



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TRAFİĞİN YOĞUN OLDUĞU ÇEVRELERDE MARUZ  
KALINAN İNCE PARTİKÜL MADDENİN (PM<sub>2.5</sub>)  
BELİRLENMESİ**

**Çevre Müh.Baktıgöl STAKEEVA  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman  
Yrd.Doç.Dr. Burcu ONAT**

**İSTANBUL**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TRAFİĞİN YOĞUN OLDUĞU ÇEVRELERDE MARUZ  
KALINAN İNCE PARTİKÜL MADDENİN (PM<sub>2.5</sub>)  
BELİRLENMESİ**

**Çevre Müh. Baktıgöl STAKEEVA  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman  
Yrd.Doç.Dr. Burcu ONAT**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 05.01.2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği  
Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

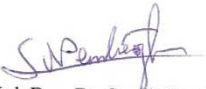
Tez Jürisi

  
Yrd. Doç. Dr. Burcu ONAT (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi

  
Prof. Dr. Esma TÜTEM  
İstanbul Üniversitesi

  
Doç. Dr. Nilgün BALKAYA  
İstanbul Üniversitesi

  
Yrd. Doç. Dr. Ülkü Şahin  
İstanbul Üniversitesi

  
Yrd. Doç. Dr. Semih Nemlioğlu  
İstanbul Üniversitesi

## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı tez yöneticisi çok değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Burcu ONAT'a ve çok değerli hocam Ülkü ŞAHİN'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi'ne teşekkürü borç bilirim.

**Aralık, 2008**

**Baktıgöl STAKEEVA**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ .....                                                                           | i    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                     | ii   |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                   | v    |
| TABLO LİSTESİ .....                                                                   | vii  |
| SEMBOL LİSTESİ .....                                                                  | viii |
| ÖZET .....                                                                            | ix   |
| SUMMARY .....                                                                         | x    |
| 1. GİRİŞ .....                                                                        | 1    |
| 1.1. ÇALIŞMANIN KAPSAM VE AMACI .....                                                 | 1    |
| 2. GENEL KISIMLAR .....                                                               | 3    |
| 2.1. ULAŞIMDAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLENMESİ VE<br>PARTİKÜL MADDE (PM) .....            | 3    |
| 2.2. ‘PARTİKÜL MADDE’NİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİNE<br>GÖRE SINIFLANDIRILMASI .....      | 5    |
| 2.2.1. Partikül Maddenin Morfolojik Özellikleri .....                                 | 5    |
| 2.2.2. Partikül Maddenin Fiziksel Özellikleri .....                                   | 6    |
| 2.2.2.1. Partikülün Boyutu .....                                                      | 6    |
| 2.2.2.2. Partikülün Boyut Dağılımı .....                                              | 10   |
| 2.2.3. Partikül Maddenin Kaynağına Göre Kimyasal Özellikleri .....                    | 11   |
| 2.2.4. Partikül Maddenin Termodinamik Özellikleri .....                               | 13   |
| 2.3. İNCE PARTİKÜL MADDENİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ .....                             | 13   |
| 2.3.1. İnsan Solunum Sisteminin Yapısına Göre Partiküllerin Dağılımı .....            | 14   |
| 2.4. TÜRKİYE’DE VE DÜNYA’DA MEVCUT PM STANDARTLARI .....                              | 15   |
| 2.4.1. ABD’de Partikül Madde ile ilgili Standartların Geçmişi ve<br>Genel Bakış ..... | 16   |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.2. Avrupa Birliği’nde Partikül Madde ile ilgili Standartların Geçmişi ve Genel Bakış..... | 17 |
| 2.4.3. Diğer Ülkelerde Partikül Madde ile ilgili Standartların Geçmişi ve Genel Bakış .....   | 18 |
| 2.5.4. Türkiye’de Partikül Madde ile ilgili Standartların Geçmişi ve Genel Bakış .....        | 18 |
| 2.5. TRAFİK EMİSYONU KONUSUNDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR .....                                      | 20 |
| 2.5.1. ABD’de Trafik Olduğu Yerlerde Yapılan Araştırmalar .....                               | 20 |
| 2.5.2. AB’de Trafik Olduğu Yerlerde Yapılan Araştırmalar .....                                | 22 |
| 2.5.3. Diğer Ülkelerde Trafik Olduğu Yerlerde Yapılan Araştırmalar .....                      | 23 |
| 2.5.4. Ülkemizde Trafik Kaynaklı Kirlenme Konusunda Yapılmış Araştırmalar .....               | 24 |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM .....                                                                    | 25 |
| 3.1. ÇALIŞMANIN YAPILDIĞI ULAŞIM TÜRLERİ VE GÜZERGAHLARI ... ..                               | 26 |
| 3.1.1. Özel Araç (Araba) .....                                                                | 26 |
| 3.1.2. Metrobüs .....                                                                         | 27 |
| 3.1.3. Belediye Otobüsü .....                                                                 | 29 |
| 3.1.4. Yaya .....                                                                             | 30 |
| 3.1.5. Metro .....                                                                            | 31 |
| 3.1.5.1. M1 Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattının Özellikleri.....                        | 32 |
| 3.1.5.2. M2 Taksim – 4.Levent Metro Hattının Özellikleri .....                                | 33 |
| 3.2. İNCE PARTİKÜL MADDE ÖLÇÜM CİHAZLARININ ÖZELLİKLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ .....          | 34 |
| 3.2.1 Partikül Sayıcı .....                                                                   | 34 |
| 3.2.2. pDR Cihazı .....                                                                       | 35 |
| 4. BULGULAR .....                                                                             | 37 |
| 4.1. PARTİKÜL SAYIM SONUÇLARI .....                                                           | 37 |
| 4.2. İNCE PARTİKÜL MADDE (PM <sub>2.5</sub> ) ÖLÇÜM SONUÇLARI .....                           | 48 |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....                                                                    | 61 |

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>KAYNAKLAR .....</b> | <b>65</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>  | <b>69</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                   |                                                                                                                                                             |     |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 2.1</b>  | : Polikarbonatlı filtre üzerindeki partiküller .....                                                                                                        | 6   |
| <b>Şekil 2.2</b>  | : 2.5 ve 10 µm çapındaki partiküllerin insan saçının boyutu ile karşılaştırması .....                                                                       | 7-8 |
| <b>Şekil 2.3</b>  | : Partikül boyut dağılımının histogramı .....                                                                                                               | 10  |
| <b>Şekil 2.4</b>  | : New York'taki trafiğin yoğun olduğu bir alanda yapılan araştırmanın sonuçları .....                                                                       | 20  |
| <b>Şekil 2.5</b>  | : PM <sub>2.5</sub> 'un ABD'de yedi farklı şehir için kaynak belirleme çalışmasının sonuçları .....                                                         | 21  |
| <b>Şekil 2.6</b>  | : Kamyonların yoğunluğuna ve saatine göre hafta içi ultra ince partiküllerin miktar konsantrasyonları, 4 günlük ortalamaları .....                          | 22  |
| <b>Şekil 3.1</b>  | : Çalışmanın yapıldığı bölge .....                                                                                                                          | 26  |
| <b>Şekil 3.2</b>  | : Özel araç ile takip edilen Avcılar İ.Ü.-Şirinevler kavşağı ve Şirinevler kavşağı-Avcılar İ.Ü. güzergahı .....                                             | 27  |
| <b>Şekil 3.3</b>  | : Avcılar-Şirinevler ve Şirinevler-Avcılar Metrobüs güzergahı .....                                                                                         | 28  |
| <b>Şekil 3.4</b>  | : Metrobüsün genel görünüşü .....                                                                                                                           | 29  |
| <b>Şekil 3.5</b>  | : Belediye otobüsü ile takip edilen güzergah – Yenibosna otobüs istasyonu-Sefaköy otobüs durağı .....                                                       | 30  |
| <b>Şekil 3.6</b>  | : Belediye otobüsünün genel görünüşü .....                                                                                                                  | 30  |
| <b>Şekil 3.7</b>  | : Yaya olarak takip edilen güzergah: Şirinevler otobüs durağı-Yenibosna otobüs durağı (Total petrol istasyonu) .....                                        | 31  |
| <b>Şekil 3.8</b>  | : Taksim-4.Levent Metro Hattı ile Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattındaki ölçüm noktaları ve İBBÇKM Dış ortam Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonları .....      | 32  |
| <b>Şekil 3.9</b>  | : Partikül sayıcının genel görünüşü (a-b) .....                                                                                                             | 34  |
| <b>Şekil 3.10</b> | : Partikül madde konsantrasyonunu ölçen pDR-1200 portatif cihazı (a-b) .....                                                                                | 35  |
| <b>Şekil 3.11</b> | : Akış hızının fonksiyonuna göre pDR'in GK 2.05 siklonun kesme noktası [d <sub>50</sub> ], birleştirilen pDR-1200, pDR-PU pompası ve bataryası .....        | 36  |
| <b>Şekil 3.12</b> | : Real-time aerosol monitörün çalışma prensibi .....                                                                                                        | 36  |
| <b>Şekil 4.1</b>  | : Trafiğin yoğun olduğu saatlerde özel araçta partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı .....                      | 42  |
| <b>Şekil 4.2</b>  | : Trafiğin az yoğun olduğu saatlerde özel araçta partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı .....                   | 43  |
| <b>Şekil 4.3</b>  | : Trafiğin yoğun olduğu saatlerde metrobüste partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı .....                       | 44  |
| <b>Şekil 4.4</b>  | : Trafiğin az yoğun olduğu saatlerde metrobüste partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı .....                    | 45  |
| <b>Şekil 4.5</b>  | : Trafiğin yoğun ve az yoğun olduğu saatlerde belediye otobüsün de partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı ..... | 46  |
| <b>Şekil 4.6</b>  | : Trafiğin yoğun ve az yoğun olduğu saatlerde yaya için partikül kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı .....                       | 42  |
| <b>Şekil 4.2</b>  | : Trafiğin az yoğun olduğu saatlerde özel araçta partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı .....                   | 43  |
| <b>Şekil 4.3</b>  | : Trafiğin yoğun olduğu saatlerde metrobüste partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı .....                       | 44  |

|                   |                                                                                                                                                            |    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.4</b>  | : Trafiğin az yoğun olduğu saatlerde metrobüste partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı.....                    | 45 |
| <b>Şekil 4.5</b>  | : Trafiğin yoğun ve az yoğun olduğu saatlerde belediye otobüsün de partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı..... | 46 |
| <b>Şekil 4.6</b>  | : Trafiğin yoğun ve az yoğun olduğu saatlerde yaya için partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı .....           | 47 |
| <b>Şekil 4.7</b>  | : Özel araçta trafiğin yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ).....                                    | 51 |
| <b>Şekil 4.8</b>  | : Özel araçta trafiğin az yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ).....                                 | 52 |
| <b>Şekil 4.9</b>  | : Metrobüs'te trafiğin yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ).....                                    | 53 |
| <b>Şekil 4.10</b> | : Metrobüs'te trafiğin az yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ).....                                 | 54 |
| <b>Şekil 4.11</b> | : Belediye otobüsünde trafiğin yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ).....                            | 55 |
| <b>Şekil 4.12</b> | : Belediye otobüsünde trafiğin az yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ) .....                        | 56 |
| <b>Şekil 4.13</b> | : Yaya olarak trafiğin yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ).....                                    | 57 |
| <b>Şekil 4.14</b> | : Yaya olarak trafiğin az yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ).....                                 | 58 |
| <b>Şekil 4.15</b> | : M1 Aksaray- Havalimanı metro hattında yapılan tren içi ve makinist kabini PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları.....                                       | 59 |
| <b>Şekil 4.16</b> | : M2 Taksim-4.Levent metro hattında yapılan tren içi ve makinist kabini PM <sub>2.5</sub> konsantrasyonları .....                                          | 60 |

