3 \pm 12,8 \mu g/m^3$  olduğu belirlenmiştir. 34AS No.lu metrobüs hattı son durağının Söğütlüçeşme olmasından dolayı günün belirli saatlerinde trafiğin daha az yoğun olduğu güzergah üzerinde seyir etmektedir. Söğütlüçeşme metrobüs durağında yapılan ölçümlerde ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu ise  $18,7 \pm 11,3 \mu g/m^3$  olarak bulunmuştur. Söğütlüçeşme metrobüs durağına göre yüksek konsantrasyonların gözleendiği; Avcılar metrobüs durağı ve Zincirlikuyu metrobüs durağı gün boyunca trafik yoğunluğunun olduğu bir konumdadır ve bu yüksek konsantrasyonlara yoğun trafiktan kaynaklanan kirleticilerin birikmesinin neden olduğu söylenebilir.

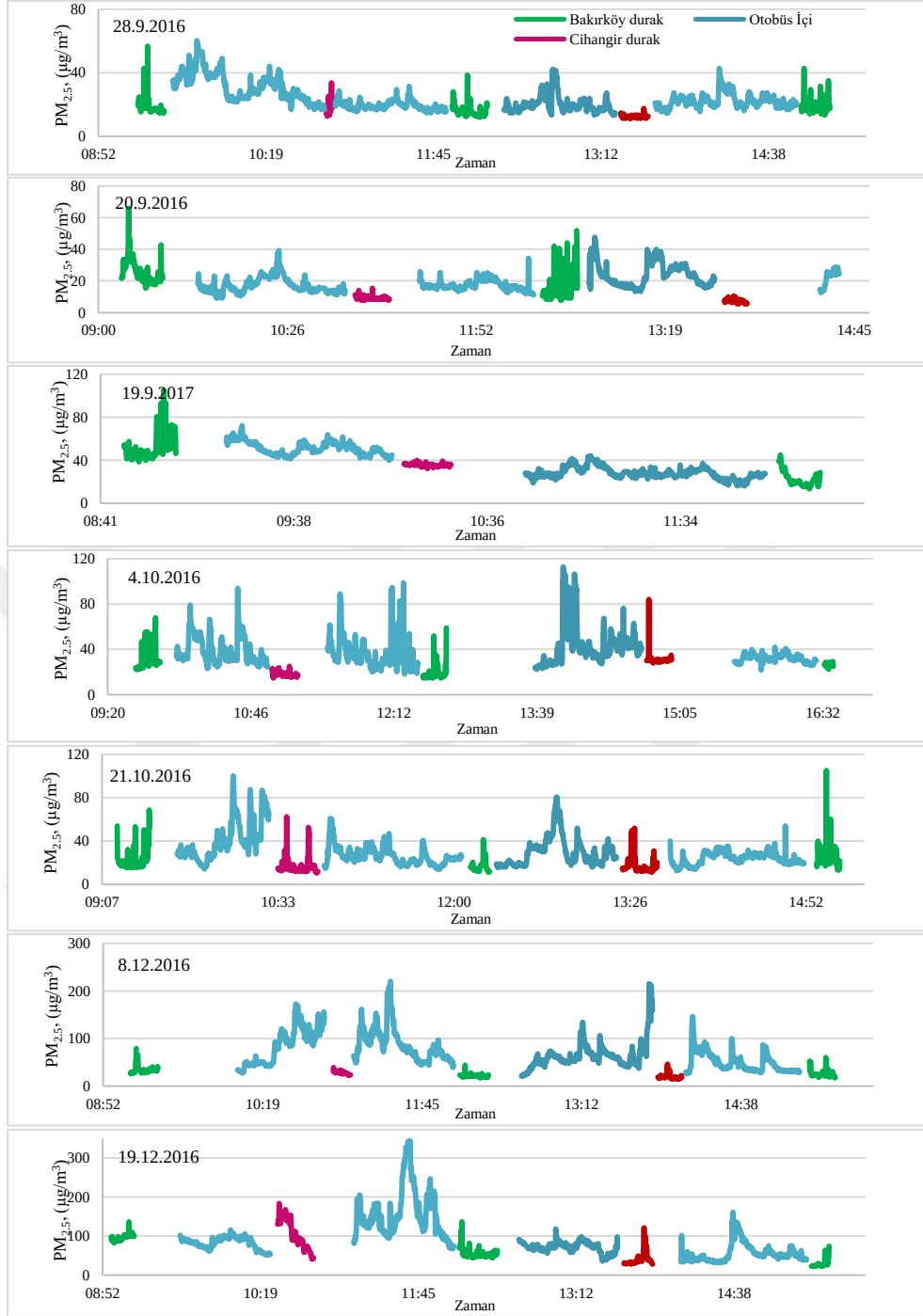
#### **4.2.3.Otobüs**

##### ***4.2.3.1. 76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi Hattı***

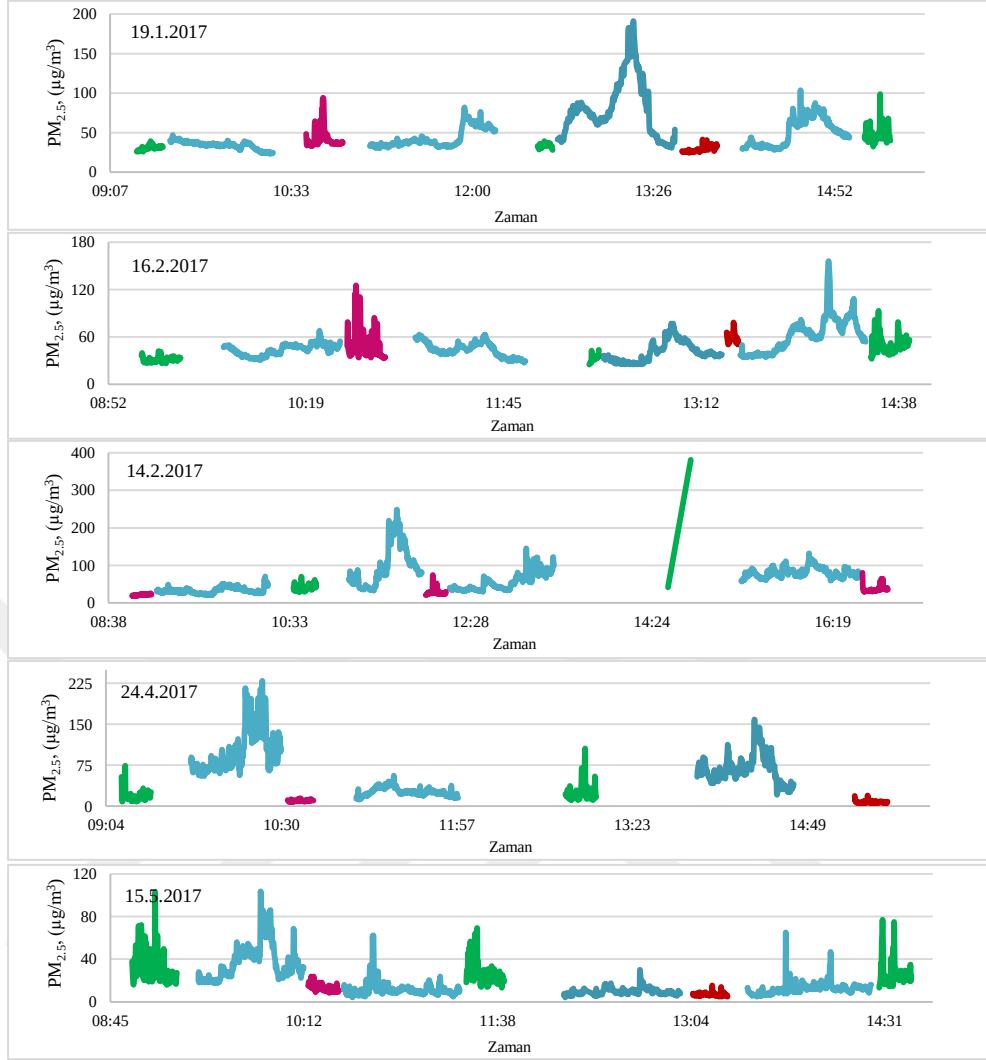
76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi otobüs hattında ölçüm alınan aylarda  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun otobüs içinde ve duraklarda gün içindeki zamansal değişimi sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4. 10: 76B No.lu otobüs hattında Haziran-Ağustos aylarında  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



Şekil 4. 11: 76B No.lu otobüs hattında Eylül-Aralık aylarında PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



**Şekil 4. 12:** 76B No.lu otobüs hattında Ocak-Mayıs aylarında PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.

76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi otobüs hattında yapılan ölçümlerde araç içi ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun  $44,5 \pm 38,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu belirlenmiştir. Bakırköy Otobüs Durağında yapılan dış ortam ölçümlerinde ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun  $31,3 \pm 19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Cihangir Otobüs Durağında ise  $26,2 \pm 21,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu belirlenmiştir. 76B No.lu Bakırköy-Cihangir hattında araç içi ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının duraklarda ölçülen konsantrasyonlardan daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

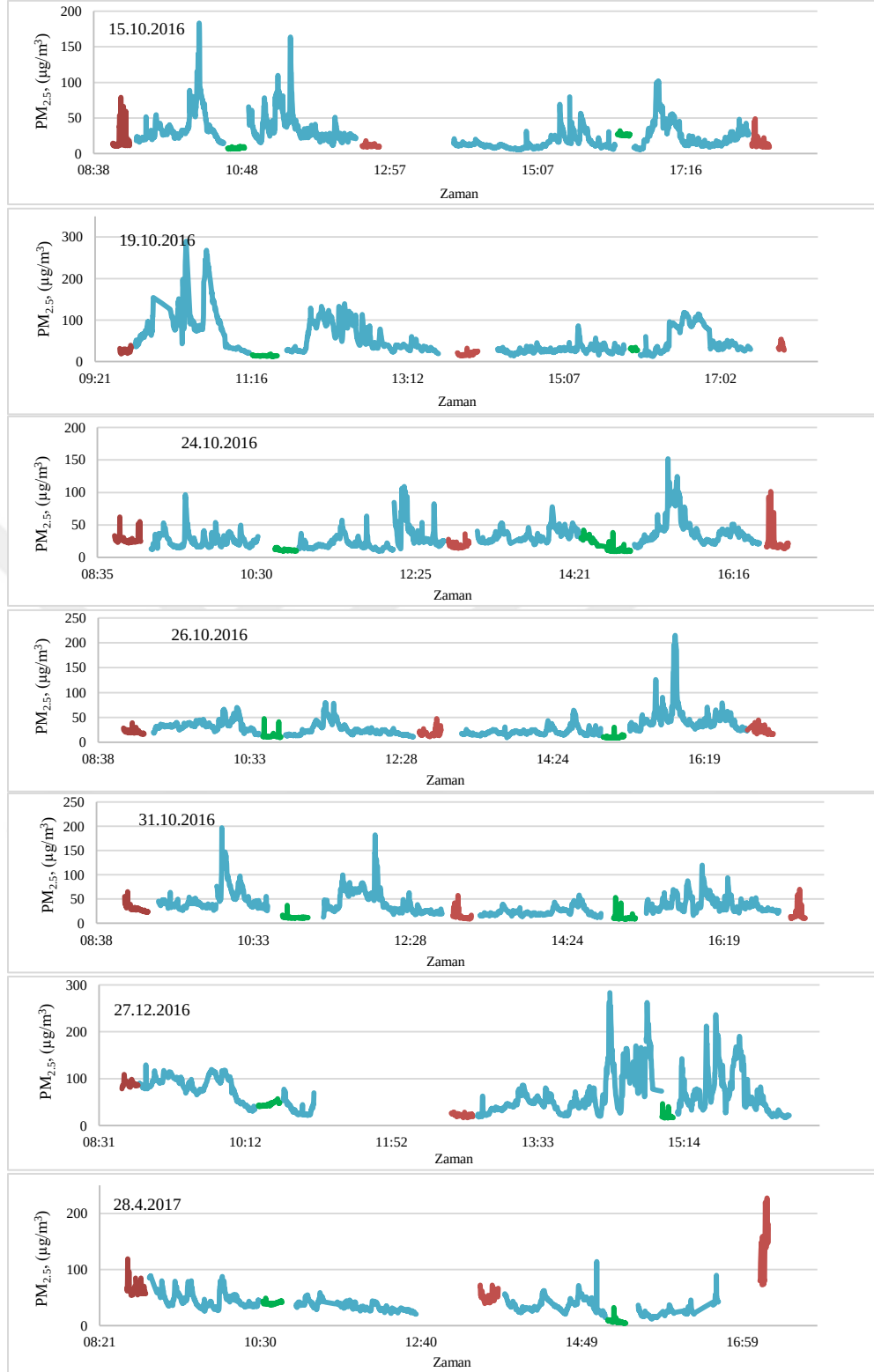


#### 4.2.3.2. 146 No.lu Bakırköy-Boğazköy Hattı

146 No.lu Bakırköy-Boğazköy otobüs hattında ölçüm alınan aylarda  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun otobüs içinde ve duraklarda gün içindeki zamansal değişimi ise Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmiştir.



**Şekil 4. 13:** 146 No.lu otobüs hattında Haziran-Eylül aylarında  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



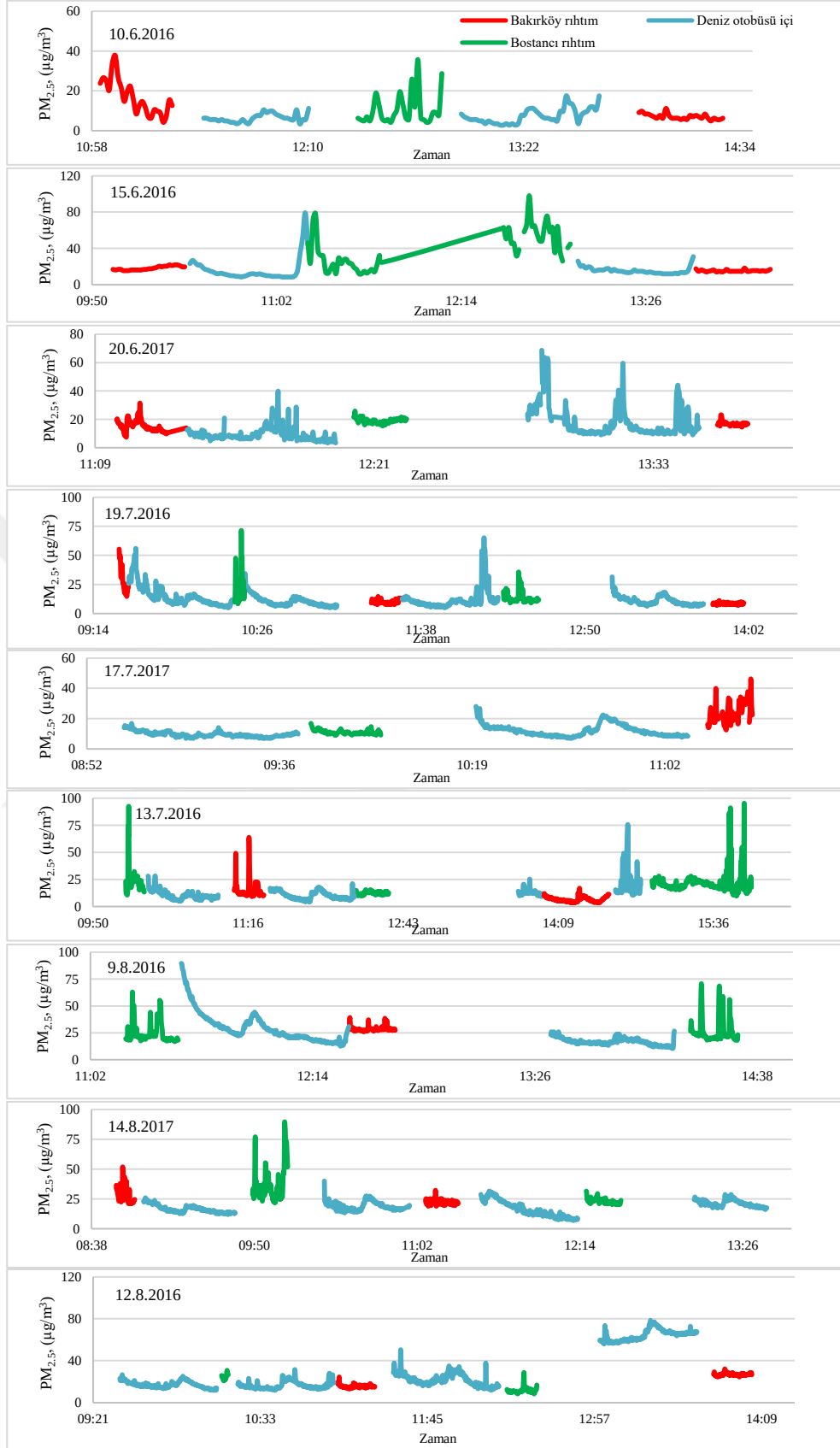
**Şekil 4. 14:** 146 No.lu otobüs hattında Ekim-Nisan aylarında  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.

146 No.lu Bakırköy-Boğazköy Hattı otobüs hattında yapılan ölçümlerde ise araç içi ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu  $37,2 \pm 26,5 \mu g/m^3$  olduğu belirlenmiştir. Boğazköy Otobüs Durağında yapılan dış ortam ölçümlerde ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu  $18,9 \pm 12,6 \mu g/m^3$  olduğu belirlenmiştir. 146 No.lu Bakırköy-Boğazköy Hattı araç içi ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu duraklarda yapılan dış ortam ölçüm sonuçlarına göre çok daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu gözlemlenmiştir.

#### **4.2.4. Deniz Ulaşımı**

##### ***4.2.4.1. Deniz Otobüsü Bakırköy-Bostancı Hattı***

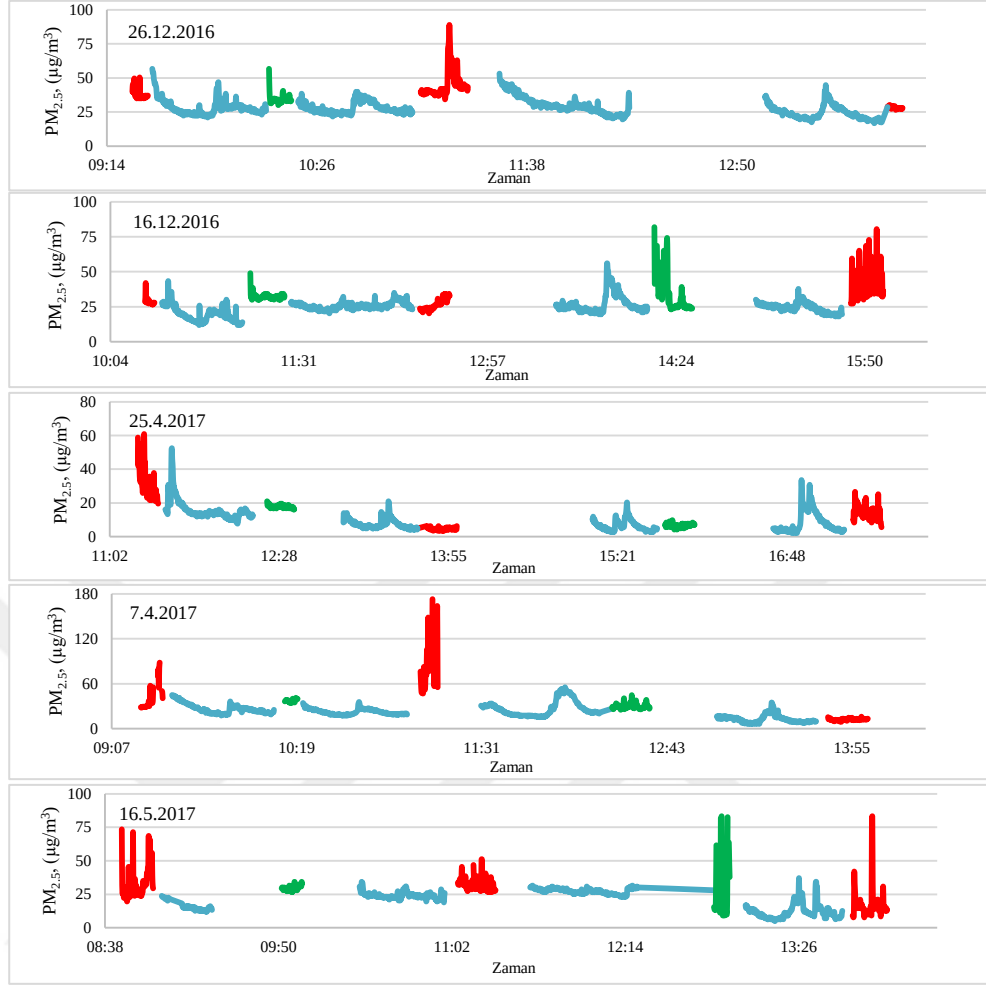
Deniz otobüsü Bakırköy-Bostancı Hattında ölçüm alınan aylarda  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun deniz otobüsü içinde ve rıhtımlarda gün içindeki zamansal değişimi Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4. 15: Deniz otobüsünde Haziran-Ağustos aylarında PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



**Şekil 4. 16:** Deniz otobüsünde Eylül-Kasım aylarında  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.

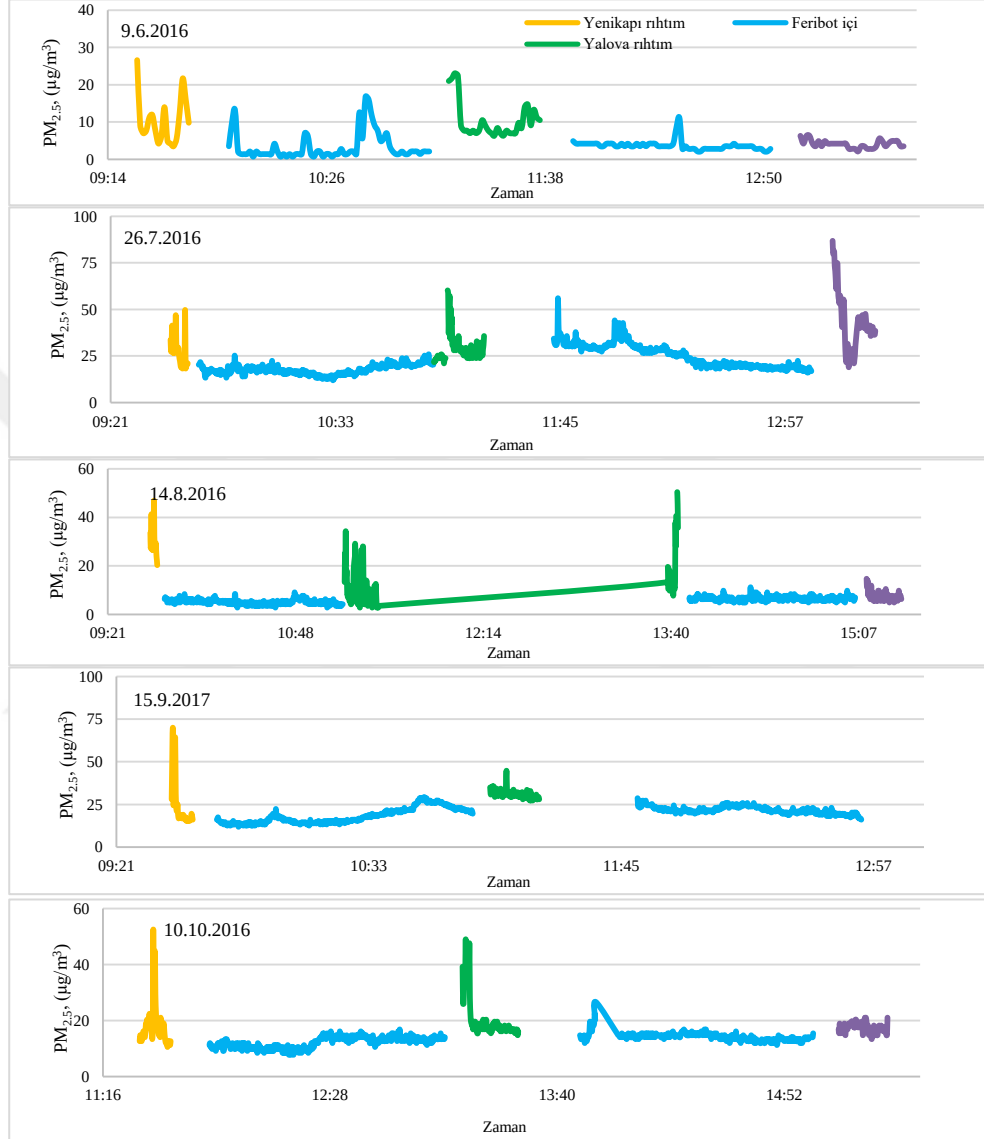


**Şekil 4. 17:** Deniz otobüsünde Aralık-Mayıs aylarında PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.

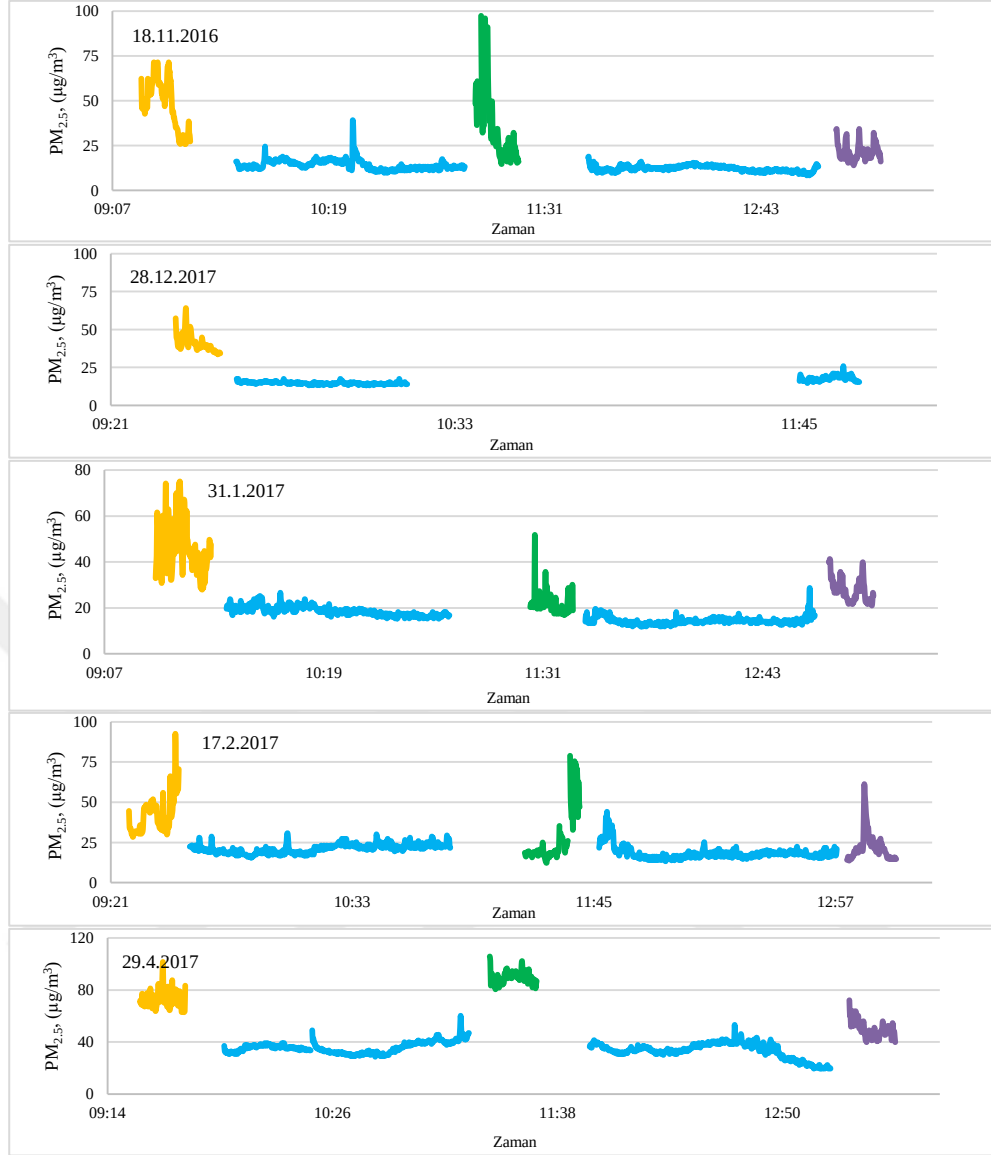
Deniz otobüsünde araç içinde yapılan ölçümlerde ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun  $19,7 \pm 10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu belirlenmiştir. Deniz otobüsü rıhtımlarında ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu, Bostancı rıhtımında  $31,3 \pm 34,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$  iken, Bakırköy rıhtımında  $24,5 \pm 16,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Bostancı rıhtımında ölçülen ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu, araç içinde ve Bakırköy rıhtımında ölçülen değerlere göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4.2.4.2. Feribot Yenikapı-Yalova Hattı

Yenikapı-Yalova Hattı Feribotta ölçüm alınan aylarda  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun feribot içinde ve rıhtımlarda gün içindeki zamansal değişimi Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da verilmiştir.