## TABLO LİSTESİ

|                  |                                                                                                                                               |    |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1</b> | : Partikül şekil örnekleri.....                                                                                                               | 6  |
| <b>Tablo 2.2</b> | : Farklı şekillerdeki partiküllerin aerodinamik çapları .....                                                                                 | 8  |
| <b>Tablo 2.3</b> | : Benzer şekil ve farklı yoğunluğa sahip partiküllerin aerodinamik çapları .....                                                              | 8  |
| <b>Tablo 2.4</b> | : EPA (Çevre Koruma Örgütü) tarafından partiküllerin aerodinamik çaplarına göre sınıflandırılması .....                                       | 9  |
| <b>Tablo 2.5</b> | : Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) kabul ettiği PM standartları ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....                                               | 15 |
| <b>Tablo 2.6</b> | : Dünyanın çeşitli ülkelerinde ve Türkiye'de kullanılan $\text{PM}_{10}$ ve $\text{PM}_{2.5}$ standartları ( $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ) ..... | 16 |
| <b>Tablo 2.7</b> | : Avrupa Birliği ülkelerinde partikül madde dizel ve benzin içindeki sınır değerleri ( $\text{g}/\text{km}$ ) .....                           | 18 |
| <b>Tablo 3.1</b> | : Metrobüsün teknik özellikleri.....                                                                                                          | 28 |
| <b>Tablo 3.2</b> | : M1 Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattı Sefer Sıklığı .....                                                                               | 33 |
| <b>Tablo 3.3</b> | : Taksim – 4.Levent Metro Hattı Sefer Sıklığı .....                                                                                           | 33 |
| <b>Tablo 3.4</b> | : Taksim – 4.Levent Metro Hattındaki İstasyonların peron boyu, giriş sayısı ve cadde seviyesinden itibaren derinlikleri .....                 | 34 |
| <b>Tablo 4.1</b> | : Partikül sayım sonuçları .....                                                                                                              | 38 |
| <b>Tablo 4.2</b> | : İstanbul'da farklı ulaşım türleri için $\text{PM}_{2.5}$ ortalama konsantrasyonları .....                                                   | 49 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                                |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| PM                             | : partikül madde                      |
| PM <sub>2.5</sub>              | : 2.5 mikrometreden küçük partiküller |
| PM <sub>10</sub>               | : 10 mikrometreden küçük partiküller  |
| CO                             | : karbonmonoksit                      |
| NO <sub>x</sub>                | : azot oksitler                       |
| SO <sub>x</sub>                | : kükürt oksitler                     |
| VOC                            | : uçucu organik bileşikler            |
| NO <sub>2</sub>                | : azot dioksit                        |
| O <sub>3</sub>                 | : ozon                                |
| ·NO <sub>3</sub>               | : nitrat radikalleri                  |
| ·OH                            | : hidroksil radikali                  |
| SiO <sub>2</sub>               | : silisyum dioksit                    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : alüminyum trioksit                  |
| Fe                             | : demir                               |
| CaO                            | : kalsiyum oksit                      |
| Na <sub>2</sub> O              | : sodyum oksit                        |
| K <sub>2</sub> O               | : potasyum oksit                      |
| MgO                            | : magnezyum oksit                     |
| TiO                            | : titanyum oksit                      |
| MnO                            | : mangan oksit                        |
| COHb                           | : karboksihemoglobin                  |
| WHO                            | : Dünya Sağlık Örgütü                 |
| EPA                            | : Çevre Koruma Örgütü                 |
| D <sub>pa</sub>                | : Partikülün aerodinamik çapı         |
| D <sub>ps</sub>                | : Stokes çapı                         |
| P <sub>p</sub>                 | : partikülün yoğunluğu                |
| TSP                            | : toplam asılı partikül maddeler      |
| μ                              | : mikro                               |

## ÖZET

### TRAFİĞİN YOĞUN OLDUĞU ÇEVRELERDE MARUZ KALINAN İNCE PARTİKÜL MADDENİN (PM<sub>2.5</sub>) BELİRLENMESİ

Bu çalışmada trafiğin yoğun olduğu çevrelerde farklı ulaşım türlerinde ince partikül maddelere (PM<sub>2.5</sub>) kişilerin maruz kalışı belirlenmiştir. Bu amaçla özel araç, metrobüs, belediye otobüsü, metro ve yaya ulaşım türlerinde PM<sub>2.5</sub> ölçümleri ve partikül sayımı yapılmıştır. Ölçümler Metro dışındaki ulaşım araçlarında Ekim 2008 - Kasım 2008 zaman periyodunda, günde iki kere, trafiğin yoğun olduğu ve yoğun olmadığı saatlerde (sabah-öğle) yapılmıştır. Metro tren içi ve makinist kabini içinde yapılan ölçümler ise Ocak-Nisan 2008 zaman periyodunda tren içinde günde 3 kez (sabah-öğle-akşam), makinist kabininde 08:00-24:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar taşıt türleri, ortam koşulları ve havalandırma sistemleri arasındaki farklar dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Araba içinde trafiğin yoğun olduğu ve az yoğun olduğu sabah saatlerinde yapılan ölçümlerde 0.3 µm, 0.5 µm, 1 µm ve 3 µm çapındaki partiküller için havalandırma açık olduğunda alınan sonuçlar, havalandırma kapalı olduğunda kaydedilen sonuçlardan daha yüksek olarak bulunmuştur. Metrobüs içinde de aynı şekilde trafiğin yoğun olduğu saatlerde partikül sayıları daha yüksektir. Belediye otobüsü içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında sabah ve öğlen saptanan partikül sayısının diğer ulaşım türlerine göre daha yüksek olduğu ve sabah ölçümlerinin biraz daha yüksek olmasına rağmen öğlen ölçümleri ile arasında çok fazla fark olmadığı görülmektedir. Yaya olarak yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında partikül sayısının 6 partikül fraksiyonunda da belediye otobüsü hariç diğer ulaşım türlerinden daha fazla olduğu görülmektedir.

PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının günlük ortalamaları ise arabanın içinde partikül sayımının sonuçlarında olduğu gibi havalandırma açık durumdayken kapalı durumundaki sonuçlardan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Hafta içi sabah hafta sonu ise öğle saatlerin de PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının yüksek olduğu görülmüş: hafta içi sabah 73 µg/m<sup>3</sup> ve hafta sonu sabah 33 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Metrobüs içinde bulunan PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları 46 µg/m<sup>3</sup> ve 34.5 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. En yüksek sonuçlar belediye otobüsü içinde trafiğin yoğun saatlerde 106 µg/m<sup>3</sup> ve az yoğun saatlerde 89 µg/m<sup>3</sup> olarak, yaya için ise 89 µg/m<sup>3</sup> ve 82 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Metro M1 (Aksaray-Havalimanı) ve M2 (Taksim-4.Levent) hatlarında ise tren içindeki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları sırasıyla 73 µg/m<sup>3</sup> ve 62 µg/m<sup>3</sup>, makinist kabini içinde ise 73 µg/m<sup>3</sup> ve 50 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

## SUMMARY

### ASSESSMENT OF PERSONAL EXPOSURE LEVELS TO FINE PARTICLE MATTER (PM<sub>2.5</sub>) IN HEAVY TRAFFIC MICROENVIRONMENTS

The aim of this work is to investigate a personal exposure to fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in the most usable transport microenvironments (car, metrobus, municipal bus and walking) in Istanbul, Turkey. For meet this goal, using portable instrumentation, measurements of PM<sub>2.5</sub> and ultrafine particulate counts in all transportation modes excepting Metro were performed during a period of October and November 2008, and in Metro during a period of January-March 2008. To compare the concentrations of particles at peak and peak-off times of traffic the measurements were performed two times a day in all modes and three times a day (morning, noon and evening) in Metro (inside a train and machinist cabin), respectively. The mode of transport, an existing of air-conditioning in a vehicle, traffic hour were considered as significant factors, influencing exposure concentrations.

As a result, there is a significant difference between concentrations of the particles with 0.3 µm, 0.5 µm, 1 µm and 3 µm diameter, which were recorded an open and closed air-conditioning in the rush and non-rush hours inside a car. The same results were found for metrobus. The highest concentrations in comparison with other transportation modes are registered in municipality bus and then in walking, but there's not a big difference between traffic peak and peak-off times.

The daily average of PM<sub>2.5</sub> concentrations for a car is found different when the air-conditioning is turned and turned-off. In addition, the concentrations registered on weekdays are found to be higher then on weekends: in the morning on weekdays as 73 µg/m<sup>3</sup> and on weekends mornings as 33 µg/m<sup>3</sup>. For metrobus, the values change between 46 µg/m<sup>3</sup> and 34.5 µg/m<sup>3</sup>. The highest results are found for municipality and walking modes: in the morning 106 µg/m<sup>3</sup> and 89 µg/m<sup>3</sup>, at lunchtime 89 µg/m<sup>3</sup> and 82 µg/m<sup>3</sup>. PM<sub>2.5</sub> concentrations inside a train are found to be 73 µg/m<sup>3</sup> and 62 µg/m<sup>3</sup> and inside a machinist cabin of M1 (Aksaray-Havalimanı) and M2 (Taksim-4.Levent) metro lines 73 µg/m<sup>3</sup> and 50 µg/m<sup>3</sup>, respectively.

## 1. GİRİŞ

### 1.1. ÇALIŞMANIN KAPSAM VE AMACI

Günümüzde çevrenin kalitesi genel olarak bölgenin nüfus yoğunluğuna, kentsel hava kalitesi ise şehirlerde nüfusa bağlı olarak artmakta olan ulaşım araçlarının sayısına bağlıdır. Çünkü kent atmosferinde hava kirliliğinin en önemli kaynakları olarak sanayi ve evsel sektörler bilinse de hava kirlenmesinde hareketli kaynak olarak bilinen trafiğin de katkısı çok yüksektir. Ulaşım amacıyla kullanılan kara, hava ve deniz taşıtlarının arasında özellikle karayollarında seyir halindeki motorlu taşıtların kentsel hava kalitesine olumsuz etkisi oldukça büyüktür. Motorlu taşıtlardaki hava kirleticileri motor içinde yanma sonucu oluşan egzoz gazlarıdır. Egzoz gazlarının içinde karbon monoksit, partikül madde (PM), kükürt ve azot oksitler, uçucu organik maddeler gibi kirletici emisyonları trafiğin yoğun olduğu ana caddelerde, kavşak ve karayolu etrafında önemli boyutlara ulaşabilmekte ve bu çevrelerde kirleticilere maruz kalan insanlarda sağlık problemlerine sebep olmaktadır. Özellikle ince partikül madde (PM<sub>2.5</sub>) ve ozon konusunda yapılan çalışmalar hava kirleticiler ile akciğer ve kalp-damar hastalıkları arasında ilişki olduğunu göstermiştir (Lippmann, 2000).