**Şekil 4. 18:** Feribotta Haziran-Ekim aylarında  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.



**Şekil 4. 19:** Feribotta Kasım-Nisan aylarında PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun gün içindeki zamansal değişimi.

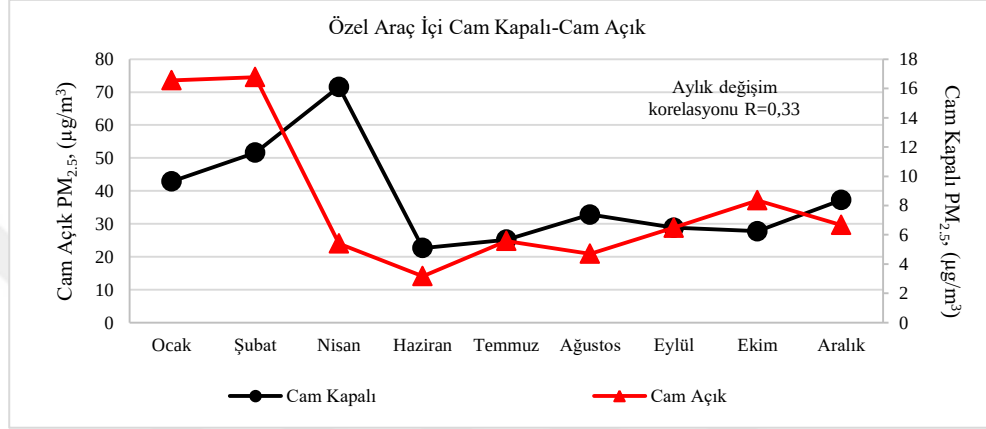
Feribotta araç içinde yapılan ölçümlerde ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun  $17,7 \pm 8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu belirlenmiştir. Yenikapı rıhtımında ölçülen ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu  $32,4 \pm 19,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Yalova rıhtımında ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu  $31,1 \pm 24,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Feribotta yapılan çalışmada ise rıhtımlarda daha yüksek PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları gözlenmiştir.



### 4.3.PM<sub>2.5</sub> KONSANTRASYONLARININ MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ

#### 4.3.1.Otomobil

Otomobil içinde cam açık ve cam kapalı seyir halinde iken ölçülen ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının aylara göre ortalamaları Şekil 4.20’de, otomobil içinde cam açık ve kapalı iken PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının değişimi box-plot grafiği Şekil 4.21’de verilmiştir.

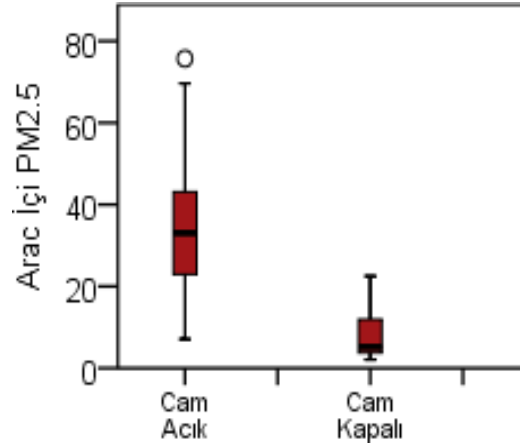


Şekil 4. 20: Cam açık ve kapalıyken ölçülen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının aylık ortalamaları.

Otomobil için araç içi Cam Açık ve Kapalı olması halinde ölçülen tüm parametreler %99 güvenle anlamlı bir farklılık göstermektedir.

Tüm parametrelerin otomobil için araç içi aylık değişimleri istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermektedir ( $p<0,01$ ).

Kışın gözlenen PM<sub>2.5</sub> değerleri yazın gözlenen PM<sub>2.5</sub> değerlerinden cam açık durumda 1,7 kat cam kapalı durumda ise 2,1 kat fazladır ( $t=3,80$ ,  $p<0,01$ ). Cam açık durumda kışın PM<sub>2.5</sub> ortalaması  $47,8\pm16,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yazın  $27,8\pm8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , cam kapalı durumda kışın PM<sub>2.5</sub> ortalaması  $12,2\pm6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  yazın  $5,7\pm3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’dür.



**Şekil 4. 21:** Otomobil içinde cam açık ve kapalı iken PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının değişimi box-plot grafiği.

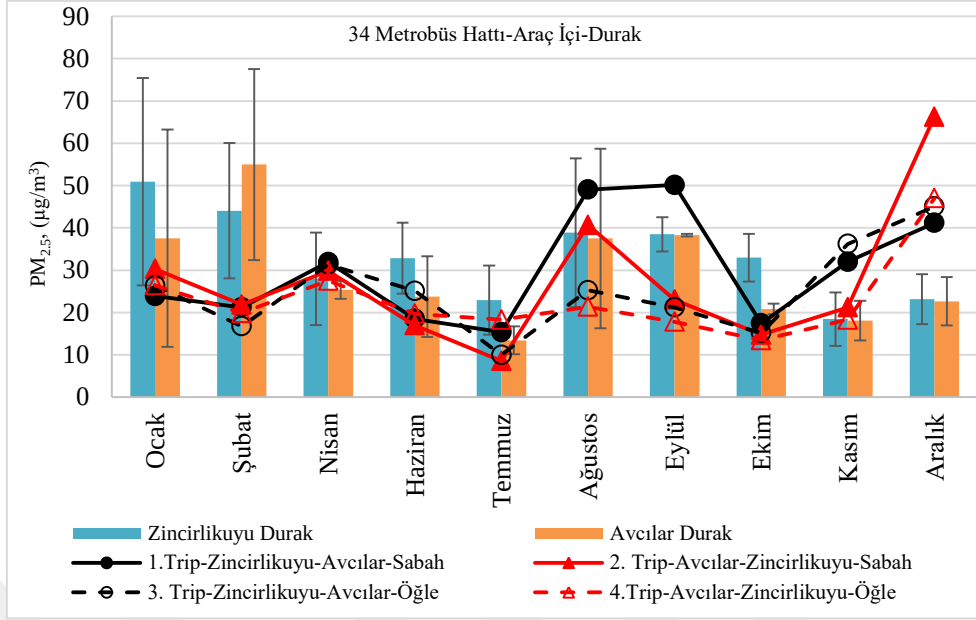
#### 4.3.2.Metrobüs

##### 4.3.2.1. 34 Avcılar-Zincirlikuyu Hattı

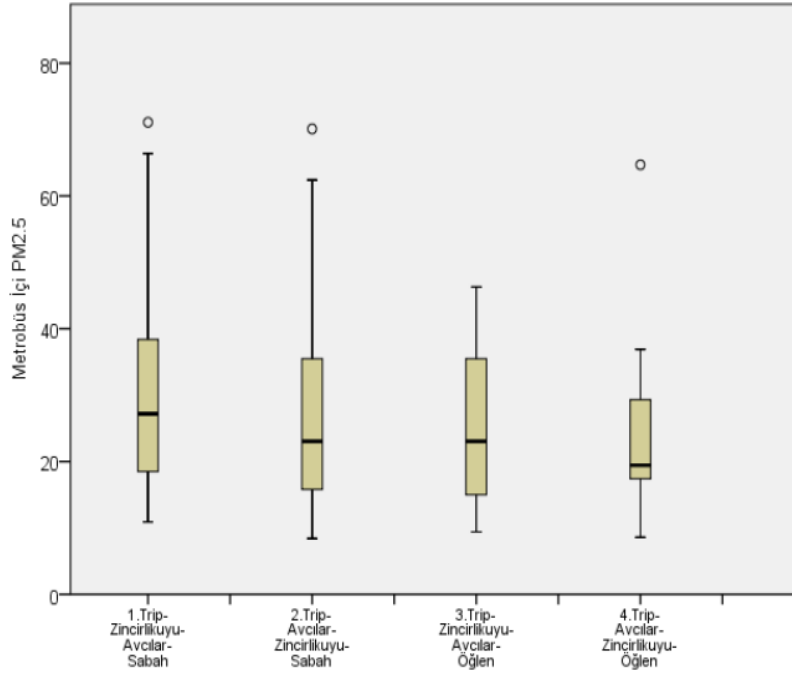
34 Avcılar-Zincirlikuyu metrobüs hattında araç içi ve duraklarda PM<sub>2.5</sub> ortalama konsantrasyonlarının aylara göre değişimi Şekil 4.22’de verilmiştir. En düşük PM<sub>2.5</sub> ortalaması Avcılar’dan Zincirlikuyu’ya öğle saatlerindeki seyahat esnasında  $23,4 \pm 12,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en yüksek ise sabah saatlerindeki seyahat esnasında Zincirlikuyu Avcılar istikametinde  $30,6 \pm 16,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak kaydedilmiştir.

PM<sub>2.5</sub> parametresi için Metrobüs içi aylık değişimler anlamlı bir farklılık göstermektedir ( $p < 0,01$ ). Araç içi PM<sub>2.5</sub> değerleri dış ortam hava sıcaklığının 18°C’nin altına düştüğü kış günlerinde ortalama  $28,7 \pm 15,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 18°C’nin üstüne çıktığı yaz günlerinde ise ortalama  $24,6 \pm 14,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu belirlenmiştir. Duraklarda ve araç içinde ölçülen kış ve yaz PM<sub>2.5</sub> değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık değildir ( $t=1,15/2,25$ ,  $p=0,25/0,02$ ).

Şekil 4.23’te PM<sub>2.5</sub> parametresi sabah ve öğle saatlerindeki seyahat güzergahlarına göre değişimi verilmiştir. Yapılan Anova testine göre güzergahlar açısından PM<sub>2.5</sub> parametresi benzer bir değişim göstermektedir. Seyahat yönünün bu kirleticinin konsantrasyonları açısından hiçbir farkı yoktur ( $p=0,129-0,46$ ).



Şekil 4. 22: Metrobüs 34 Avcılar-Zincirlikuyu Hattında her ölçüm sürecindeki ortalama  $PM_{2.5}$  değerlerinin aylık değişimi.

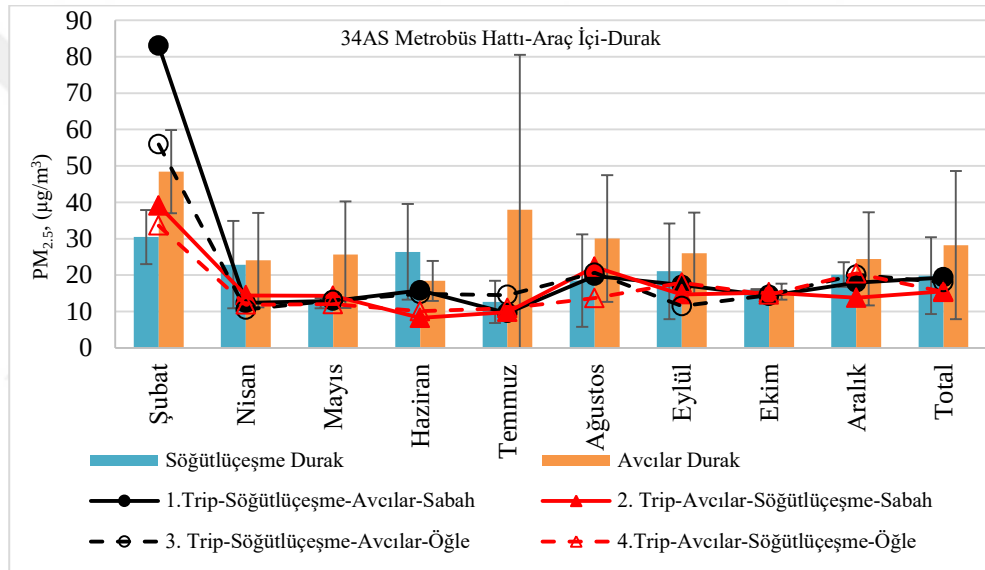


Şekil 4. 23: Bir yıl boyunca metrobüste araç içi  $PM_{2.5}$  parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği.

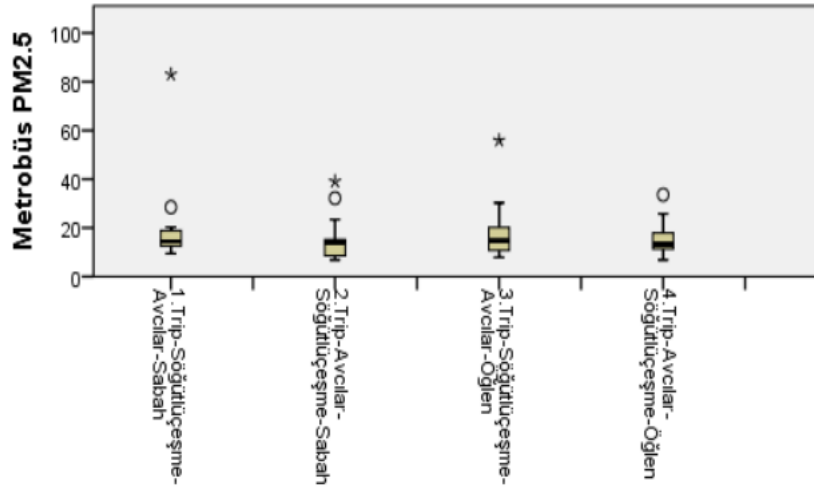
#### 4.3.2.2. 34AS Avcılar-Söğütlüçeşme Hattı

34AS Avcılar-Söğütlüçeşme metrobüs hattında araç içi ve duraklarda  $PM_{2.5}$  ortalama konsantrasyonlarının aylara göre değişimi Şekil 4.24'te verilmiştir.

Şekil 4.25'te  $PM_{2.5}$  parametresinin sabah ve öğle saatlerindeki seyahat güzergahlarına göre değişimi verilmiştir. Yapılan Anova testine göre güzergahlar açısından  $PM_{2.5}$  parametresi benzer bir değişim göstermektedir. Seyahat yönünün  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları açısından %99 güvenle farkı yoktur ( $p=0,18-0,72$ ).



Şekil 4. 24: 34AS Metrobüs Hattında her ölçüm sürecindeki ortalama  $PM_{2.5}$  değerlerinin aylık değişimi.



**Şekil 4. 25:** Bir yıl boyunca metrobüste araç içi PM<sub>2.5</sub> parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği.

PM<sub>2.5</sub> parametresi için araç içi aylık değişimler anlamlı bir farklılık göstermektedir ( $p < 0,01$ ). Metrobüs araç içi PM<sub>2.5</sub> değerleri kış günlerinde ortalama  $21,2 \pm 17,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , yaz günlerinde ise ortalama  $14,7 \pm 6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu belirlenmiştir. Duraklarda ölçülen Kış ve Yaz PM<sub>2.5</sub> değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık değildir ( $t=0,28-1,53$ ,  $p=0,13-0,77$ ).

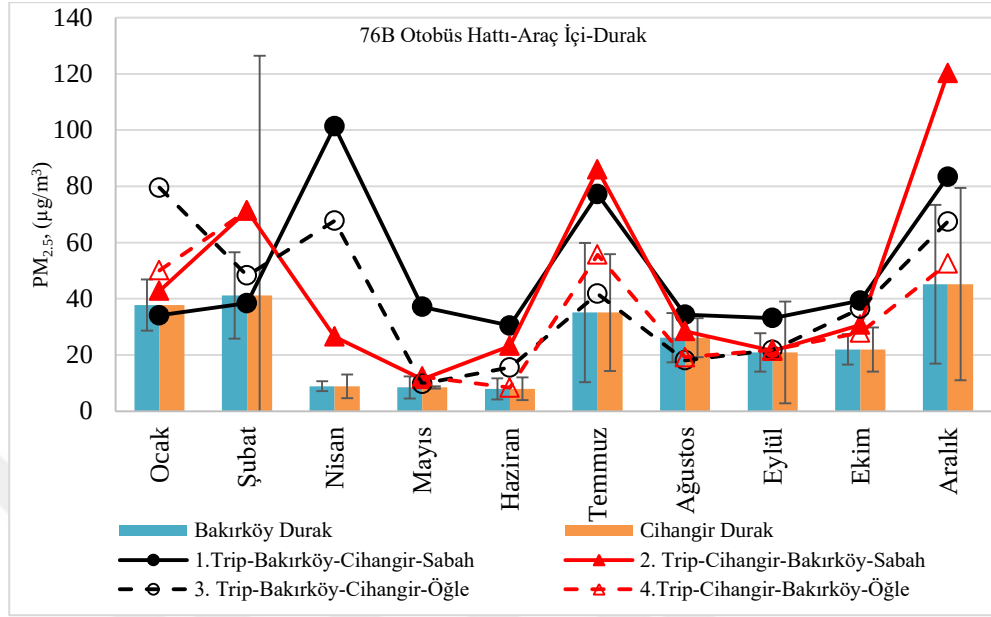
#### 4.3.3.Otobüs

##### 4.3.3.1.76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi Hattı

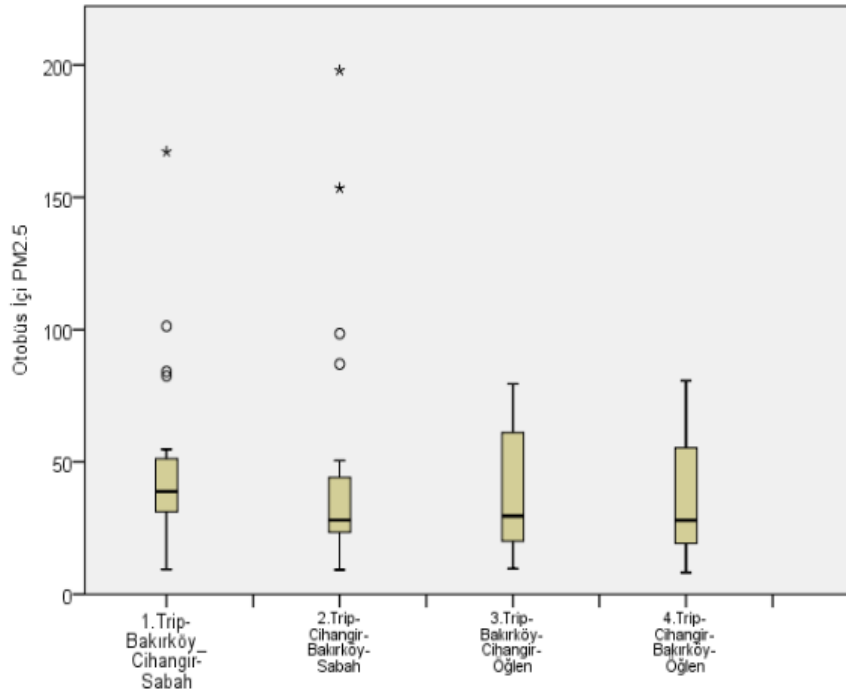
76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi otobüs hattında araç içi ve duraklarda PM<sub>2.5</sub> ortalama konsantrasyonlarının aylara göre değişimi Şekil 4.26’da verilmiştir. 76B No.lu otobüs hattı araç içi PM<sub>2.5</sub> ölçüm sonuçlarının sabah ve öğle saatlerindeki seyahat güzergahlarına (Bakırköy Cihangir arası) göre değişimi Şekil 4.27’de verilmiştir. Yapılan Anova testine göre güzergahlar açısından PM<sub>2.5</sub> parametresi benzer bir değişim göstermektedir. Seyahat yönünün PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları açısından %99 güvenle farkı yoktur ( $p=0,014-0,62$ ).

PM<sub>2.5</sub> parametresi için 76B No.lu otobüs içi aylık değişimler anlamlı bir farklılık göstermektedir ( $p < 0,01$ ). Araç içi PM<sub>2.5</sub> değerleri dış ortam hava sıcaklığının 18°C’nin altına düştüğü yaz günlerinde ortalama  $28,7 \pm 15,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 18°C’nin üstüne çıktığı kış günlerinde ise ortalama  $43,9$

$\pm 38,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu belirlenmiştir. Araç içinde ve duraklarda ölçülen  $\text{PM}_{2.5}$  değerlerinin kış/yaz oranı 2'dir ve istatistiksel olarak kış değerleri anlamlı düzeyde farklıdır ( $p<0,01$ ).



Şekil 4. 26: 76B No.lu Bakırköy-Cihangir Mahallesi otobüs hattında her ölçüm sürecindeki ortalama  $\text{PM}_{2.5}$  değerlerinin aylık değişimi.

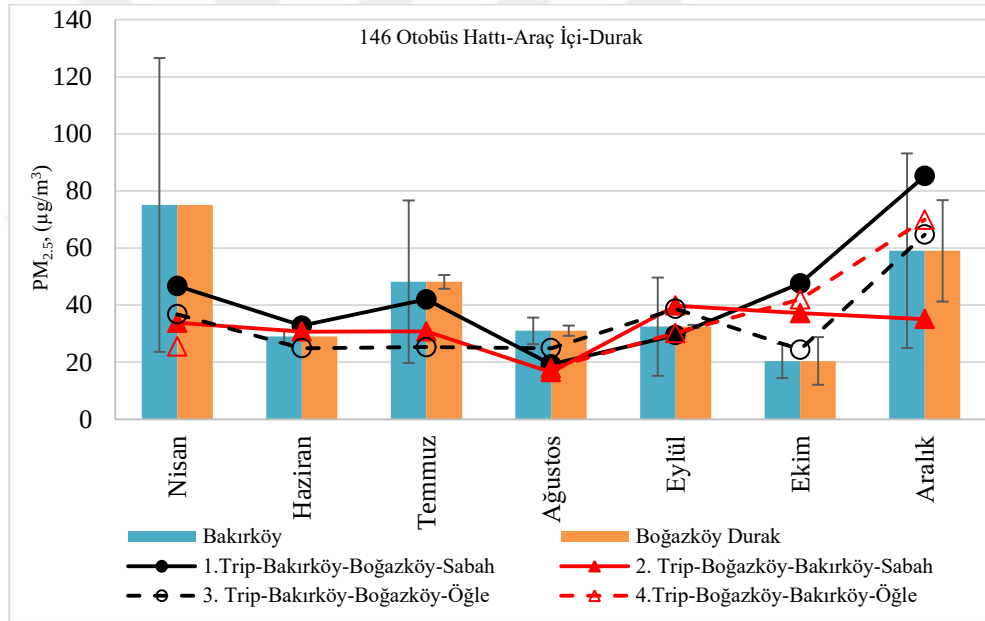


Şekil 4. 27: Bir yıl boyunca 76B No.lu otobüs araç içi  $\text{PM}_{2.5}$  parametresi ölçümlerinin her trip'te değişimi box-plot grafiği.

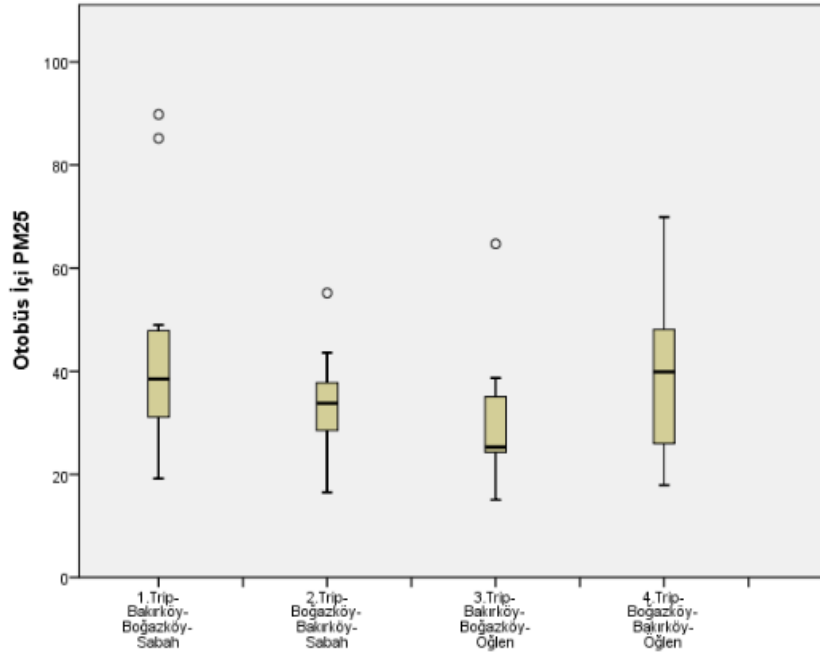
#### 4.3.3.2. 146 No.lu Bakırköy-Boğazköy Hattı

146 No.lu Bakırköy-Boğazköy otobüs hattında araç içi ve duraklarda  $PM_{2.5}$  ortalama konsantrasyonlarının aylara göre değişimi Şekil 4.28’de verilmiştir. Şekil 4.29’da  $PM_{2.5}$  parametrenin sabah ve öğle saatlerindeki seyahat güzergahlarına (Bakırköy Boğazköy arası) göre değişimi verilmiştir. Yapılan Anova testine göre güzergahlar açısından  $PM_{2.5}$  parametreleri benzer bir değişim göstermektedir. Seyahat yönünün bu kirleticinin konsantrasyonları açısından %99 güvenle farkı yoktur ( $p=0,07-0,21$ ).

$PM_{2.5}$  parametresi içinde 146 Bakırköy-Boğazköy hattı otobüs içi aylık değişimler anlamlı bir farklılık göstermektedir ( $p<0,01$ ). Araç içi  $PM_{2.5}$  değerleri kış günlerinde ortalama  $43,9 \pm 20,3 \mu g/m^3$ , yaz günlerinde ise ortalama  $30,4 \pm 8,1 \mu g/m^3$  olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 28: 146 No.lu Bakırköy-Boğazköy otobüs hattında her ölçüm sürecindeki ortalama  $PM_{2.5}$  değerlerinin aylık değişimi.



Şekil 4. 29: Bir yıl boyunca 146 No.lu otobüs araç içi PM<sub>2.5</sub> parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği.

#### 4.3.4.Deniz Ulaşımı

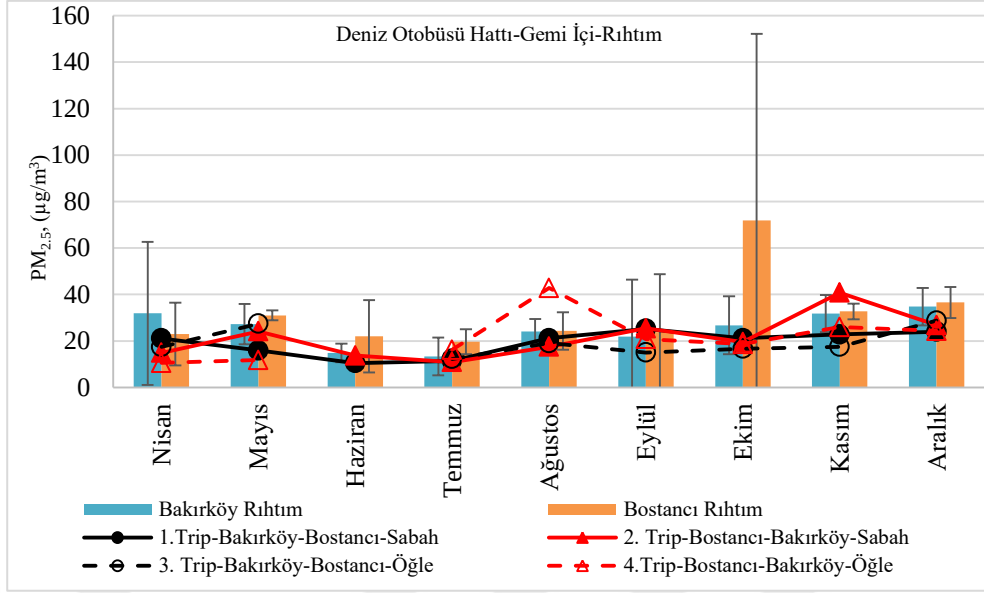
##### 4.3.4.1.Deniz Otobüsü Bakırköy-Bostancı Hattı

Bakırköy-Bostancı deniz otobüsü hattında araç içinde ve rıhtımda ölçülen PM<sub>2.5</sub> ortalama konsantrasyonlarının aylara göre ortalamaları Şekil 4.30'da verilmiştir.