Özellikle taşıt sayısının sürekli artış gösterdiği İstanbul'da trafik kaynaklı kirlenme bu kentte yaşayanlar için yaşam kalitesini bozan ve sağlık açısından büyük sorunlara yol açan bir unsur haline gelmiştir.

Trafik kaynaklı hava kirliliğine kısa sürelerde pik konsantrasyonlarda maruz kalınması, insan sağlığı için ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Halk sağlığının korunması ve mevcut durumun iyileştirilmesi için bu kirleticilerin havada kalma süresi, lokasyonu ve maruz

kalınan miktarlarının bilinmesi çevre sağlık risklerinin belirlenmesinde ve riski azaltmak için verilecek kararlarda önem teşkil etmektedir.

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

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

İstanbul, Türkiye’nin ekonomik ve kültürel merkezi olarak en fazla nüfusa ve taşıt sayısına sahip olan bir şehirdir. Bu nedenle konumsal özelliklere ve meteorolojik faktörlere bağılı olarak kentsel hava kalitesi sürekli değişim göstermektedir. Ayrıca, İstanbul gibi megakentlerde trafik kaynaklı kirliliğin insanlar üzerindeki etkisini tam olarak belirleyebilmek için çalışmaların mikroçevrelerde yürütülmesi gereklidir.

Bu çalışmada, İstanbul’da en önemli kirletici kaynaklardan biri olan trafik kaynaklı ince partikül maddelere kişilerin ne ölçüde maruz kaldığı belirlenmiştir. Bu amaçla trafiğin yoğun olduğu bir mikro çevrede farklı ulaşım türleri de dikkate alınarak ince partikül madde (PM<sub>2.5</sub>) ölçümleri ve partikül boyut dağılımını belirlemek amacıyla partikül sayımları yapılmıştır. Ölçümler belediye otobüsü, metrobüs, metro, özel araç içinde, ayrıca araç dışındaki konsantrasyonları belirleyebilmek için de yaya olarak yapılmış, böylece kişilerin maruziyetleri farklı ulaşım türleri için belirlenerek aradaki farklar ortaya konmuştur.

## **2. GENEL KISIMLAR**

### **2.1. ULAŞIM DAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLENMESİ VE PARTİKÜL MADDE (PM)**

Hızlı nüfus artışına bağlı olarak soluduğumuz havanın kalitesi sanayi, evsel ve trafik emisyonlarının etkisiyle sürekli değişim altındadır. Bu değişim, havanın lokal ve küresel ölçekte kimyasal yapısının bozulması sonucunu doğurmaktadır.

Günümüzde ulaşım insanların en önemli gereksinimlerinden biridir. Yerleşim alanlarının oluşturulmasında, turizm sektöründe ve endüstriyel faaliyetlerde vazgeçilmez bir araç olan ulaşımın en olumsuz yanı çevre kirlenmesine neden olmasıdır. Özellikle kara taşıtlarından yayılan egzoz emisyonları hava kirlenmesi açısından büyük önem teşkil etmektedir.

Taşıtlarda kullanılan yakıtın eksik yanması sonucu insan sağlığına zararlı egzoz gazları havaya verilir. İçten yanmalı motordan çıkan egzoz gazları sağlığa zararlı kirletici maddeleri içerirler. Bu kirleticiler; partikül madde (PM), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>), ozon, ağır metaller ve uçucu organik karbonlardır (VOC).

Karbon monoksit (CO) kokusuz, renksiz, tatsız, rahatsız edici olmayan dolayısıyla bulunduğu ortamda beş duyumuzla fark edilmesi olanaksız bir gazdır. İnsanlarda CO zehirlenmeleri en çok fabrika gazları, egzoz gazları, odun, kömür, gaz gibi yapısında karbon taşıyan bileşiklerin tam yanmaması sonucu açığa çıkan karbonmonoksit'ten meydana gelir (Yılmaz, 2008).

Azot oksitler ( $\text{NO}_x$ ), azot monoksit ( $\text{NO}$ ) ve azot dioksit ( $\text{NO}_2$ ) karışımıdır. Azot monoksit renksiz ve kokusuzdur bir gazdır, atmosferde oksitlenerek diğer azot oksitleri oluşturur. Azot oksitler kokusuz, kahverengi, asitlidir, yüksek korozif bir gazdır. Azot oksitler, smoga sarımsı kahverengi rengini verdiği için, fotokimyasal smogun kesin göstergesi olarak kabul edilir (EPA, 2008).

Kükürt oksitler ( $\text{SO}_x$ ) içerisinde en önemli pay kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ) gazına aittir. Kükürt dioksit renksiz bir gaz olup, havadaki 0,3-1 ppm seviyelerde ağızda bir tat bırakmakta, 3 ppm'in üstünde ise boğucu bir hisse yol açmaktadır. Atmosferde oldukça hızlı bir oksitlenmeyle kükürt trioksit ( $\text{SO}_3$ ) ve sülfatlara dönüşür. Kükürt trioksit sülfürik asidin anhidriti olup; yağmur veya yoğunlaşmış nem (sis) damlalarıyla birleşerek havada bu asidin damlacıklarının oluşmasına yol açar. Sülfatlar ise çoğunluğu 0,2-0,9  $\mu\text{m}$  çapa sahip katı tanecikler şeklinde olup, görünür ışığın 0,4-0,7  $\mu\text{m}$  olan dalga boyları ile girişim yaparak görüş mesafesini azaltır ve güneş radyasyonunu engelleyerek yerel iklimlerde soğumaya yol açar. Bu yüzden kent atmosferinde  $\text{SO}_2$ 'nin tipik seviyelerinde, bağıl nemin de %50'den fazla olduğu günlerde önemli görüş kayıpları ortaya çıkar (Müezzinoğlu, 2005).

Ozon fotokimyasal smogun indikatorüdür. Ozon renksiz, kendine özgü bir tada sahip olarak yüksek tepkili bir gazdır. Stratosferdeki ozon gezegenimizi ultraviyole radyasyonundan korur, ancak, atmosferin alt seviyelerinde fotokimyasal reaksiyonların sonucunda oluşan ozon ise bir hava kirleticidir. Fotokimyasal oksitleyicilerin ürünleri genel olarak bir kaç saat içinde var olabilir, bu demek ki ozonun en yüksek konsantrasyonlar genelde yazları ve gündüz saatlerinde görülür (EPA, 2008).

Havada bulunan metaller arasında en önemli kirleticiler kurşun, kadmiyum ve cıvadır. Kurşun, ergime noktası 327.5 °C ve kaynama noktası 1740 °C olan mavimsi-gri yumuşak bir metaldir. Tetraetil ve tetrametil gibi organik bileşikler, daha önceden yaygın olarak kullanılan yakıt katkılarıydı (Kiely, 1996). Dolayısıyla havadaki kurşunun dominant kaynağı böyle yakıtlarla çalışan motorlu taşıtlardan çıkan emisyonlardır. Yakıt buharlaşırken kurşun havaya buhar veya partiküller olarak atılır. Havada kurşun

dışındaki eser elementlerin sakıncaları hakkında pek fazla bilgi yoktur (Müezzinoğlu, 2005).

Uçucu organik karbonlar (VOCs) havadaki hidrokarbon gaz ve buharları olarak tanınır; metan dışı tüm organik buhar ve gazları kapsar. VOC'lerde zincir yapısında düz karbon iskeletleri taşıyan (alkil) veya benzen halkaları taşıyan (aril) kökler içiren, doymuş veya doymamış haldeki maddeler ile aldehit, keton veya asit grupları taşıyabilen organik maddeler yer almaktadır (Müezzinoğlu, 2005).

Atmosferde gazların dışında mevcut bileşenler sıvı, katı veya sıvı-katı taneciklerin gaz ortamda askıda bulundukları tozun başka ismi partikül maddelerdir. Havada yüzer halde bulunan bu tanecikler, tane iriliklerine ve kimyasal yapılarına bağlı olarak toz, buhar, sis, duman, sprej gibi çok çeşitli isimler alırlar (Müezzinoğlu, 2005).

## **2.2. 'PARTİKÜL MADDE'NİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI**

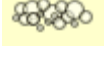
Partikül madde (kısacası PM veya partiküller) havada bulunan katı, sıvı veya katı çekirdeğin etrafında sıvı ile çevrili olan parçacıkların bir karışımıdır. Katı ve sıvı parçacıkların arasında toz, duman, is, sıvı damlacıklar, spor, bakteri, metalik bileşikler, temel karbon, inorganik iyonlar vs. gibi hem organik hem de inorganik maddeler bulunabilir. Atmosferdeki bazı parçacıklar higroskopiktir ve parçacıkla bağlı olan suyu içerir. Organik kısmı ise yüzlerce organik bileşiği içeren özel bir komplekstir (Wilson, 2002).

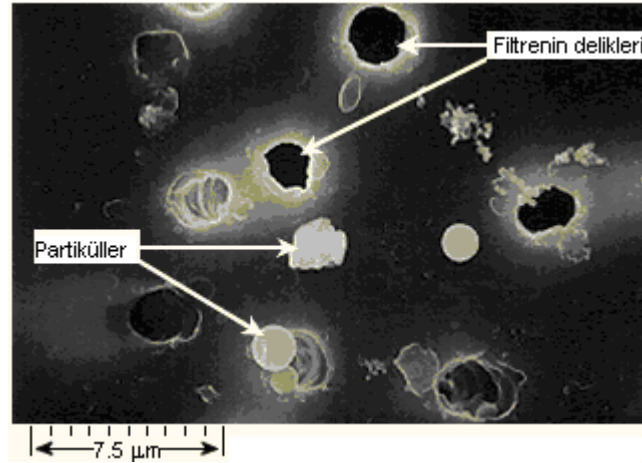
Partikül maddeler morfolojik (yapısal), fiziksel (boyut ve boyut dağılımı), kimyasal (kimyasal madde içeriği) ve termodinamik (havada akışı) özelliklerine göre farklılık gösterir. Bu farklılıklar, partiküllerin insan sağlığına, çevreye, doğadaki radyoaktif dengeye ve dünya iklimine etkisinin şiddetini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

### 2.2.1. Partikül Maddenin Morfolojik Özellikleri

Morfolojik özelliklerine göre parçacıklar şekillerine göre küresel ve küresel olmayan partiküller olarak ikiye ayrılır. Partikül şekilleri daha ayrıntılı olarak Tablo 2.1’de verilmiştir. Şekil 2.1’de ise partiküllerin filtre üzerindeki görünüşleri verilmiştir.