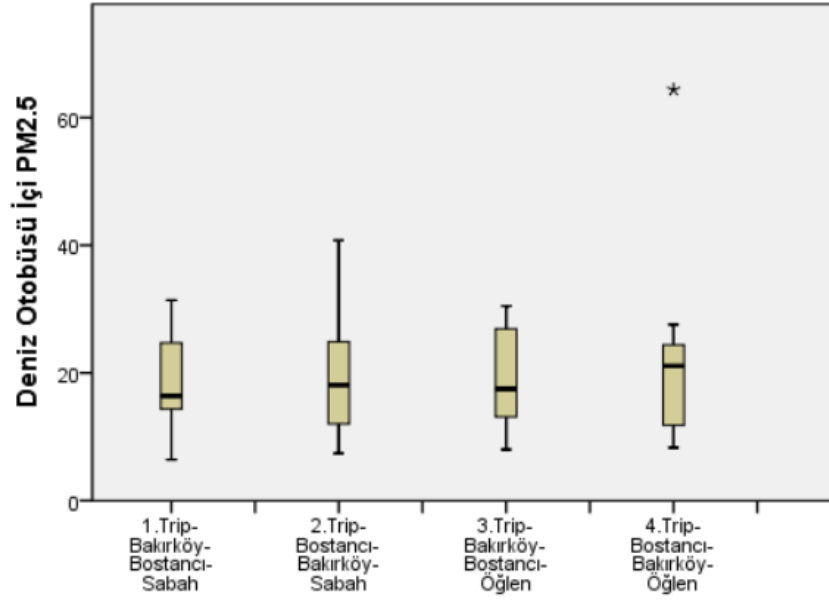
Şekil 4.31'de PM<sub>2.5</sub> parametresinin sabah ve öğle saatlerinde seyahat güzergahlarına (Bakırköy-Bostancı arası) göre değişimi verilmiştir. Yapılan Anova testine göre güzergahlar açısından PM<sub>2.5</sub> parametresi benzer bir değişim göstermektedir. Seyahat yönünün bu kirleticinin konsantrasyonları açısından %99 güvenle farkı yoktur ( $p=0,43-0,95$ ).

PM<sub>2.5</sub> parametresi içinde deniz otobüsü araç içi aylık değişimler anlamlı bir farklılık göstermektedir ( $p<0,01$ ). Deniz otobüsü araç içi PM<sub>2.5</sub> değerleri kış günlerinde ortalama  $21,3 \pm 8,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , yaz günlerinde ise ortalama  $18,3 \pm 10,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu belirlenmiştir. Yaz ve kış döneminde deniz otobüsü araç içi PM<sub>2.5</sub> seviyeleri farklılık göstermemektedir.





Şekil 4. 30: Deniz Otobüsü Bakırköy-Bostancı Hattında her ölçüm sürecindeki ortalama PM<sub>2.5</sub> değerlerinin aylık değişimi.



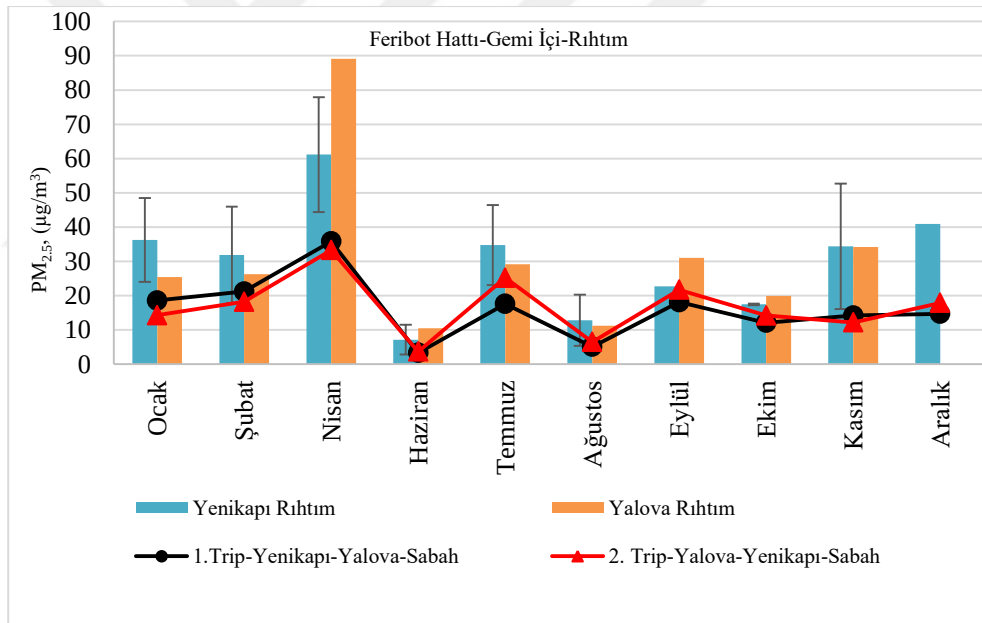
Şekil 4. 31: Bir yıl boyunca deniz otobüsü araç içi PM<sub>2.5</sub> parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği.

#### 4.3.4.2. Feribot Yenikapı-Yalova Hattı

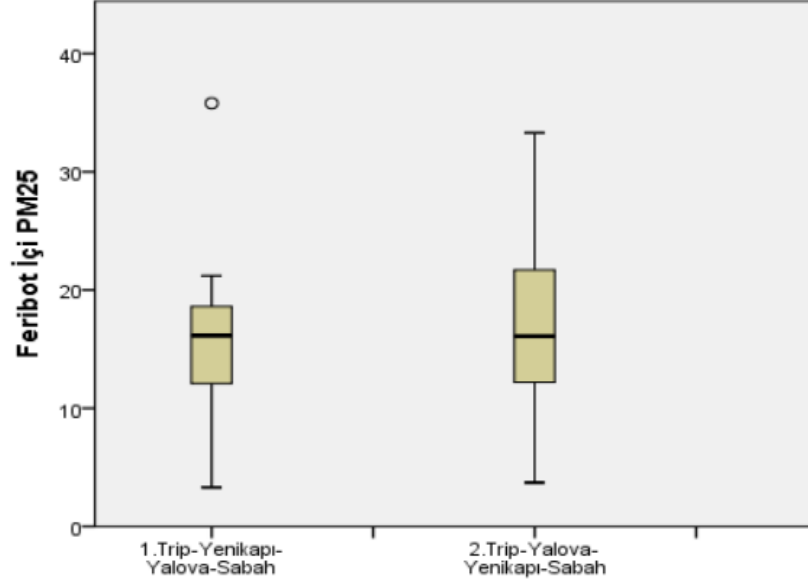
Yenikapı-Yalova feribot hattında araç içinde ölçülen ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının aylara göre ortalamaları Şekil 4.32’de verilmiştir.

Şekil 4.33'te  $PM_{2.5}$  parametresinin seyahat güzergahlarına (Yenikapı-Yalova arası) göre değişimi verilmiştir. Yapılan Anova testine göre güzergahlar açısından  $PM_{2.5}$  parametreleri benzer bir değişim göstermektedir. Seyahat yönünün bu kirleticinin konsantrasyonları açısından %99 güvenle farkı yoktur ( $p=0,87-0,95$ ).

$PM_{2.5}$  parametresi için feribot araç içi aylık değişimler anlamlı bir farklılık göstermektedir ( $p<0,01$ ). Araç içinde ölçülen  $PM_{2.5}$  değerleri dış ortam hava sıcaklığının  $18^{\circ}C$ 'nin altına düştüğü kış günlerinde  $16,2 \pm 3,2 \mu g/m^3$ , yaz günlerinde ise ortalama  $16,4 \pm 11,1 \mu g/m^3$  olduğu belirlenmiştir.  $PM_{2.5}$  parametresi için feribotta ölçülen kış ve yaz değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yoktur ( $p=0,22-0,97$ ). Nisan ayında yapılan ölçümde  $PM_{2.5}$  parametresi çok yüksek değerlerdedir (genel değerlerin iki katı kadar).



Şekil 4. 32: Feribot Hattında her ölçüm sürecindeki ortalama  $PM_{2.5}$  değerlerinin aylık değişimi.



**Şekil 4. 33:** Bir yıl boyunca feribot araç içi  $PM_{2.5}$  parametresi ölçümlerinin her tripte değişimi box-plot grafiği.

#### 4.4. ARAÇ İÇİ VE DURAK $PM_{2.5}$ İLİŞKİSİ

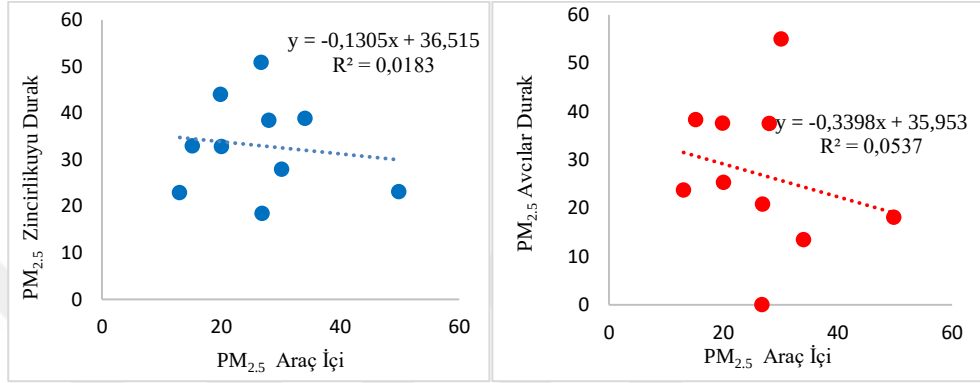
Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’da aylık ortalama durak ile araç içindeki  $PM_{2.5}$  parametresinin korelasyonunu gösteren grafikler verilmiştir.

76B No.lu otobüs için grafikler incelendiğinde araç içindeki  $PM_{2.5}$  konsantrasyon değişiminin duraklarda ölçülen değerler ile doğrusal orta düzeyli bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle Bakırköy otobüs durağında ölçülen dış ortam koşullarının otobüs içi değerleri ile korelasyonu anlamlıdır ( $R=0,72$ ). 146 No.lu Bakırköy-Boğazköy hattı için grafikler incelendiğinde otobüs içinde ölçülen  $PM_{2.5}$  değişimlerinin duraklarda ölçülen değerlerle ilişkisi düşük seviyededir.

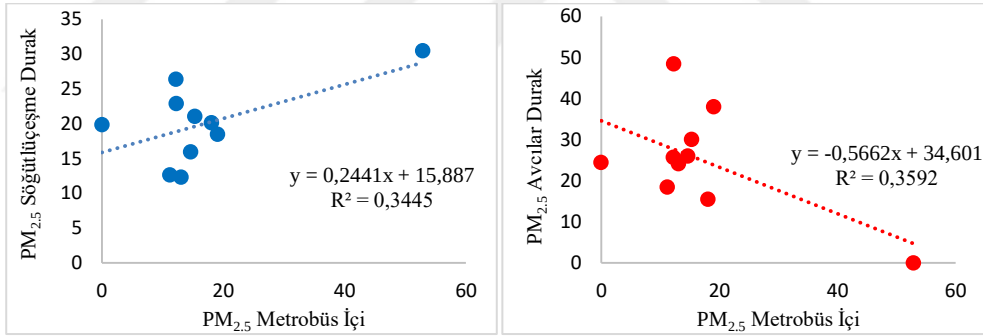
$PM_{2.5}$  deniz otobüsü araç içi değerlerinin Bakırköy rıhtımda ölçülenlerle ilişkili olduğu görülmektedir ( $R= 0,67$ ). Tüm bu parametrelerin rıhtımda ölçülen değerleri ile deniz otobüsü içinde ölçülen değerleri kıyaslandığında ise  $PM_{2.5}$  için kış döneminde rıhtımda ölçülen değerler yazın 1,7 katı fazladır.

PM<sub>2.5</sub> feribot içi değerlerinin rıhtımda ölçülenlerle ilişkili olduğu görülmektedir ( $R = 0,90$ ). PM<sub>2.5</sub> parametresinin rıhtımda ölçülen değerleri ile feribotta ölçülen değerleri kıyaslandığında ise PM<sub>2.5</sub>'un rıhtım değerleri ortalama feribottan 2 kat fazladır.

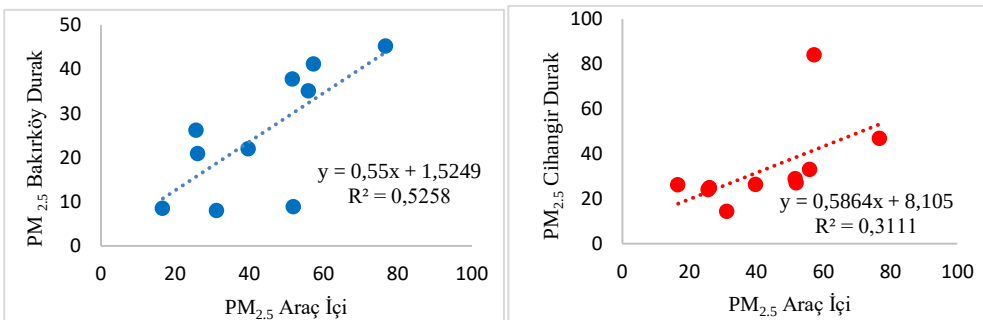
Metrobüs hatları için grafikler incelendiğinde ise araç içindeki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon değişiminin duraklarda ölçülen değerler ile arasında anlamlı bir korelasyon görülmemektedir.



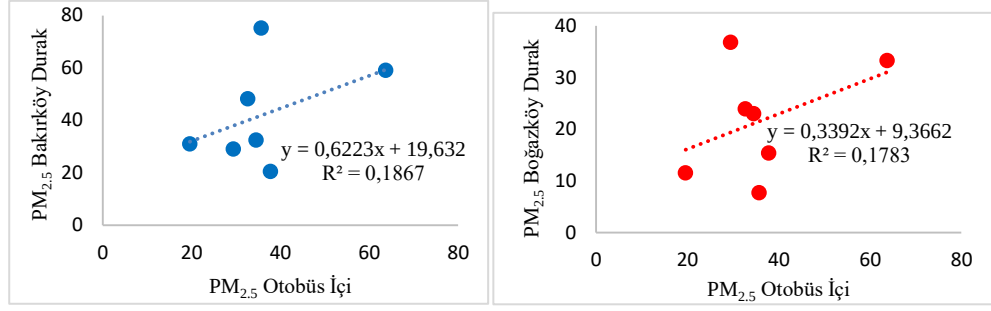
Şekil 4. 34: 34 No.lu metrobüs hattı araç içinde aylık ölçülen PM<sub>2.5</sub> değerlerinin duraklarda ölçülen değerler ve birbirleri ile korelasyonu.



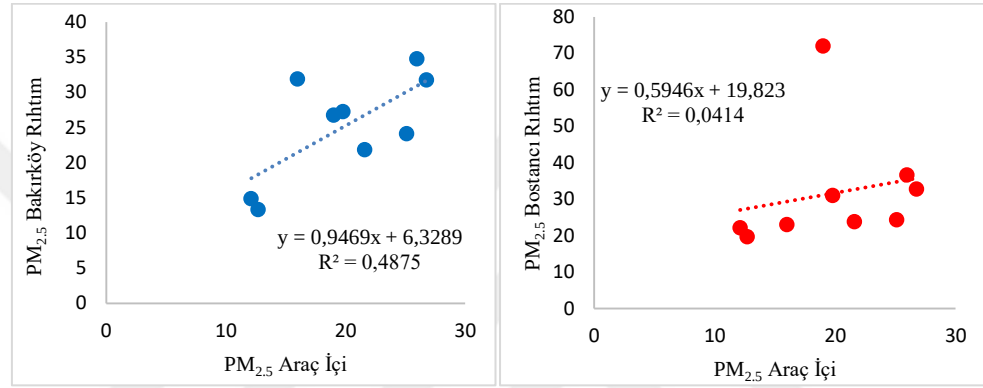
Şekil 4. 35: 34AS No.lu metrobüs hattı araç içinde aylık ölçülen PM<sub>2.5</sub> değerlerinin peronlarda ölçülen değerler ile korelasyonu.



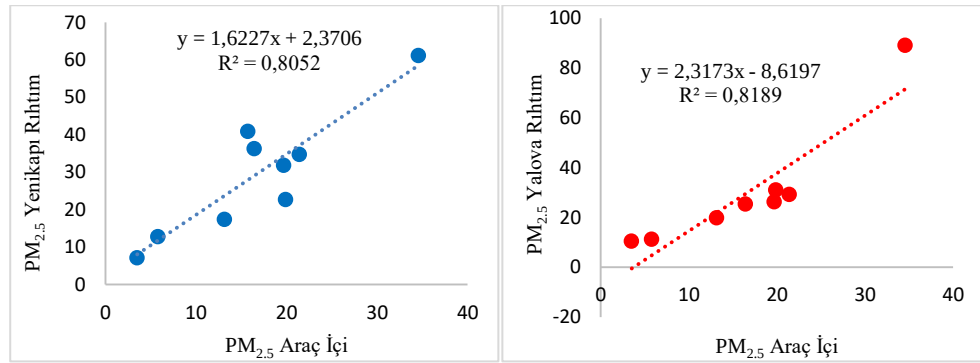
Şekil 4. 36: 76B No.lu otobüs hattı araç içinde aylık ölçülen PM<sub>2.5</sub> değerlerinin duraklarda ölçülen değerler ile korelasyonu.



Şekil 4. 37: 146 No.lu otobüs hattı araç içinde aylık ölçülen  $PM_{2.5}$  değerlerinin duraklarda ölçülen değerler ile korelasyonu.



Şekil 4. 38: Deniz otobüsü hattı araç içinde aylık ölçülen  $PM_{2.5}$  değerlerinin rıhtımlarda ölçülen değerler ile korelasyonu.



Şekil 4. 39: Feribot hattı araç içinde aylık ölçülen  $PM_{2.5}$  değerlerinin rıhtımlarda ölçülen değerler ile korelasyonu.

|



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Haziran 2016- Eylül 2017 tarihleri arasında İstanbul'da gün içinde kişilerin seyahat ederken kullandıkları beş farklı ulaşım türünde (otomobil, metrobüs, deniz otobüsü ve feribot) araç içinde ve dış ortamda PM<sub>2.5</sub> ölçümleri yapılmıştır.

Ulaşım araçları içinde ölçülen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ulaşım türüne göre farklılık göstermiştir. Ulaşım araçları içinde en yüksek ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu 76B No.lu otobüs hattında  $44,5 \pm 38,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Ulaşım araçları içinde en düşük ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu ise otomobil içerisinde cam kapalı ve klima iç hava sirkülasyonu ile çalışır durumda seyir halinde iken  $7,6 \pm 5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak gözlenmiştir. Literatürde ulaşım araçları içinde yapılan PM<sub>2.5</sub> ölçüm çalışmaları ve bu çalışma sonuçları detaylı olarak EK 1, EK 2, EK 3, EK 4, EK 5, EK 6'da verilmiştir.

Bu çalışmada otomobilde yapılan ölçümlerde cam açık ve cam kapalı klima iç hava sirkülasyonu ile çalışır durumda olmak üzere iki durum için değerlendirme yapılmıştır. Otomobilde cam kapalı yapılan ölçümlerde klima iç hava sirkülasyonu ile çalışır iken ölçülen ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının düşük gösterdiği gözlemlenmiştir. Otomobilde hareket halindeyken maruz kalınan kirletici konsantrasyonlarının seviyelerinde araç içi hava filtresinin kalitesinin önemli derecede etkili olduğundan bahsedilebilir.

Ulaşım araçlarında ikinci en yüksek PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonu ise 146B No.lu otobüs hattında  $37,2 \pm 26,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Otobüslerde (76B No.lu ve 146 No.lu otobüsler) yapılan PM<sub>2.5</sub> ölçüm çalışmalarında en yüksek dış ortam ölçümü Bakırköy Otobüs Durağında  $31,3 \pm 19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Metrobüs içindeki ortalama PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ise 17,3-27,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmiştir. Kış döneminde ölçülen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları yaz dönemine göre daha yüksek bulunmuştur. 76B No.lu ve 146 No.lu otobüs hatlarında seyahat süreleri uzun ve trafik yoğundur. Ayrıca yaz döneminde ölçüm alınırken otobüslerde pencereler açık seyahat edilmektedir.

Deniz ulaşımına bakıldığında feribotta ölçülen  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarının daha düşük değerler aldığı görülmüştür. Deniz ulaşımının en yüksek dış ortam  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu Yenikapı rıhtımında  $32,4 \pm 19,7 \mu g/m^3$  olarak ölçülmüştür. Deniz ulaşımlarıyla ilgili literatürde  $PM_{2.5}$  çalışmaları kısıtlıdır. Bunun yanında Knibbs ve diğ. yaptığı çalışmaya göre feribotta ölçülen ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu  $28 \mu g/m^3$  iken, bu çalışmada feribotta ölçülen ortalama  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu  $17,7 \mu g/m^3$  olduğu gözlemlenmiş ve bu çalışmaya göre daha yüksek değerler aldığı belirlenmiştir.

Ulaşım araçları ile seyahat esnasında seyahat yönünün kirletici konsantrasyonları açısından farkı olmadığı belirlenmiştir. 76B otobüs hattında otobüs içindeki  $PM_{2.5}$  ile Bakırköy (ana durak) ve Cihangir (son durak) duraklarında ölçülen  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları arasında sırasıyla  $R=0,72$  ve  $R=0,56$  seviyesinde korelasyon bulunmuştur. Deniz otobüsü ve rıhtımda ölçülen  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları arasında ise korelasyonun  $R=0,67$  olduğu belirlenmiştir.

Trafiğin yoğun ve güzergâhlardaki uzun seyahat süresine bağlı olarak toplu taşıma araçlarının, yolcuların  $PM_{2.5}$  emisyonlarına maruz kalınmasında etkili olduğundan bahsedilebilir. Bununla birlikte yoğun trafiğin olduğu karayollarından uzakta alternatif güzergahların tercih edilmesi ve çevre dostu toplu taşıma araçlarının artırılması, havalandırma sistemlerinin iyileştirilmesi ve alternatif yakıtların tercih edilmesi şehirlerdeki toplu taşıma araçlarından yayılan kirliliğin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (Zuurbier vd., 2010).

Karayolu ulaşımında dizel araçlar daha fazla  $PM_{2.5}$  emisyonuna sebep olmaktadır. Ülkemizde binek araçlar arasındaki oranı yakıt tasarrufundan dolayı dizel araçların tercih edilmesi diğer ülkelere göre yaklaşık olarak %50 daha fazladır. Uygulanacak ek vergilerle ağır vasıtalar dışında hafif ve binek araçlarda dizel yakıtlı araçların tercih edilmemesi ve çevre dostu araçların alımını desteklemek gibi yapılacak idari düzenlemeler kirletici emisyonların azalmasını sağlayacaktır.



|



## KAYNAKLAR

- Aarnio, P., Yli-Tuomi, T., Kousa, A., Mäkelä, T., Hirsikko, A., Hämeri, K., Raisanen, M., Hillamo, R., Koskentalo, T., Jantunen, M., 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.
- Adams, H.S., Nieuwenhuijsen, M.J., Colvile, R.N., McMullen, M.A., Khandelwal, P., 2001, Fine particle (PM<sub>2.5</sub>) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK, *Science of the Total Environment*, 279, 29–44.
- Adams, H.S., Nieuwenhuijsen, M.J., Colvile, R.N., 2001, Determinants of fine particle (PM<sub>2.5</sub>) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK, *Atmospheric Environment*, 35, 4557–4566.
- Asmi, E., Antola, M., Yli-Tuomi, T., Jantunen, M., Aarnio, P., Mäkelä, T., Hillamo, R., Hämeri, K., 2009, Driver and passenger exposure to aerosol particles in buses and trams in Helsinki, Finland, *Science of The Total Environment*, 407(8), 2860–2867.
- Bari, M. A. and Kindzierski, W. B., 2018, Characterization of air quality and fine particulate matter sources in the town of Hinton, Alberta, *Atmospheric Pollution Research*, 9(1), 84–94.
- Beckerman, B.S., Jerrett, M., Finkelstein, M., Kanaroglou, P., Brook, J.R., Arain, M.A., Sears, M.R., Stieb, D., Balmes, J., Chapman, K., 2012, The association between chronic exposure to traffic-related air pollution and ischemic heart disease, *Journal of toxicology and environmental health, Part A*, 75 (2), 402–411.
- Berflind, N., Bellander, T., Forastiere, F., Von Klot, S., Aalto, P., Elosua, R., Kulmala, M., Lanki, T., Löwel, H., Picciotto, P.S., Salomaa, V., Stafoggia, J.S., Sunyer, J., Nyberg, F., 2009, HEAPSS Study Group Ambient air pollution and daily mortality among survivors of myocardial infarction, *Epidemiology*, 20 (1), 110–118.
- Berghmans, P., Bleux, N., Int Panis, L., Mishra, V., Torfs, R., Van Poppel, M., 2009, Exposure assessment of a cyclist to PM<sub>10</sub> and ultrafine particles, *Science of the total environment*, 407 (4), 1286–1298.
- Betancourt, R. M., Galvis B., Balachandran S., Ramos-Bonilla J.P., Sarmiento O.L., Gallo-Murcia S.M., Contreras Y., 2017, Exposure to fine particulate , black carbon , and particle number concentration in transportation microenvironments, *Atmospheric Environment*, 157(1), 135–145.
- Bigazzi, A.Y., Figliozzi, M.A., 2012, Impacts of freeway traffic conditions on in-vehicle exposure to ultrafine particulate matter, *Atmospheric Environment*, 60, 495–503.
- Boogaard, H., Borgman, F., Kamminga, J., Hoek, G., 2009, Exposure to ultrafine and fine particles and noise during cycling and riving in 11 Dutch cities, *Atmospheric Environment*, 43 (27), 4234–4242.

- Both, A.F., Westerdahl, D., Fruin, S., Haryanto, B., Marshall, J.D., 2013, Exposure to carbon monoxide, fine particle mass, and ultrafine particle number in Jakarta, Indonesia: effect of commute mode, *Science of the total environment*, 443 (15), 965-972.
- Carteni, A., Cascetta, F., Campana, S., 2015, Underground and ground-level particulate matter concentrations in an Italian metro system, *Atmospheric Environment*, 101, 328-337.
- Cepeda, M., Schoufour, J., Freak-Poli, R., Koolhaas, C.M., Dhana, K., Bramer, W.M., Franco, O.H., 2016, Levels of Ambient Air Pollution According to Mode of Transport: a Systematic Review, *The lancet public health*, 2 (1), 23-34.
- Chaichan, M. T., Kazem, H. A. and Abed, T. A., 2018, Traffic and outdoor air pollution levels near highways in Baghdad, Iraq', *Environment, Development and Sustainability*, 20(2), 589–603.
- Chang, S. Y., Vizuite, W., Valencia, A., Naess, B., Isakov, V., Palma, T., Breen, M., Arunachalam, S., 2015, A modeling framework for characterizing near-road air pollutant concentration at community scales, *Science of the Total Environment*, 538, 905–921.
- Chen, H., Goldberg, M.S., Burnett, R.T., Jerrett, M., Wheeler, A.J., Villeneuve, P.J., 2013, Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution and Cardiovascular Mortality, 24(1), 35–43.
- Chen, Y., Schleicher, N., Fricker, M., Cen, K., Liu, X., Kaminski, U., Yu, Y., Wu, X., Norra, S., 2016, Long-term variation of black carbon and PM<sub>2.5</sub> in Beijing, China with respect to meteorological conditions and governmental measures, *Environmental Pollution*, 212, 269–278.
- Chen, Y., Li, X., Zhu, T., Han, Y., Lv, D., 2017, PM<sub>2.5</sub> -bound PAHs in three indoor and one outdoor air in Beijing: Concentration, source and health risk assessment, *Science of the Total Environment*, 586, 255–264.
- Cole-Hunter, T., Morawska, L., Stewart, I., Jayaratne, R., Solomon, C., 2012, Inhaled particle counts on bicycle commute routes of low and high proximity to motorised traffic, *Atmospheric environment*, 61, 197-203.
- Crouse, D.L., Goldberg, M.S., Ross, N.A., Chen, H., Labrèche, F., 2010, Postmenopausal breast cancer is associated with exposure to traffic-related air pollution in Montreal, Canada: a case-control study, *Environmental health perspectives*, 118 (11), 1578–1583.
- De Nazelle, A., Fruin, S., Westerdahl, D., Martinez, D., Ripoll, A., Kubesch, N., Nieuwenhuijsen, M., 2012, A travel mode comparison of commuters' exposures to air pollutants in Barcelona, *Atmospheric environment*, 59, 151–159.
- De Nazelle, A., Bode, O., Orjuela, J.P., 2017, Comparison of air pollution exposure in active vs. passive travel modes in European cities: A quantitative review, *Environmental International*, 99, 151-160.
- Dhondt, S., Beckx, C., Degraeuwe, B., Lefebvre, W., Kochan, B., Bellemans, T., Int Panis, L., Macharis, C., Putman, K., 2012, Integration of population mobility in the evaluation