Tablo 2.1 : Partikül şekil örnekleri  
(<http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/diameter/diameter.htm#fig1>)

|                                            |                                                                                       |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Dolu küre (solid sphere)                   |    |
| İçi boş küre (hollow sphere)               |    |
| Düzensiz şekildeki cisim (solid irregular) |    |
| Gevrek (flake)                             |   |
| İplik (fiber)                              |  |
| Yoğunlaşmış flok (condensation floc)       |  |
| Küme (aggregate)                           |  |



Şekil 2.1: Polikarbonatlı filtre üzerindeki partiküller  
(<http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/diameter/diameter.htm#fig2>)

### 2.2.2. Partikül Maddenin Fiziksel Özellikleri

Partikülün hareketini anlamak için şeklinin dışında partikülün boyutunu ve boyut dağılımını da bilmek gerekir.

#### 2.2.2.1. Partikülün boyutu

Partikülün boyutu partikülün çapı demektir. Bu fiziksel parametre, çeşitli şekillere ve farklı yoğunluklara sahip olan parçacıkların çaplarını hesaplamak için verilen “equivalent” (yani partikül gibi aynı harekete sahip olan bir birim yoğunluk küresinin çapı) veya “aerodinamik” çapına bağlıdır. Ancak, genelde partiküllerin boyutu olarak aerodinamik çap yerine fiziksel çap tercih edilir. Partikülün taşınmasında, uzaklaştırılmasında, toplanmasında ve solunum yollarında çökmesinde önemli olan aerodinamik çapı – 1 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa ve hareketsizlik özelliklerine sahip olan küresel partikülün çapıdır. Ancak, aynı şekil ve fiziksel boyuta sahip ama farklı yoğunluklardaki partiküllerin aerodinamik çapı da farklıdır. Çoğu araştırmada, PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub> , aerodinamik çap ile ifade edilmiştir. Çapları 0.5 µm‘den küçük olan partiküllerin aerodinamik çapı aşağıdaki (2.1) formüle göre hesaplanır:

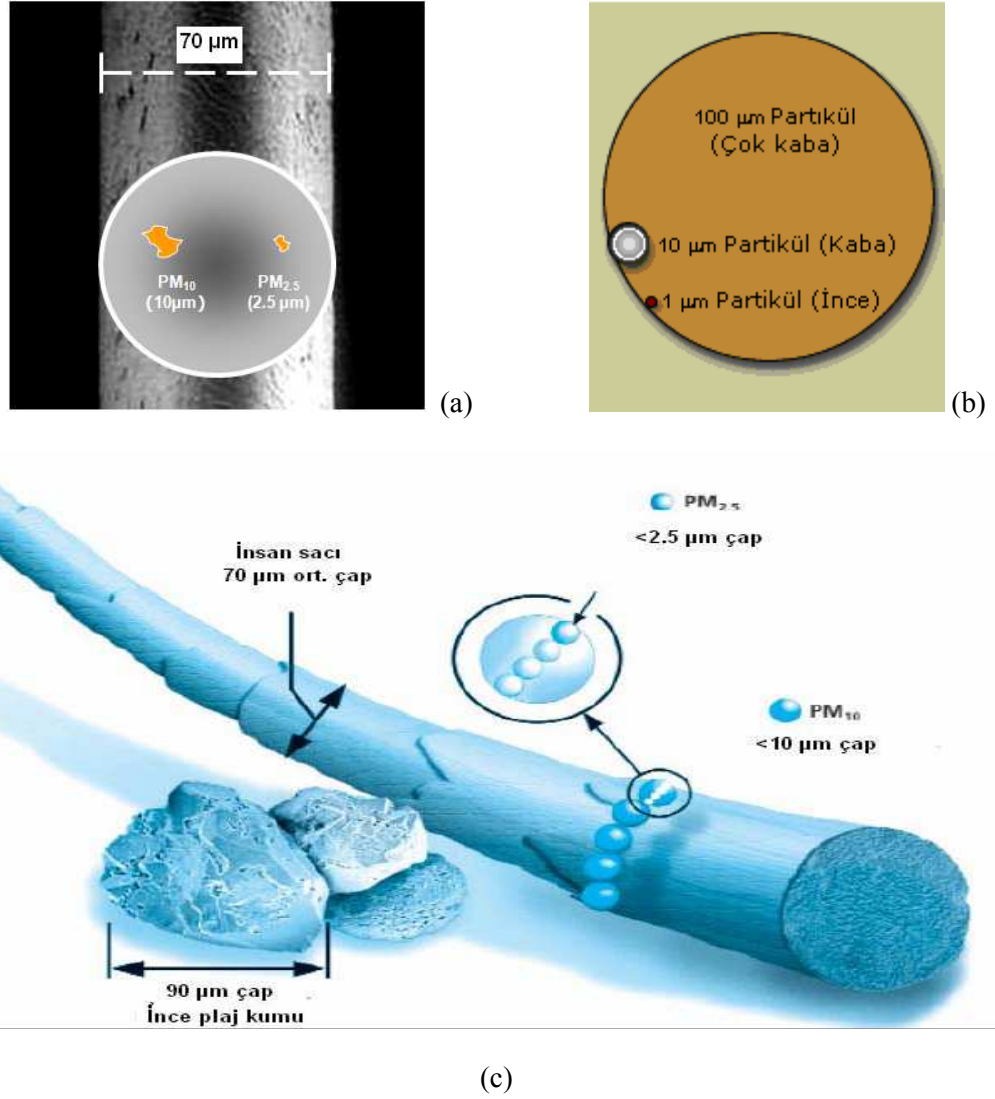
$$D_{pa} = D_{ps} \sqrt{P_p} \quad (2.1)$$

$D_{pa}$  : partikülün aerodinamik çapı (µm)

$D_{ps}$  : Stokes çapı (µm)

$P_p$  : partikülün yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>)

Stokes çapı - aynı yoğunluğa ve çökme hızına ait olan kürenin çapıdır. Bu parametre, partikülün ve onun etrafını saran sıvının hızlarının arasındaki farklılık sebebiyle meydana gelen aerodinamik direnç gücüne dayanıklıdır. Düz, küre şeklinde olan partiküller için Stokes çapı fiziksel yada gerçek çapına eşittir. Partikülün yoğunluğu ise sıvıda olan partikülün hareketini etkiler. Farklı şekillerdeki partiküllerin aerodinamik çapları Tablo 2.2 ve Tablo 2.3’de verilmiştir. 2.5 ve 10 µm çapındaki partiküllerin insan saçının boyutu ile karşılaştırması Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 : 2.5 ve 10 µm çapındaki partiküllerin insan saçının boyutu ile karşılaştırması

(a) (<http://www.deq.mt.gov/AirQuality/AQinfo.asp>)

(b) (<http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/category/category.htm#pm2.5>)

(c) (Öztürk, 2007)

Tablo 2.2 : Farklı şekillerdeki partiküllerin aerodinamik çapları

(<http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/diameter/diameter.htm#fig1>)

| Şekil                                                                               | Şekil ismi               | Partikülün yoğunluğu ve Stoks çapı                      | Partikülün aerodinamik çapı |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | Küre                     | $P_p = 2.0 \text{ g/cm}^3$<br>$D_{ps} = 1.4 \text{ µm}$ | $D_{pa} = 2 \text{ µm}$     |
|  | Boş küresel kabuğu       | $P_p = 0.5 \text{ g/cm}^3$<br>$D_{ps} = 2.8 \text{ µm}$ |                             |
|  | Düzensiz şekildeki cisim | $P_p = 2.4 \text{ g/cm}^3$<br>$D_{ps} = 1.3 \text{ µm}$ |                             |

Tablo 2.3 : Benzer şekil ve farklı yoğunluğa sahip partiküllerin aerodinamik çapları  
(<http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/diameter/diameter.htm#fig1>)

| Şekil                                                                             | Yoğunluk derecesi       | Partikülün yoğunluğu ve Stoks çapı                            | Partikülün aerodinamik çapı         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|  | Düşük yoğunlu parçacık  | $P_p = 1 \text{ g/cm}^3$<br>$D_{ps} = 2 \text{ } \mu\text{m}$ | $D_{pa} = 2.0 \text{ } \mu\text{m}$ |
|  | Orta yoğunlu parçacık   | $P_p = 2 \text{ g/cm}^3$<br>$D_{ps} = 2 \text{ } \mu\text{m}$ | $D_{pa} = 2.8 \text{ } \mu\text{m}$ |
|  | Yüksek yoğunlu parçacık | $P_p = 3 \text{ g/cm}^3$<br>$D_{ps} = 2 \text{ } \mu\text{m}$ | $D_{pa} = 3.5 \text{ } \mu\text{m}$ |

Tablo 2.4 : EPA'ya göre partiküllerin aerodinamik çapına göre sınıflandırılması  
(<http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/category/category.htm#fig1>)

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

EPA tarafından partikül boyutuna göre yapılan bir başka sınıflandırma ise aşağıda verildiği şekilde yapılmaktadır.

- Toplam Askıda Partikül Maddeler (TSP)
- $PM_{10}$
- $PM_{2.5}$
- $0.1 \text{ } \mu\text{m}$  den daha küçük olan partiküller
- Yoğunlaşma partikül madde

**Toplam Asılı Partiküller (Total suspended particles, TSP)** – aerodinamik çapı 25-45 mikrometre ( $1 \text{ } \mu\text{m} = 0.001 \text{ milimetre}$ ) arasında olan havadaki partikül maddelerdir. Partikül Madde  $> 10 \text{ mikron}$  (“çok kaba partiküller”) sınıfına girer.

**Partikül Madde < 10 mikron (PM<sub>10</sub> – “kaba partiküller”)** - aerodinamik çapı 10 µm’den daha küçük olan havadaki partikül maddelerdir, yani 2.5-10 µm aralığındaki partiküllerdir.

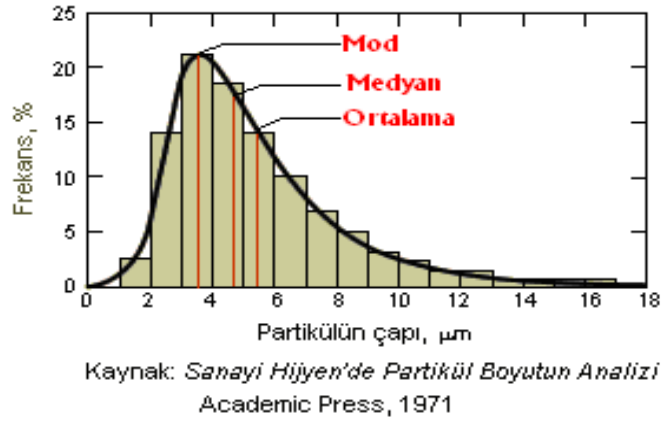
**Partikül Madde < 2.5 mikron (PM<sub>2.5</sub> – “ince partiküller”)** – aerodinamik çapı 2.5 µm’den daha küçük olan havadaki partikül maddelerdir. Bu partiküller sadece elektron mikroskobu ile görülebilir .