- of air quality measures on local and regional scales, *Atmospheric environment*, 59, 67–74.
- Ding, H., Zhang, Y., Sun, H., Feng, L., 2016, Analysis of PM<sub>2.5</sub> distribution and transfer characteristics in a car cabin, *Energy and Buildings*, 127, 252–258.
- Do, D.H., Van Langenhove, H., Chigbo, S.I., Amare, A.N., Demeestere, K., Walgraeve, C., 2014, Exposure to volatile organic compounds: comparison among different transportation modes, *Atmospheric Environment*, 94, 53–62.
- Dons, E., Int Panis, L., Van Poppel, M., Theunis, J., Willems, H., Torfs, R., Wets, G., 2011, Impact of time–activity patterns on personal exposure to black carbon, *Atmospheric Environment*, 45 (21), 3594–602.
- Dons, E., Int Panis, L., Van Poppel, M., Theunis, J., Wets, G., 2012, Personal exposure to black carbon in transport microenvironments, *Atmospheric Environment*, 55, 392–8.
- Dons, E., Temmerman, P., Van Poppel, M., Bellemans, T., Wets, G., Int Panis, L., 2013, Street characteristics and traffic factors determining road users' exposure to black carbon, *Sci.Total Environ.* 447 (1), 72–79.
- HEI, 2010, Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure and Health Effects, HEI Special Report 17, Health Effects Institute, Boston, MA, 2-3,3-3, 3-27.
- EPA, 2010. Report to congress on black carbon, United States Environmental Protection Agency.
- Fondelli, M.C., Chellini, E., Yli-Tuomi, T., Cenni, I., Gasparrini, A., Nava, S., Garcia-Orellana, I., Lupi, A., Grechi, D., Mallone, S., Jantunen, M., 2008, Fine particle concentrations in buses and taxis in Florence, Italy, *Atmospheric Environment*, 42(35), 8185–93.
- Fruin, S.A., Winer, A.M., Rodes, C.E., 2004, Black carbon concentrations in California vehicles and estimation of in-vehicle diesel exhaust particulate matter exposures, *Atmospheric Environment*, 38 (25), 4123–33.
- Giang, N.T.H., Oanh, N.T.K., 2014, Roadside levels and traffic emission rates of PM<sub>2.5</sub> and BTEX in Ho Chi Minh City, Vietnam, *Atmospheric Environment*, 94, 806–816.
- Grass, D.S., Ross, J.M., Family, F., Barbour, J., Simpson, H.J., Coulibaly, D., Hernandez, J., Chen, Y., Slavkovich, V., Li, Y., Graziano, J., Santella, R.M., Brandt-Rauf, P., Chillrud, S.N., 2010, Airborne particulate metals in the New York City subway: A pilot study to assess the potential for health impacts, *Environmental Research*, 110, 1–11.
- Guo, H., Cheng, T., Gu, X., Wang, Y., Chen, H., Bao, F., Shi, S., Xu, B., Wang, W., Zuo, X., Zhang, X., Meng, C., 2017, Assessment of PM<sub>2.5</sub> concentrations and exposure throughout China using ground observations, *Science of the Total Environment*, 601–602, 1024–1030.

- Ham, W., Vijayan, A., Schulte, N., Herner, J.D., 2017, Commuter exposure to PM<sub>2.5</sub>, BC and UFP in six common transport microenvironment in Sacramento, California, *Atmospheric Environment*, 167, 335-345.
- Ham, W., Vijayan, A., Schulte, N., Herner, J.D., 2017, Commuter exposure to PM<sub>2.5</sub>, BC and UFP in six common transport microenvironment in Sacramento, California, *Atmospheric Environment*, 167, 335-345.
- Hankey, S., Marshall, J.D., 2015, On-bicycle exposure to particulate air pollution: particle number, Black Carbon, PM<sub>2.5</sub>, and particle size, *Atmospheric Environment*, 122, 65-73.
- He, J., Gong, S., Yu, Y., Yu, L., Wu, L., Mao, H., Song, C., Zhao, S., Liu, H., Li, X., Li, R., 2017, Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014–2015 in major Chinese cities, *Environmental Pollution*, 223, 484–496.
- Heal, M. R., Kumar, P., Harrison, R. M., 2012, Particles, air quality, policy and health, *Chem. Soc. Rev.*, 41(19), 6606-6630.
- Health Effects Institute, 2010. Traffic-related Air Pollution: a Critical Review of the literature on emissions, exposure and health effects. In: (Special Report No.17). Health Effects Institute.
- Huang, J., Deng, F., Wu, S., Guo, X., 2012, Comparisons of personal exposure to PM<sub>2.5</sub> and CO by different commuting modes in Beijing, China, *Science of the Total Environment*, 425, 52–59.
- Int Panis, L., de Geus, B., Vandenbulcke, G., Willems, H., Degraeuwe, B., Bleux, N., Mishra, V., Thomas, I., Meeusen, R., 2010, Exposure to particulate matter in traffic: a comparison of cyclists and car passengers, *Atmospheric Environment*, 44 (19), 2263-2270.
- Jerrett, M., Finkelstein, M.M., Brook, J.R., Arain, M.A., Kanaroglou, P., Stieb, D.M., Gilbert, N.L., Verma, D., Finkelstein, N., Chapman, K.R., Sears, M.R., 2009, A cohort study of traffic-related air pollution and mortality in Toronto, Ontario, Canada, *Environmental Health Perspectives*, 117 (5), 772–777.
- Johansson, C., Johansson, P.A., 2003, Particulate matter in the underground of Stockholm, *Atmospheric Environment*, 37, 3–9.
- Joodatnia, P., Kumar, P., Robins, A., 2013, The behaviour of traffic produced nanoparticles in a car cabin and resulting exposure rates, *Atmospheric Environment*, 65, 40-51.
- Kaur, S., Nieuwenhuijsen, M., Colville, R., 2005, Personal exposure of street canyon intersection users to PM<sub>2.5</sub>, ultrafine particle counts and carbonmonoxide in Central. London, UK, *Atmospheric Environment*, 39 (20), 3629–3641.
- Kaur, S., Nieuwenhuijsen, M.J., 2009, Determinants of personal exposure to PM<sub>2.5</sub>, ultrafine particle counts, and CO in a transport microenvironment, *Environmental and Science Technology*, 43 (13), 4737–4743.

- Kaur, S., Nieuwenhuijsen, M.J., Colville, R.N., 2007, Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments, *Atmospheric Environment*, 41 (23), 4781–810.
- Kingham, S., Longley, I., Salmond, J., Pattinson, W., Shrestha, K., 2013, Variations in exposure to traffic pollution while travelling by different modes in a low density, less congested city, *Environmental Pollution*, 181, 211-218.
- Knibbs, L.D., Cole-Hunter, T., Morawska, L., 2011, A review of commuter exposure to ultrafine particles and its health effects, *Atmospheric Environment*, 45 (16), 2611-2622.
- Knibbs, L.D., de Dear, R.J., 2010, Exposure to ultrafine particles and PM<sub>2.5</sub> in four Sydney transport modes, *Atmospheric Environment*, 44 (26), 3224-3227.
- Leavey, A., Reed, N., Pate, S., Bradley, K., Kulkarni, P., Biswas, P., 2017, Comparing on-road real-time simultaneous in-cabin and outdoor particulate and gaseous concentrations for a range of ventilation scenarios, *Atmospheric Environment*, 166, 130-141.
- Li, N., Georas, S., Alexis, N., Fritz P., Xia, T., Williams, M.A., Horner, E., Nel, A., 2016, 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.
- Li, B., Lei, X. N., Xiu, G. L., Gao, C. Y., Gao, S., Qian, N. S., 2015, Personal exposure to black carbon during commuting in peak and off -peak hours in Shanghai, *Science of the total environment*, 524–525, 237–45.
- Li, Z., Che, W., Frey, C., Lau, A.K.H., 2018, Factors affecting variability in PM<sub>2.5</sub> exposure concentrations in a metro system, *Environmental Research*, 160, 20–26.
- McNabola, A., Broderick, B.M., Gill, L.W., 2008, Relative exposure to fine particulate matter and VOCs between transport microenvironments in Dublin: Personal exposure and uptake, *Atmospheric Environment*, 42, 6496–6512.
- Markakis, K., Im, U., Unal, A., Melas, D., Yenigun, O., Incecik, S., 2009, Compilation of a GIS based high spatially and temporally resolved emission inventory for the greater Istanbul area, *Atmos. Pol. Res.* 3, 112-115.
- Martins, V., Moreno, T., Mendes, L., Eleftheriadis, K., Diapouli, E., Alves, C.A., Duarte, M., Miguel, E., Capdevila, M., Querol, X., Minguillón, M.C., 2016, Factors controlling air quality in different European subway systems, *Environmental Research*, 146, 35–46.
- Morawska, L., Ristovski, Z., Jayaratne, E.R., Keogh, D.U., Ling, X., 2008, Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: characteristics, ambient processing and implications on human exposure, *Atmospheric Environment*, 42 (35), 8113-8138.
- Moreno, T., Reche, C., Rivas, I., Minguillon, M.C., Martins, V., Vargas, C., Buonanno, G., Parga, J., Pandolfi, M., Brines, M., Ealo, M., Fonseca, A.S., Amato, F., Sosa, G., Capdevila, M., De Miguel, E., Querol, X., Gibbons, W., 2015, Urban air quality

- comparison for bus, tram, subway and pedestrian commutes in Barcelona, *Environmental Research*, 142, 495–510.,
- Mugica-Álvarez, V., Figueroa-Lara, J., Romero-Romo, M., Sepúlveda-Sánchez, J., López-Moreno, T., 2012, Concentrations and properties of airborne particles in the Mexico City subway system, *Atmospheric Environment*, 49, 284–293.
- Nyhan, M., McNabola, A., Misstear, B., 2014, 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
- Okokon, E.O., Yli-Tuomi, T., Turunen, A.W., Taimisto, P., Penanen, A., Vouitsis, I., Samaras, Z., Voogt, M., Keuken, M., Lanki, T., 2017 Particulates and noise exposure during bicycle, bus and car commuting: A study in three European cities, *Environmental Research*, 154, 181-189.
- Onat, B., Stakeeva, B., 2013, Personal exposure of commuters in public transport to PM<sub>2.5</sub> and fine particle counts, *Atmos. Pol. Res.*, 4(3), 329-335.
- Onat, B., Stakeeva, B., 2014, Assessment of fine particulate matters in the subway system of Istanbul, *Indoor and Built Environ.*, 23(4), 574-583.
- Pan, L., Dong, W., Li, H., Miller, M.R., Chen, Y., Loh, M., Wu, S., et al., 2018, 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.
- Pant, P., Shukla, A., Kohl, S. D., Chow, J. C., Watson, J. G., Harrison, R.M., 2015, Characterization of ambient PM<sub>2.5</sub> at a pollution hotspot in New Delhi, India and inference of sources, *Atmospheric Environment*, 109, 178–189.
- Parent, M.E., Goldberg, M., Crouse, D.L., Ross, N.A., Chen, H., Valois, M.E., Liautaud, A., 2013, Traffic-related air pollution and prostate cancer risk: a case-control study in Montreal, Canada, *Occupational and environmental medicine*, 70 (7), 511–518.
- Peters, A., Von Klot, S., Heier, M., Trentinaglia, I., Hörmann, A., Wichmann, H. E., Löwel, H., 2004, Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction, *New England J. of Med.*, 351(17), 1721-1730.
- Pfeifer, G.D., Harrison, R.M., Lynam, D.R., 1999, Personal exposures to airborne metals in London taxi drivers and office workers in 1995 and 1996, *Science of the Total Environment*, 235, 253–60.
- Querol, X., Moreno, T., Karanasiou, A., Reche, C., Alastuey, A., Viana, M., Font, O., Gill, J., de Miguel, E., Capdevila, M., 2012, Variability of levels and composition of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in the Barcelona metro system, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12 (11), 5055-5076.
- Quintana, P. J., Khalighi, M., Quiñones, J. E. C., Patel, Z., Garcia, J. G., Vergara, P. M., Bryden, M., et al., 2018, Traffic pollutants measured inside vehicles waiting in line at a major US-Mexico Port of Entry, *Sci. Total Environ.*, 622, 236-243.

- Quiros, D. C., Lee, E. S., Wang, R., Zhu, Y., 2013, Ultrafine particle exposures while walking, cycling, and driving along an urban residential roadway, *Atmospheric Environment*, 73, 185–194.
- Ramanathan, V., Carmichael, G., 2008, Global and regional climate changes due to black carbon, *Nat. Geo.*, 1, 221–227.
- Ramos, M.J., Vasconcelos, A., Faria, M., 2015, Comparison of particulate matter inhalation for users of different transport modes in Lisbon, *Transportation research procedia*, 10, 433–442.
- Raut, J.C., Chazette, P., Fortain, A., 2009, Link between aerosol optical, microphysical and chemical measurements in an underground railway station in Paris, *Atmospheric Environment*, 43 (4), 860–868.
- Rivas, I., Kumar, P., Hagen-Zanker, A., Andrade, F.M., Slovic, D.A., Pritchard, P.J., Geurs T.K., 2017, Determinants of black carbon, particle mass and number concentrations in London transport microenvironments, *Atmospheric Environment*, 161, 247–262.
- Seaton, A., Cherrie, J., Dennekamp, M., Donaldson, K., Hurley, J.F., Tran, C.L., 2005, The London underground: dust and hazards to health, *Occupational and Environmental Medicine*, 62 (6), 355–62.
- Suarez, L., Mesias, S., Iglesias, V., Silva, C., Caceres, D.D., Ruiz-Rudolph, P., 2014, Personal exposure to particulate matter in commuters using different transport modes (bus, bicycle, car and subway) in an assigned route in downtown Santiago, Chile, *Environmental science: process and impacts*, 16 (6), 1309–1317.
- Tan, S.H., Roth, M., Velasco, E., 2017, Particle exposure and inhaled dose during commuting in Singapore, *Atmospheric Environment*, 170, 245–258.
- Vivanco-Hidalgo, R. M., Wellenius, G., Basagaña, X., Cirach, M., González, A. G., de Ceballos, P., Zabalza, A., et al., 2018, Short-term exposure to traffic-related air pollution and ischemic stroke onset in Barcelona, Spain, *Environ. Res.*, 162, 160–165
- Von Klot, S., Cyrys, J., Hoek, G., Kuhnel, B., Pitz, M., Kuhn, U., Kuch, B., Meisinger, C., Hormann, A., Wichmann, H.E., Peters, A., 2011, Estimated personal soot exposure is associated with acute myocardial infarction onset in case-crossover study, *Progress in cardiovascular diseases*, 53 (5), 361–368.
- Whiteman, C. D., Hoch, S. W., Horel, J.D., Charland, A., 2014, Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley, *Atmospheric Environment*, 94, 742–753.
- WHO, 2005, Health effects of transport-related air pollution, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- WHO, 2013, Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP project: final technical report, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.