**Partikül Madde < 0.1 mikron (“ultra ince partiküller”)** – aerodinamik çapı 0.1 µm’den daha küçük olan havadaki partikül maddelerdir.

**Yoğunlaşma ile oluşan Partikül Madde** – yoğunlaşma sonucu olan gazlardan ya da buhardan oluşan partikül maddelerdir. Bu tip partiküller doğal olaylar sonucunda veya kimyasal reaksiyonların sonucunda oluşur. Bunlar, genel olarak partikül madde olmayan malzemelerden ama partikül maddeyi oluşturmak için bacada yoğunlaşan ve/veya çevre havasında soğuma ve yoğuşma ile oluşan maddelerdir; ve bacadan emisyonun verilmesinden hemen sonra (birkaç saniyede içinde) olmaktadır.

#### *2.2.2.2. Partikülün Boyut Dağılımı*

Partikül boyut dağılımı – farklı boyutlara göre ayrılan partiküllerin bağıl miktarlarını belirleyen değerlerin veya matematiksel fonksiyonların listesi veya farklı boyutlarda bulunan partiküllerin oranını gösteren partikül dağılımının frekansı olarak tanımlanabilir. Boyut dağılımını göstermek için en kolay metotlarından birisi Şekil 2.3 deki gibi histogramdır. Frekansı miktar sayısı, yüzeysel alanı ya da kütleli olarak grafiklenebilir (Y-ekseni). Şekil 2.3 deki partikül dağılımı kütleli olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Partikül boyut dağılımının histogramı  
(<http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/distrib/distribu.htm>)

Medyan, aritmetik ortalama ve mod, kütle dağılımının karakterize edilmesini sağlar. Medyan, partikül boyut dağılımın orta noktasındaki partikül çapını ifade eder ve aerosol kütlelerinin % 50'si daha büyük diğer % 50'si ise daha küçük çaptaki partiküllerdir. Aritmetik ortalama, dağılımın ortalama partikül çapıdır. Aritmetik ortalama, dağılımın düşük ya da yüksek noktalardaki partikül madde miktarına göre değişkenlik gösterir. Mod, dağılımda en çok tekrar eden değeri ifade eder.

PM ile ilgili yapılan araştırmalarda  $PM_{2.5}$  ve ölüm arasındaki büyük ilişki tespit edilmiş ve sağlık üzerine etkilerinin belirlenmesinde partiküllerin boyut dağılımının önemi anlaşılmıştır. 1997'de Friedlander 'aerosol boyut dağılımı' ile ilgili yeni bir kavram ortaya koydu. Bu kavram, çok küçük partiküllerin daha büyüklerle koagülasyonu sonucu daha büyük partiküller oluşturması ve atmosferden yerçekimi veya başka mekanizmalar ile çökmesidir. Buna göre atmosferde zamana göre partikül madde boyutları az çok sabit dağılıma doğru yönelmektedir. Bu kavram günler boyunca aerosol hareketinin nasıl olduğunun anlaşılmasını sağlar ama gerçekte şehir ölçeğinde gerçekleşen proseslerin çoğu aerosol boyut dağılımını çok az etkilemektedir. Bu etkinin tam olarak belirlenebilmesi için şu andaki veriler yeterli değildir.

### 2.2.3. Partikül Maddenin Kaynağına Göre Kimyasal Özellikleri

Partikül maddelerin kaynağı birincil ve ikincil kaynaklar olmak üzere ikiye ayrılır. Birincil (primary) partikül maddenin kaynağı, doğal faaliyetler (toprak, deniz ve okyanus yüzeyleri, volkanlar, orman yangınları vs.) ve antropojenik (insan faaliyeti) faaliyetlerdir. Partikül maddenin ikincil (secondary) kaynağı ise havada bulunan partiküllerin kimyasal ve fotokimyasal reaksiyonların sonucunda oluşturduğu partiküllerdir. İkincil partiküllerin içerisinde kükürt ( $\text{SO}_x$ ), azot oksitler ( $\text{NO}_x$ ), uçucu organik birleşikler ve diğer organik gaz kirleticiler; atmosferik oksijen ( $\text{O}_2$ ) ve su buharı ( $\text{H}_2\text{O}$ ); ozon ( $\text{O}_3$ ) gibi aktif parçacıklar; hidroksil ( $\cdot\text{OH}$ ) ve nitrat ( $\cdot\text{NO}_3$ ) radikalleri ve bunların hepsinin kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan karışımları bulunabilir (Wilson, 2002).

Kimyasal bileşimine göre partiküller dört ayrı sınıfta ifade edilebilir; deniz, kıta, kentsel ve stratosferik (İvlev ve Dovgalyuk, 2005).

Deniz parçacıklarının arasında genelde kloritler ( $\text{ClO}_2^-$ ), daha nadir olarak sülfatlar ve organik bileşikler bulunur. Deniz partikülleri, deniz kenarından uzaklaştığında miktarı azalır ve 5 km'nin üzerindeki yüksekliklerde bulunan partiküllere ise lokal ve denizden kaynaklanan partiküllerin etkisi yoktur. Partikül maddenin kimyasal içeriği konusunda yapılan çalışmalar genellikle kıtalar üzerinde yürütülen çalışmalardır. Bu çalışmalarda bulunan sonuçlarda bazı bileşiklerin konsantrasyonları şöyledir:  $\text{SiO}_2$ : %40-50,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : %15, Fe: %5,4-6,0,  $\text{CaO}$ : %2,4-0,9,  $\text{Na}_2\text{O}$ : %2-1,5,  $\text{K}_2\text{O}$ : %1,9-1,1,  $\text{MgO}$ : %1,5-1,2,  $\text{TiO}$ : %1,0-0,2,  $\text{MnO}$ : %0,08-0,05. Bu elementlerden başka Cu, Ba, Ni, Sc, Cr, Zn elementleri de yüksek miktarlarda tespit edilmiştir. Partiküllerin kimyasal bileşiminin atmosferdeki düşey olarak değişimine bakıldığında, yükseklik arttıkça inorganik partiküllerin içerisindeki çoğu elementin kütleli konsantrasyonlarında azalma olduğu görülmüştür. Fe gibi bazı elementler için bu geçerli değildir. Ancak silisyumu içeren parçacıklar yapısı nedeniyle üzerine başka parçacıkların yapışmasına izin verdiğinden büyüme eğilimindedir ve bu nedenle atmosferde yükseklik arttıkça  $\text{SiO}_2$ 'nin konsantrasyonu azalır (İvlev ve Dovgalyuk, 2005).

Bozkır, çöl ve dağ yüzeylerinde bulunan partiküllerin en önemli kaynağı topraktır. Denizden ve sanayii bölgelerden uzakta bulunan bölgelerdeki atmosferin alt kısımlarında bulunan partiküller toprak kaynaklıdır. Bazı değerlendirmelere göre atmosferdeki bütün partiküllerin %50'si topraktan kaynaklanmaktadır. Ancak, minerallerin ve diğer toprak ürünlerin dağılımının aynı olmamasından dolayı atmosferdeki partiküllerin kimyasal bileşimi de aynı değildir. Genel olarak, topraktan kaynaklanan partikül içinde arasında kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) ve silisyum bileşikleri, alümin ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), karbonatlar, kalsitler ve demir oksitler bulunur. Kaynağı toprak olan partikül maddelerin içinde organik kısım çok azdır, %10'den fazla değildir. Aerosollerin ve partiküllerin sayısı ve miktarı toz fırtınalarına bağlıdır (İvlev ve Dovgalyuk, 2005).

Kentsel partiküller, daha yüksek konsantrasyona sahip olması, dispersivitesi, parçacıkların mikro yapısı ve kimyasal bileşimi özellikleri ile doğal partiküllerden oldukça farklıdır (İvlev ve Dovgalyuk, 2005). Kentsel partiküller her türlü zararlı maddeleri içerebilir ve ikincil reaksiyonlar sonucunda oluşan yeni ürünler insan sağlığı için daha toksik ve zararlıdır.

Farklı kentsel bölgelerden alınan hava örnekleri genellikle aynı özellikleri içermesine rağmen kirletici oranları farklılıklar gösterebilir. Bu kirleticiler; (a) sülfat – daha çok atmosferdeki kükürt dioksidin oksidasyonu sonucunda oluşur; (b) nitrat, genelde atmosferik azot dioksidin ve amonyum nitrat oksidasyonu ile meydana gelir; (c) amonyum; (d) şehirden uzak olmasına rağmen klorid'in genel kaynakları deniz spreyleri, ve kış aylarında ise yol buz çözücü tuzlar; ayrıca, çöp yakma fırınlarından ve elektrik santrallerinden havaya atılan hidroklorik asit buharının amonyak nötrleştirmesinin sonucu olarak atmosferik partiküllere girer; (e) atomik ve organik karbonlar – çoğu kez egzoz gazı kaynaklı yarı-uçucu organik bileşiklerle kaplanmış yüzeyi olan çekirdek şeklindeki katı siyah atomik karbonu içeren siyah partiküllerdir ve günümüzde en önemli kaynağı trafiktir (Amann ve Siegl, 1982), ve giderek, düşük uçuculuğa sahip karbon bileşikleri atmosferik fotokimyasal proseslerin sonucu olarak, organik karbon partiküllerini oluşturabilir (Bowman ve s., 1997); (f) yerel jeolojiyi ve yeryüzey şartlarını yansıtır bileşimi tamamen farklı ve genelde kaba fraksiyonda olan, içerisinde toprak tozu ve rüzgardan dağılmış kaya kaynaklı mineraller bulunan yer kabuğundaki maddeler (Harrison ve s., 1997a); (g) biyolojik yapıları partiküller içerisinde

bakteriler gibi hem küçük organizmaları hem de spor, çiçek tozu ve selüloz bitki madde parçalarıdır. (Matthias-Maser ve Jaenicke, 1994). Bazı virüsler hariç biyolojik partiküller genel olarak kaba partikül boyutundadır (Harrison and Yin, 2000).

Troposferin ve stratosferin üst kısımlarındaki partiküllerinin kimyasal bileşiminde aerosol maddesinde bulunan  $\text{SO}_4^{2-}$  anyonu ve mineral maddelere ait Fe içerikleri daha yüksektir (İvlev ve Dovgalyuk, 2005).

#### **2.2.4. Partikül Maddenin Termodinamik Özellikleri**

Atmosfer ortamı bölünemez ve hareketli olmasından dolayı zor bir ortamdır. Atmosfer parçasını termodinamik bir sistem gibi düşünebiliriz. Böyle bir sistemde meteorolojik özellikler göz önüne alınarak, çeşitli kaynaklardan gelen ve atmosferde reaksiyonlar sonucunda oluşan ikincil kirletici partikül maddelerin hava kalitesine ve dolayısıyla yaşam kalitesine etkileri hesaplanabilir. Partikül taşınımını etkileyen sıcaklık (ısı akısı), basınç, nem, rüzgar ve diğer abiyotik faktörler dikkate alındığında partikül madde konsantrasyonunu mevsimsel ve bölgesel farklılıklara göre hesaplamak mümkün olur.