- Williams, R.D., Knibbs, L.D., 2016, Daily personal exposure to black carbon: a pilot study, *Atmos. Environ.*, 132, 296–99.
- Wilson, W. E., Chow, J. C., Claiborn, C., Fusheng, W., Engelbrecht, J., & Watson, J. G., 2002, Monitoring of particulate matter outdoors, *Chemosphere*, 49(9), 1009-1043.
- Yan, C., Zheng, M., Yang, Q., Zhang, Q., Qiu, X., Zhang, Y., Fu, H., Li, X., Zhu, T., Zhu, Y., 2015, Commuter exposure to particulate matter and particle-bound PAHs in three transportation modes in Beijing, China, *Environmental Pollution*, 204, 199–206.
- Yang, F., Kaul, D., Wong, K.C., Westerdahl, D., Sun, L., Ho, K.F., Tian, L., Brimblecombe, P., Ning, Z., 2015, Heterogeneity of passenger exposure to air pollutants in public transport microenvironments, *Atmospheric Environment*, 109, 42-51.
- Zuurbier, M., Hoek, G., Oldenwening, M., Lenters, V., Meliefste, K., van den Hazel, P., Brunekreef, B., 2010, Commuters' exposure to particulate matter air pollution is affected by mode of transport, fuel type, and route, *Environmental Health Perspectives*, 118 (6), 783-787.
- Zhang, Y., Cai, J., Wang, S., He, K., Zheng, M., 2017, Review of receptor-based source apportionment research of fine particulate matter and its challenges in China, *Science of the Total Environment*, 586, 917–929.
- Zhang, Y. L. and Cao, F., 2015, Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in China at a city level, *Scientific Reports*, 5(2014), 1–12.
- <https://www.google.com.tr/maps>, [Ziyaret Tarihi: 8 Kasım 2017].

# EKLER

## EK 1. PM<sub>2.5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR

| Benzer Çalışmalar                          | Özel Araç, (µg/m³) | Otobüs, (µg/m³) | Metrobüs, (µg/m³) | Metro, (µg/m³) | Hafif Raylı Sistem, (µg/m³) | Deniz Otobüsü, (µg/m³) | Feribot, (µg/m³) | Bisiklet, (µg/m³)   | Taksi, (µg/m³) | Yaya, (µg/m³) |
|--------------------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------------------|------------------------|------------------|---------------------|----------------|---------------|
| Barcelona ( de Nazelle vd., 2012)          | 35.5               | 25.9            | -                 | -              | -                           | -                      | -                | 35                  | -              | 21.6          |
| Arnhem, Netherlands (Zuurbier vd., 2010)   | 101.3 (Dizel)      | 68.7 (Dizel)    | -                 | -              | -                           | -                      | -                | 71.7 (Hafif Trafik) | -              | -             |
|                                            | 114.8 (Benzin)     | 40.5 (Elektrik) |                   |                |                             |                        |                  | 72.3 (Yoğun Trafik) |                |               |
| Mol, Flanders Belgium (Berghams vd., 2009) | -                  | -               | -                 | -              | -                           | -                      | -                | 38.8                | -              | -             |
| 11 Dutch cities ( Boogaard vd., 2009)      | 48.9               | -               | -                 | -              | -                           | -                      | -                | 44.5                | -              | -             |

## EK 2. PM<sub>2.5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR

| Benzer Çalışmalar                    | Özel Araç, (µg/m³) | Otobüs, (µg/m³) | Metrobüs, (µg/m³) | Metro, (µg/m³) | Hafif Raylı Sistem, (µg/m³) | Deniz Otobüsü, (µg/m³) | Feribot, (µg/m³) | Bisiklet, (µg/m³) | Taksi, (µg/m³) | Yaya, (µg/m³) |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------------------|------------------------|------------------|-------------------|----------------|---------------|
| Dublin, Ireland (Mcnabola vd., 2008) | 82.73 (Rota1)      | 128.16 (Rota1)  | -                 | -              | -                           | -                      | -                | 88.14 (Rota1)     | -              | 63.45 (Rota1) |
|                                      | 88.95 (Rota2)      | 103.81 (Rota2)  |                   |                |                             |                        |                  | 71.61 (Rota2)     |                | 66.27 (Rota2) |
| London, UK (Kaur vd.,2005)           | 38                 | 34.5            | -                 | -              | -                           | -                      | -                | 33.5              | 41.5           | 27.5          |
| London, UK (Kaur vd.,2009)           | 33.4               | 33.1            | -                 | -              | -                           | -                      | -                | 33.8              | 43.4           | 27.1          |
| London, UK (Adams vd., 2001a)        | 37.7               | 39              | -                 | 247            | -                           | -                      | -                | 34.5              | -              | -             |
| London, UK (Adams vd., 2001b)        | 35 (Yaz)           | 34 (Yaz)        | -                 | 238.7 (Yaz)    | -                           | -                      | -                | 30.7 (Yaz)        | -              | -             |
|                                      | 23.7 (Kış)         | 30.9 (Kış)      |                   |                |                             |                        |                  | 20.1 (Kış)        |                |               |

### EK 3. PM<sub>2.5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR

| Benzer Çalışmalar                             | Özel Araç, (µg/m³) | Otobüs, (µg/m³)                  | Metrobüs, (µg/m³) | Metro, (µg/m³)           | Hafif Raylı Sistem, (µg/m³) | Deniz Otobüsü, (µg/m³) | Feribot, (µg/m³) | Bisiklet, (µg/m³) | Taksi, (µg/m³) | Yaya, (µg/m³) |
|-----------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------|-------------------|----------------|---------------|
| Helsinki, Finlandiya (Asmi et al., 2009)      | -                  | 17 (Eski Otobüste Sürücü Kabini) | -                 | -                        | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |
|                                               |                    | 22 (Eski Otobüste Sürücü Kabini) |                   |                          |                             |                        |                  |                   |                |               |
|                                               |                    | 10 (Yeni Otobüste Sürücü Kabini) |                   |                          |                             |                        |                  |                   |                |               |
|                                               |                    | 13 (Yeni Otobüs Kabini)          |                   |                          |                             |                        |                  |                   |                |               |
|                                               |                    | 13 (Yeni Otobüs Kabini)          |                   |                          |                             |                        |                  |                   |                |               |
| Floransa, İtalya (Fondelli vd., 2008)         | -                  | 32                               | -                 | -                        | -                           | -                      | -                | -                 | 20             | -             |
| Barcelona metro, Spain (Querol et al., 2012)  | -                  | -                                | -                 | 133 (Eski Hat Platformu) | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |
|                                               | -                  | -                                | -                 | 59 (Yeni Hat Platformu)  | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |
|                                               | -                  | -                                | -                 | 25 (Eski Hat, Araç İçi)  | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |
|                                               | -                  | -                                | -                 | 14 (Yeni Hat, Araç İçi)  | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |
| Paris Metro, France (Raut et al., 2009)       | -                  | -                                | -                 | 58 (Hafta İçi)           | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |
|                                               | -                  | -                                | -                 | 29 (Hafta Sonu)          | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |
| Helsinki metro, Finland (Aarnio et al., 2005) | -                  | -                                | -                 | 52 (İstasyon İçinde)     | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |
|                                               | -                  | -                                | -                 | 21 (Araç İçi)            | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |

## EK 4. PM<sub>2.5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR

| Benzer Çalışmalar                              | Özel Araç, (µg/m³)       | Otobüs, (µg/m³) | Metrobüs, (µg/m³) | Metro, (µg/m³) | Hafif Raylı Sistem, (µg/m³) | Deniz Otobüsü, (µg/m³) | Feribot, (µg/m³) | Bisiklet, (µg/m³) | Taksi, (µg/m³) | Yaya, (µg/m³) |
|------------------------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------------------|------------------------|------------------|-------------------|----------------|---------------|
| Barselona (Morena vd.,2015)                    | -                        | 45.2            | -                 | 42.6           | 30.6                        | -                      | -                | -                 | -              | 27.8          |
| Santa Monica,Calif ornia, USA(Quiros vd.,2015) | 8.65 (Sabah, Cam Açık)   | -               | -                 | -              | -                           | -                      | -                | 10.5 (Sabah)      | -              | 11.0 (Sabah)  |
|                                                | 6.47 (Öğlen)             |                 |                   |                |                             |                        |                  | 7.11 (Öğle)       |                | 6.58 (Öğle)   |
|                                                | 5.20 (Akşam)             |                 |                   |                |                             |                        |                  |                   |                |               |
|                                                | 5.23 (Sabah, Cam Kapalı) |                 |                   |                |                             |                        |                  |                   |                |               |
|                                                | 4.15 (Öğlen)             |                 |                   |                |                             |                        |                  |                   |                |               |
|                                                | 2.86 (Akşam)             |                 |                   |                |                             |                        |                  |                   |                |               |
| London, UK (Rivas vd.,2017)                    | 7.4                      | 13.2            | -                 | 50.7           | -                           | -                      | -                | -                 | -              | 13.6          |
| Meksiko (Alvarez vd., 2012)                    | -                        | -               | -                 | 48.34          | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |
| İtalya (Carteni vd.,2015)                      | -                        | -               | -                 | 45 - 60        | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |
| Newyork, USA (Grass vd., 2010)                 | -                        | -               | -                 | 52             | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -             |

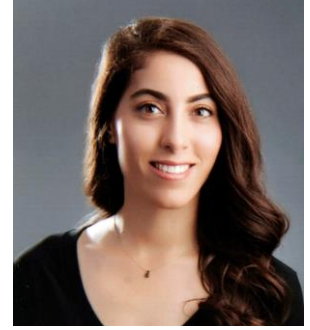
## EK 5. PM<sub>2.5</sub> ÜZERİNE YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR

[illegible]

| Benzer Çalışmalar                   | Özel Araç, (µg/m³)              | Otobüs, (µg/m³) | Metrobüs, (µg/m³) | Metro, (µg/m³)    | Hafif Raylı Sistem, (µg/m³) | Deniz Otobüsü, (µg/m³) | Feribot, (µg/m³) | Bisiklet, (µg/m³) | Taksi, (µg/m³) | Yaya, (µg/m³)  |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------|------------------|-------------------|----------------|----------------|
| Santa Monica, USA (Quiros vd.,2015) | 8.65<br>(Cam Açık)<br>(Sabah)   | -               | -                 | -                 | -                           | -                      | -                | 10.5<br>(Sabah)   | -              | 11<br>(Sabah)  |
|                                     | 6.47<br>(Cam Açık)<br>(Öğle)    |                 |                   |                   |                             |                        |                  |                   |                |                |
|                                     | 5.20<br>(Cam Açık)<br>(Akşam)   |                 |                   |                   |                             |                        |                  |                   |                |                |
|                                     | 5.23<br>(Cam Kapalı)<br>(Sabah) |                 |                   |                   |                             |                        |                  | 7.11<br>(Öğle)    |                | 6.58<br>(Öğle) |
|                                     | 4.15<br>(Cam Kapalı)<br>(Öğle)  |                 |                   |                   |                             |                        |                  |                   |                |                |
|                                     | 2.86<br>(Cam Kapalı)<br>(Akşam) |                 |                   |                   |                             |                        |                  |                   |                |                |
| London, UK<br>(Ragettli vd., 2017)  | 7.4                             | 13.2            | -                 | 50.7              | -                           | -                      | -                | -                 | -              | 13.6           |
| Santiago,Şili ( Suarez vd.,2014)    | 2                               | 17.5            | -                 | 16.9              | -                           | -                      | -                | 13                | -              | -              |
| Hong Kong, Çin<br>(Li vd.,2018)     | -                               | -               | -                 | 16.9<br>(Yeraltı) | -                           | -                      | -                | -                 | -              | -              |
|                                     |                                 |                 |                   | 13.6<br>(Yerüstü) |                             |                        |                  |                   |                |                |
| Beijing, Çin<br>(Yan vd.,2017)      | -                               | 32.9            | -                 | 56.9              | -                           | -                      | -                | -                 | -              | 26.7           |
| Minneapolis,US A (Hankey vd., 2015) | -                               | -               | -                 | -                 | -                           | -                      | -                | 10.9<br>(Sabah)   | -              | -              |
|                                     |                                 |                 |                   |                   |                             |                        |                  | 9.4<br>(Öğle)     |                |                |
| Bu çalışma                          | 36.9<br>(Cam Açık)              | 44.5<br>(76B)   | 27.6<br>(34)      | -                 | -                           | 19.7                   | 17.7             | -                 | -              | -              |
|                                     | 7.6<br>(Cam Kapalı)             | 37.2<br>(146)   | 17.3<br>(34AS)    |                   |                             |                        |                  |                   |                |                |

## ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler |                                                                          |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Adı Soyadı       | Fazilet Özkaya                                                           |
| Doğum Yeri       | Erdemli                                                                  |
| Doğum Tarihi     | 16.10.1991                                                               |
| Uyruğu           | <input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer: |
| Telefon          | 0506 760 37 17                                                           |
| E-Posta Adresi   | faziletozkaya@gmail.com                                                  |
| Web Adresi       |                                                                          |



| Eğitim Bilgileri |                       |
|------------------|-----------------------|
| Lisans           |                       |
| Üniversite       | İstanbul Üniversitesi |
| Fakülte          | Mühendislik Fakültesi |
| Bölümü           | Çevre Mühendisliği    |
| Mezuniyet Yılı   | 22.04.2017            |

| Yüksek Lisans |                                  |
|---------------|----------------------------------|
| Üniversite    | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |
| Enstitü Adı   | Lisansüstü Eğitim Enstitüsü      |
| Anabilim Dalı | Çevre Mühendisliği               |
| Programı      | Tezli Yüksek Lisans Programı     |

| Makale ve Bildiriler                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Onat, B., Alver Şahin, Ü., Uzun, B., Akın, Ö., Özkaya, F., Ayvaz, C., 2019, Determinants of exposure to ultrafine particulate matter, black carbon, and PM <sub>2.5</sub> in common travel modes in Istanbul, <i>Atmospheric Environment</i> , 206, 258-270.                                   |
| Onat B., Alver Şahin Ü., Uzun B., Akın Ö., Özkaya F., Ayvaz C., “Personal exposure to BC, UFP and PM <sub>2.5</sub> in road transport.”, 6th Iberian Meeting on Aerosol Science And Technology (RICTA2018), Bilboa, İSPANYA, 20-22 Haziran 2018, pp.1-2.                                       |
| Uzun B., Onat B., Alver Şahin Ü., Akın Ö., Özkaya F., Ayvaz C., “Commuter exposure to black carbon, ultrafine particle and fine particulate matter in ferry sea-bus abd dock”, 6th Iberian Meeting on Aerosol Science And Technology (RICTA2018), Bilboa, İSPANYA, 20-22 Haziran 2018, pp.1-2. |