### **2.3. İNCE PARTİKÜL MADDENİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ**

Son yıllarda yapılan çalışmalarda iç ve dış ortamlarda bulunan partikül maddenin ve özellikle ince partikül maddelerin insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri fark edilmiştir (Schwartz, 1991; Delfino ve diğ., 1994; Donaldson ve diğ, 2001, 2002). Dolayısıyla, hem dış hem de iç ortamların havasında bulunan partikül maddelere maruz kalınması ciddi sağlık problemlerine sebep olmaktadır. Havadaki ince partikül maddelerin insan ömründe kısaltmaya neden olup olmadığı konusunda Amerika’da yapılan araştırmalar sayesinde, hava kirlenmesi nedeniyle meydana gelen sağlık etkilerinin ciddi boyutlarda olduğu anlaşılmıştır (Dockery DW, Pope CA 3rd, Xu X ve diğ., 1993; Pope CA 3rd, Thun MJ, Namboodiri MM ve diğ., 1995).

Hava kirleticilerle ilk temas havanın solunum yolları ile vücut içine alınmasıdır. İkinci maruz kalış ise deri ile temas etmesidir. Diğer taraftan, hava kirlenmesi gıdalar ve suyun kirlenmesine sebep olduğu için kirletici maddeler yeme yoluyla alındığında bazı

durumlarda ilk maruz kalış olarak değerlendirilir (Thron, 1996). Toksik maddelerin bir kısmı mide-bağırsak ve solunum sistemleri üzerinden genel dolaşıma girebilir, çeşitli dokuların içinde birikebilir ve kirleticilerin absorpsiyonu meydana gelebilir. (Madden and Fowler, 2000). Dolayısıyla, partikül madde kirliliğinden en çok solunum, kalp-damar, sinir, boşaltım, sindirim sistemleri etkilenmektedir.

### **2.3.1. İnsan Solunum Sisteminin Yapısına Göre Partiküllerin Dağılımı**

Üst solunum sistemi burun boşluğundan ve torakik kısımdan (nefes borusu), alt solunum sistemi ise bronşlardan ve akciğerlerden oluşur. Her bronş daha küçük, daha küçükler ise yine daha küçük bronşlara kadar bölünüp alveol olarak adlandırılan çok küçük ve çok sayıda olan hava keseleriyle son bulur (Masters, 1991).

Üst solunum sistemine giren büyük parçacıklar burun kıllarında ve yüzeyinde tutulanabilir. Tutulan parçacık öksürme veya hapşıрма sonucunda çıkabilir. Torakik kısma kadar ulaşan daha küçük partiküller balgam tarafından tutulabilir ve saç gibi olan çok küçük tüycüklerin yardımıyla boğaza geri verilip yutma veya tükürme sonucunda uzaklaştırılabilir. Yaklaşık olarak 10 µm'den daha büyük olan partiküller tamamen etkin biçimde bu koruma mekanizmasıyla üst solunum sisteminden uzaklaştırılır. Ancak, küçük partiküller sümüksü astarda tutunamayarak çoğu kez üst solunum sistemindeki çok sayıda bulunan kıvrım ve eğriliklerinden geçebilirler (Masters, 1991).

Sonuç olarak, partiküllerin boyutuna göre solunum sisteminde tutulacağı yerler bellidir: PM<sub>10</sub> üst solunum sisteminde tutulur, ince ve ultra-ince partiküller ise akciğer alveollarına ulaşabilir. Bu nedenle sağlık etkilerinin ne olduğunun ortaya çıkarılmasında partiküllerin boyutu ve yüzeyi, sayısı ve bileşiminin bilinmesi çok önemlidir.

California'daki Alpine şehrinde 19 astım hastası üzerinde yapılan bir grup çalışması ile, bu tip çalışmaların önemi vurgulanmıştır (Delfino ve diğ., 2004). İnsanların maruz kaldıkları kirletici konsantrasyonu ile olumsuz sağlık sonuçlarını ilişkilendiren grup çalışmaları şeklinde yürütülen yöntemler verilerin daha iyi değerlendirilmesini sağlamıştır. Ayrıca, bu tip çalışmalarla hassas insanların özellikle astımlıların ve kalp-

damar hastalığı olan kişilerin partikül madde kirlenmesinden daha çok etkilendiği tespit edilmiştir (Bates, 2005).

Kuzey Carolina'daki yapılan bir çalışmada saat 15:00'ten gece yarısına kadar olan vardiyada çalışan polislerin devriye arabalarının arka koltuklarına monte edilen cihazla  $PM_{2.5}$  ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerle aynı zamanda alınan elektrokardiyografik kayıtlar ve kan numunelerinde yapılan analizler sonucunda, kirliliğin düşük seviyelerinin bile ölçülebilir değişikliklere sebep olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılara göre bu gençler üzerinde yapılmış gözlemler araç içinde  $PM_{2.5}$ 'la maruz kalınması iltihap, pıhtılaşma ve kalp ritmi gibi patofizyolojik değişikliklere sebep olabileceği sonucu çıkarılmıştır (Delfino ve diğ., 2004).

#### 2.4. TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA MEVCUT PM STANDARTLARI

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından kabul edilen  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  standartları Tablo 2.5'te ve dünyanın çeşitli ülkelerinde mevcut olan  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  standartları ise Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.5 : Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) kabul ettiği PM standartları ( $\mu g/m^3$ )  
(WHO Air quality guidelines, 2005)

|                           | $PM_{10}$<br>(yıllık ort. ) | $PM_{10}$<br>(günlük ort.) | $PM_{2.5}$<br>(yıllık ort. ) | $PM_{2.5}$<br>(günlük ort.) |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Dünya Sağlık Örgütü (WHO) | 20                          | 150                        | 10                           | 25                          |

Tablo 2.6 : Dünyanın çeşitli ülkelerinde ve Türkiye'de kullanılan  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  standartları,  
( $\mu g/m^3$ ) (Bayraktar, Turalıoğlu ve Tuncel, 2008)

| Ülke                  | $PM_{10}$<br>(yıllık ort. ) | $PM_{10}$<br>(günlük ort.) | $PM_{2.5}$<br>(yıllık ort. ) | $PM_{2.5}$<br>(günlük ort.) |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Türkiye               | 40                          | 50                         | -                            | -                           |
| ABD                   | 50                          | 150                        | 15                           | 35                          |
| AB (şu an kullanılan) | 30                          | 50                         | 20                           | 40                          |
| AB (2010'a kadar)     | 20                          | 50                         | -                            | -                           |
| Hindistan             | 60                          | -                          | -                            | -                           |

|            |    |     |   |   |
|------------|----|-----|---|---|
| Avustralya | 50 | -   | - | - |
| İsviçre    | 20 | 50  | - | - |
| Slovenya   | 50 | 125 | - | - |
| Polonya    | 50 | 120 | - | - |

#### 2.4.1. ABD’de Partikül Madde ile ilgili Standartların Geçmişi ve Genel Bakış

California eyaleti dışında ABD’de emisyonlar ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , PM, CO ve HC) için belirlenen standartlar Amerika Çevre Koruma Örgütü (US EPA) tarafından belirlenmektedir.

EPA’da ilk partikül kirlenmesinin göstergesi toplam asılı partikül madde’ydi (TPM). TPM, 1970 yılında EPA tarafından onaylandı ve 1971 yılında ilk US EPA Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartı (NAAQS) koyulan 24-saatlik standardı  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’den  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ye düşürüldü, yıllık ortalama standart değeri ise aynı,  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak kaldı. Ancak, 1979’da ortalama aerodinamik çapı 10 mikron’dan daha küçük yada eşit olan partikül madde olarak ( $\text{PM}_{10}$ ) kabul edildi ve ilk NAAQS  $\text{PM}_{10}$  24-saatlik standart  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  değeri 1987 yılında kabul edilmiştir. Bu değer 18 Aralık 2006’ya kadar aynı kalmış, yıllık standart değer ise  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak değiştirilmiştir. 1987 yılından itibaren çeşitli kentlerde yapılan araştırmalarda, günlük ölüm oranı (özellikle kalp ve solunum hastalıklarına bağlı) ve bir gün önceki  $\text{PM}_{10}$  seviyeleri arasında anlamlı ilişkiler olduğu görülmüştür. Hava kirliliğinin etkilerini göstermek için yapılan daha önceki araştırmalar farklı hava kalitesine ait olan bölgelerde yaşayan farklı nüfus arasında yapılan karşılaştırmalara dayanırdı. Bu metot insanların sağlık durumu, sigara içme alışkanlıkları, sosyal-ekonomik durumu, işi, yaşadığı evleri vs. gibi etkenleri dikkate aldığından dış çevredeki hava kalitesinin etkisini tam olarak yansıtamıyordu. Daha sonra yapılan araştırmalarda ise bazı sağlık sonuçları ve çevre kirliliği arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur. Ayrıca, Amerika’da iş ortamında sigara içme alışkanlığı ile ilgili iki büyük araştırmada bulunan sonuçlar hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymuştur. Başka bir araştırmada da havadaki partikül ve gaz kirletici miktarları değiştiğinde astım gibi rahatsızlığı olan kişilerin sağlık durumlarında ve akciğer fonksiyonlarında günlük oynamalar tespit edilmiştir (Bates, 2005).

PM<sub>2.5</sub> için ilk NAAQ standardı 1997 yılında günlük ortalama değeri 65 µg/ m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir. 18 Aralık 2006'da bu değer 35 µg/ m<sup>3</sup> olarak değiştirilmiş ve yıllık ortalama değeri ise aynı, 15 µg/m<sup>3</sup> olarak kalmıştır.

#### 2.4.2. Avrupa Birliği'nde Partikül Madde ile ilgili Standartların Geçmişi ve Genel Bakış

Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde hem bölgesel hem de küresel çevrenin ve insan sağlığının korunması ve aynı zamanda yükseltilmesi hedefi ile hava kirliliğini azaltmak için çevre alanında hava kirleticilerin konsantrasyonlarında ortak standartlar kullanılmaktadır. Bu kapsamda, motorlu taşıtlar hava kirleticilerin önemli bir kaynağı olduğundan emisyonlarını azaltmak amacıyla 1993 yılında ilk egzoz emisyonları standardı olan Euro 93 (Euro I)'ü kabul etmiş, daha sonra 1996'da Euro 2, 2000'de Euro 3, 2004'te Euro 4, 2007'de Euro 5 standartlarının uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir. Benzinli ve dizel taşıtlar için, bir de araba türlerine göre partikül madde ve diğer kirleticilerin sınır değerleri ayrı olmaktadır. Egzoz emisyonunda PM<sub>2.5</sub> değerinin Mayıs 2008'den itibaren ölçülmesi gereği Avrupa Birliği direktiflerine girmiştir. Ancak PM<sub>2.5</sub> kriteri eşik değeri olarak değil sadece hedef değer olarak kullanılmaktadır. Genel olarak, ince partiküllerin sınır değerleri PM<sub>10</sub>'a dayanarak ikisi için PM olarak verilir. Örneğin, binek arabalardaki PM değerlerinin her yeni standart ile değişimi Tablo 2.7'de verilmiştir. Standart değerler g/km, yani aracın aldığı mesafeye göre meydana gelen emisyonun kütlesi olarak verilmektedir. Yeni üretilen arabaların tümü Euro standardına uygun olmaktadır.

Tablo 2.7 : Avrupa Birliği ülkelerinde partikül madde dizel ve benzin içindeki sınır değerleri (g/km) ([http://en.wikipedia.org/wiki/European\\_emission\\_standards](http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards))

| Standart    | Tarih | Dizel (g/km) | Benzin (g/km) |
|-------------|-------|--------------|---------------|
| Euro 1      | 1992  | 0.14 (0.18)  | -             |
| Euro 2, IDI | 1996  | 0.08         | -             |
| Euro 2, DI  | 1996  | 0.10         | -             |
| Euro 3      | 2000  | 0.05         | -             |
| Euro 4      | 2005  | 0.025        | -             |

|        |      |       |       |
|--------|------|-------|-------|
| Euro 5 | 2009 | 0.005 | 0.005 |
| Euro 6 | 2014 | 0.005 | 0.005 |

AB’de genel hava kalitesi standartları  $PM_{10}$  için yıllık ortalama değeri  $40 \mu g/m^3$ , günlük ortalama değeri ise  $50 \mu g/m^3$ ’tür (bir yıl boyunca 35 kereden fazla aşılması gereken değer) (AB, 2008).

AB tarafından gerçekleştirilen Avrupa için Temiz Hava projesi (CAFE - Clean Air for Europe)’nde  $PM_{2.5}$  kirlenmesinin bir sene içinde 350 000 ölüme ve 190,000–700,000 milyon euro parasal kayba sebep olduğu saptanmıştır (Watkiss ve diğ., 2005).

#### **2.4.3. Diğer Ülkelerde Partikül Madde ile ilgili Standartların Geçmişi ve Genel Bakış**

Avrupa ülkeleri ve Amerika Birleşik Devleti dışında olan ülkeler ekonomik açıdan gelişmekte olan ülkeler olduğundan çevre problemleri de büyük ölçüde mevcuttur. Kirleticiler için belirlenen standartlar ise ya hiç yoktur ya da değerler yüksektir. Örneğin, en büyük ve ekonomisi hızla büyüyen Çin’in Ulusal Çevre Hava Kalitesi Standartları içinde ince partiküller için gerekli standartlar yoktur (Chan ve Yao, 2007).

#### **2.5.4. Türkiye’de Partikül Madde ile ilgili Standartların Geçmişi ve Genel Bakış**

Türkiye, AB’nin bir aday ülkesi olup tam olarak çevre politikasını benimsemiş ve farklı alanlarda uygulamalara başlamıştır. Dolayısıyla, hava kirliliğini azaltmak için emisyonlar ile ilgili çıkan Euro standartları Türkiye’de kabul edilmiştir. Bu çerçevede hazırlanan ‘Trafikte Seyreden Motorlu Kara Taşıtlarından Kaynaklanan Egzoz Gazı Emisyonlarının Kontrolüne Dair Yönetmelik’ 8 Temmuz 2005 tarihinde yayımlanmıştır. Bu yönetmelik ile de egzoz emisyonlarının ölçülmesi ve denetlenmesi kapsamında teknik ve ölçüm istasyonlarına ilişkin düzenlemeler getirilmiştir. Türkiye’de motorlu araçlarda kullanılan benzin ve motorinin Avrupa Birliği normlarında üretilmesi için ‘Benzin ve Motorin Kalitesi Yönetmeliği’ 11 Haziran 2004

tarihinde yayımlanmıştır. Bu yönetmelik ile 2005, 2006 ve 2007 yıllarından itibaren kurşunlu benzindeki kurşun ve kükürt oranları belli ve daha az miktarda olması mecburidir. Genel hava kalitesi standartları ile ilgili olan ‘Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’ Haziran 2008’de kabul edilmiştir. Bu yönetmeliğe göre kısa vadeli (günlük ort.)  $PM_{10}$  değeri 50, uzun vadeli (yıllık ort.)  $PM_{10}$  değeri ise  $40 \mu g/m^3$  olarak belirlenmiştir. Buradaki hava kalitesi sınır değerleri aşılmaması gereken bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalamasıdır (Kose, 2008).

Özellikle İstanbul’un nüfusundaki ve motorlu taşıt sayısındaki hızlı artış ve kalitesiz yakıt kullanımı nedeniyle 1980’li yıllardan itibaren hava kirliliği hissedilmeye başlanmıştır. Kullanılan araçların da kötü bakım, bilinçsiz kullanma ve bir çok kısmının çok eski oluşları nedeniyle kirletici özellikleri bir kat daha artmaktadır (Mangır ve diğ., 2008).

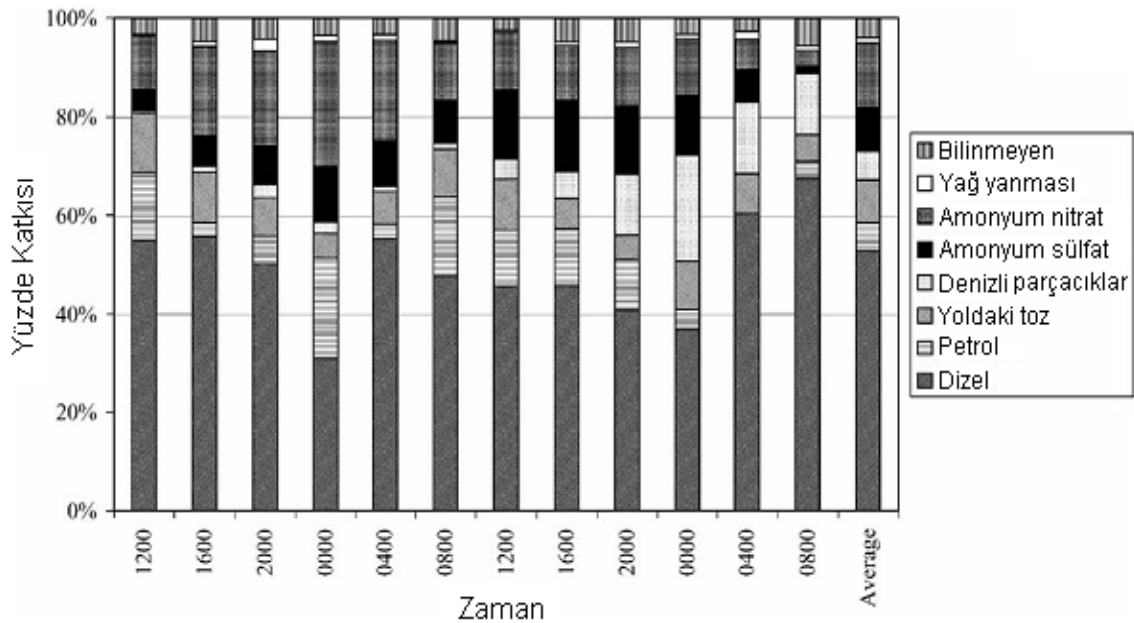
Türkiye hava kalitesinin izlenebilmesi için öncelikle hava kirliliğinin yoğun olduğu illeri dikkate alarak 2004 yılında yapmış olduğu ihale sonucunda toplam 36 ilde hava kirliliği ölçüm istasyonu kurmuştur. 2005 yılında kurulan hava kirliliği ölçüm istasyonlarında öncelikle en yaygın kirleticiler olan ve ağırlıklı olarak yakıt kullanımından kaynaklanan kükürt dioksit ( $SO_2$ ) ve partikül madde ( $PM_{10}$ ) parametrelerinin ölçümleri tam otomatik olarak yapılmaktadır. Mevcut Hava Kalitesi İzleme Ağı’nın 81 ile yaygınlaştırılması kapsamında 2006 yılında yapılan yeni bir ihale ile 45 ilde daha hava kalitesi ölçüm istasyonu kurulmuş olup bugün itibarıyla 81 ilde tam otomatik olarak  $SO_2$  ve  $PM_{10}$  ölçümü yapan hava kalitesi ölçüm istasyonları mevcuttur (Mangır ve diğ., 2008). Ancak, bu hava istasyonlarında  $PM_{10}$  ölçülürken trafik kaynaklı kirlenmeyi gösteren  $PM_{2.5}$  ölçümleri yapılmamaktadır.

## **2.5. TRAFİK EMİSYONU KONUSUNDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR**

### **2.5.1. ABD’de Trafik Kaynaklı Kirlenme Konusunda Yapılmış Araştırmalar**

Çevresel veriler ve kaynak tanımlama ile ilgili çalışmaların sonuçlarına dayanarak hareketli kaynakların çevredeki  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$ ’un en büyük kaynağı olduğu söylenebilir (Gertler ve diğ., 2000). Direkt hareketli kaynaklardan (egzoz, araba lastik ve frenlerinin

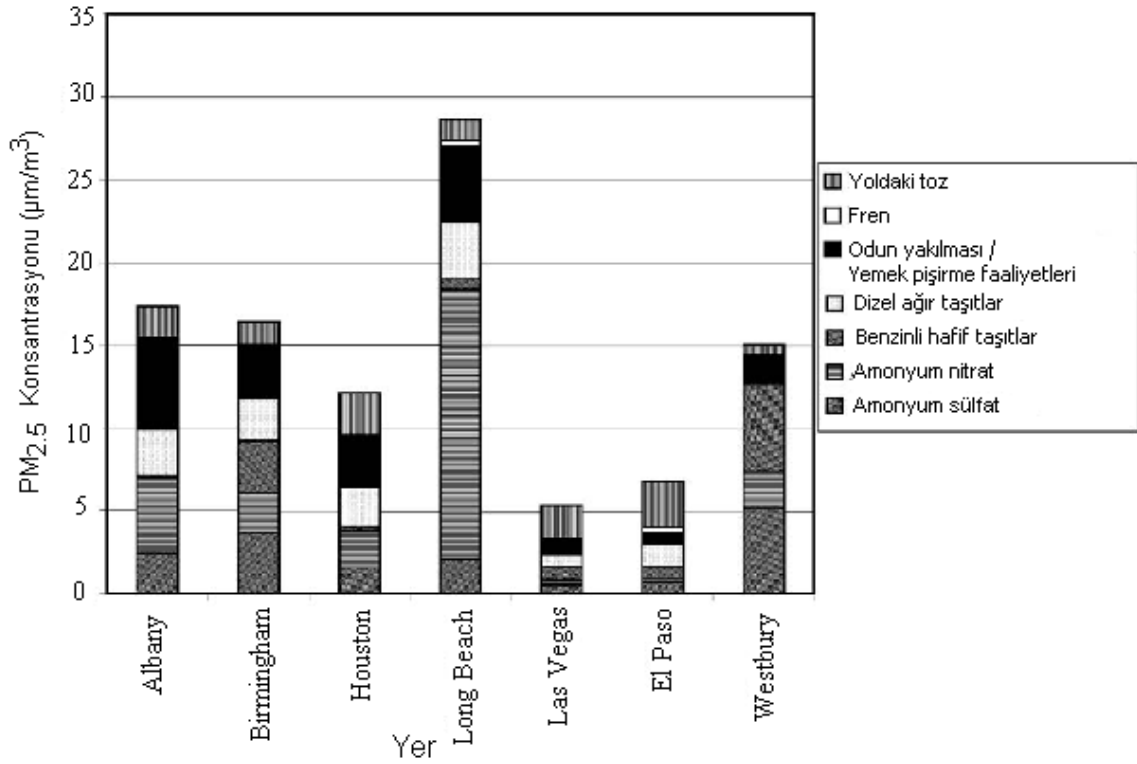
aşınması) verilen PM emisyonlarının çoğu  $PM_{2.5}$  fraksiyon boyutunda dır (Riediker ve diğ., 2004). ABD'deki ulaşım araçların çoğunluğu binek otomobiller ve bunların çoğu benzinlidir. Hangi yakıt türünün egzoz emisyonuna daha fazla katkısı olduğu konusunda yapılan araştırmalarda farklı sonuçlar bulunmuştur. EPA'daki araştırmalara göre %68 emisyonlar dizel ve %32 benzin kaynaklı, ancak California'da yapılan araştırmalarına göre onların %32'si dizel ve %68'i benzin kaynaklıdır (Riediker ve diğ., 2004). Örneğin, Wittorff ve diğ. (1994) tarafından New York'ta trafik kaynaklı kirleticilerin belirlenmesi amacıyla yapılan yoğun bir ölçüm çalışmasının sonuçlarına göre dizel yakıtlı otobüslerin kirlenmeye katkısının çok büyük olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : New York'taki trafiğin yoğun olduğu bir alanda yapılan araştırmanın sonuçları Nisan (Wittorff ve diğ., 1994).

Çevredeki  $PM_{2.5}$ 'a hareketli kaynakların katkısının önemini Denver'de yapılmış olan ve Kuzey Ön Alan Hava Kalitesi çalışması olarak bilinen, daha uzun zamanlı ve daha geniş kapsamlı araştırma yansıtmaktadır (Fujita v diğ., 1998). Bu araştırmada gözlenen kış dönemindeki  $PM_{2.5}$ 'un % 38'i hareketli kaynaklara aittir. Bu araştırmadan çıkan bir başka önemli bulgu, benzin yakıtlı araçlardan çıkan  $PM_{2.5}$  katkısının dizel kullanan araçlardan daha fazla olduğudur. Clayton ve diğ. (2003) tarafından ABD'deki yedi farklı kentsel bölgede  $PM_{10}$  ve  $PM_{2.5}$  ölçümleri yapılmıştır. Bölgeden bölgeye

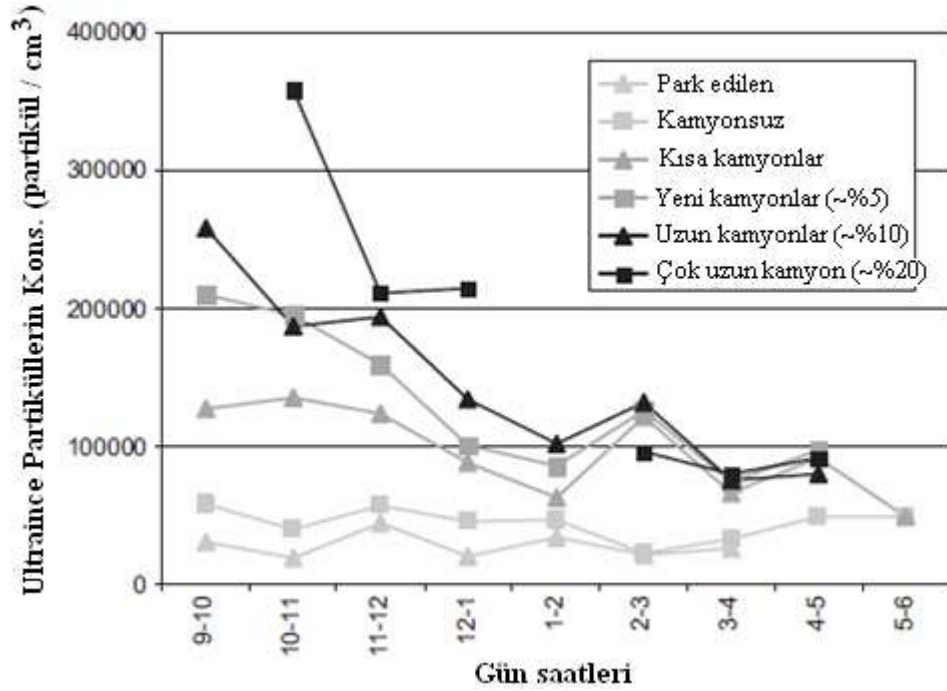
farklılıklar bulunsa da birincil hareketli kaynaklı emisyonların tüm bölgelerde önemli oranda katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Long Beach bölgesinde ise en yüksek seviyeler izlenmiş ancak hareketli kaynakların katkısının düşük olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca  $PM_{2.5}$  içinde yüksek miktarda amonyum nitrat bulunduğu ve bunun sebebinin motorlu araçlardan çıkan  $NO_x$ 'in oksidasyonu olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.5 :  $PM_{2.5}$ 'un ABD'de yedi farklı şehir için kaynak belirleme çalışmasının sonuçları (Clayton ve diğ., 2003).

Fruin ve diğ. tarafından (2008) Los-Angeles'te yapılan araştırmada hareketli kaynaklardan verilen egzoz gazlarının etkisini bulmak amacıyla Toyota RAV4 aracına partikül madde konsantrasyonu ölçüm cihazı ve partikül madde sayıcı yerleştirilmiş, trafiğe bağlı olarak hava kirleticilerin yüksek konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu ölçüde iki farklı yol güzergahı (anayol ve otoban) ve aracın yakıt türü (dizel ya da benzin) dikkatle alınmıştır. Otobanda araç hızı, hızlanması, yolda hareket eden araç tipi, yolun tipi ve mevcut olan trafik akışı da dikkate alınarak veriler kaydedilmiştir. Otobanda ölçülen ultraince partiküllerin konsantrasyonu oldukça yüksek bulunmuştur. Gün içinde saate ve araç sayısına göre partiküller ve diğer kirleticilerde %60-70 oranında

değişiklikler sebep olduğu tespit edilmiştir. Takip eden araç tipi, trafiğin yoğunluğu, hız ve hızlanma parametreleri konsantrasyonlarda farklılıklara yol açmıştır.



Şekil 2.6 : Kamyonların yoğunluğuna ve saatine göre hafta içi ultra ince partiküllerin miktar konsantrasyonları, 4 günlük ortalamaları (Fruin ve diğ., 2007).

### 2.5.2. AB’de Trafik Kaynaklı Kirlenme Konusunda Yapılmış Araştırmalar

Londra’da 2003 yılında DAPPLE (Dispersion of Air Pollution and Penetration into the Local Environment) (Kaur ve diğ., 2006) isimli bir proje yürütülmüştür. Bu projede çeşitli ulaşım türlerinde (yaya, bisiklet, otobüs, araba ve taksi) ultrafine partiküller konusunda bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırmanın sonuçlarına göre yaya olarak en yüksek konsantrasyonlar trafiğin yoğun olduğu noktalarda dururken veya yürürken; en düşük konsantrasyonlar ise trafiğin az olduğu arka sokaklarda tespit edilmişti. Otobüs durağında otobüsü bekleyen insanların da arabalar geçtiğinde partiküllerin yüksek konsantrasyonlarına maruz kaldığı ve otobüs duraklarının emisyonlardan korunma bakımından herhangi bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Otobüs içindeki havanın iç ortama ve dış ortama bağlı olduğu ve yolcunun maruz kalışının otobüsün içinde yerleşimine göre değiştiği ve yolcuların sayısı arttınca daha yüksek olduğu sonuçları

bulunmuştur. Dış ortama sürekli açılan kapıların yakınında oturanların daha çok etkilenmekte olduğu belirtilmiştir.

Milan'da (İtalya) (Lonati ve Giugliano, 2006) trafik ile PM konsantrasyonu arasında ilişkiyi belirlemek için trafiğe maruz kalınan yerlerde özellikle 0,5 ve 5  $\mu\text{m}$  çap aralığındaki partiküllerin konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, sıcak ve soğuk mevsimlerde yapılmış ölçümlere göre kışın hem hafta sonu hem de hafta içi veriler yaz mevsimine göre daha yüksek, ancak genel olarak, hafta içi PM konsantrasyonları daha yüksek bulunmuştur.

Krakow'da (Polonya) yapılan bir araştırmaya göre ince partiküllerin %53-68'inin trafikten kaynaklandığı belirlenmiştir. Ancak, yoldan 200-270 m uzaklıktaki ince partikül konsantrasyonu daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu olay ince partiküllerin az çökmesine bağlı olarak ve yerel türbülansla (yanma sonucunda oluşan egzoz gazının çıkış hızı ve yerel sıcaklık değişimleri) ilgili olup ince partiküllerin hızının artmasına ve böylece, yakın alanlarında çökmemesine sebep olduğu sonucuna varılmıştır (Watkiss ve diğ., 2005).

### **2.5.3. Diğer Ülkelerde Trafik Kaynaklı Kirlenme Konusunda Yapılmış Araştırmalar**

Chan ve diğ. (2002) Guangzhou'da kentsel bölgelerde havalandırılmalı ve havalandırmasız taksi ve otobüste  $\text{PM}_{2.5}$  konsantrasyonlarını incelemek amacıyla bir araştırma yapmıştır. Bu araştırmaya göre ortalama değerler kliması olmayan ulaşım türlerinde daha yüksek; en yüksek- klimasız otobüsteki  $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , klimasız takside –  $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , klimalı otobüste –  $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ve klimalı takside –  $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bulunmuştur (Chan ve Yao, 2008).

Mexico'da 2002'de (Gomez-Perales ve diğ., 2004) minibüs, belediye otobüs ve metroda yolcuların maruz kaldığı ince partikül maddeyi belirlemek amacıyla sabah ve akşam pik saatlerde yapılan ölçümlerin sonucunda bulunan  $\text{PM}_{2.5}$  konsantrasyonları 12 ve  $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$  arasında değişmiştir. Buradaki en düşük değerler minibüste akşam saatinde

alınmış ve genel olarak seçilen ulaşımındaki akşam en yüksek değerler metro için kaydedilmiştir.

#### **2.5.4. Ülkemizde Trafik Kaynaklı Kirlenme Konusunda Yapılmış Araştırmalar**

Ülkemizde yapılan çalışmalara baktığımızda trafik kaynaklı emisyonlara kişisel maruz kalış konusunda yapılmış çalışmaların çok az olduğu görülmektedir. Atımtay ve arkadaşları (2000) tarafından Ankara’da yapılan bir çalışmada trafik polislerinin karbon monoksit maruz kalışı belirlenmiştir. Dış ortamdaki CO seviyeleri ile mikro CO ölçer ile polislerin soludukları havadaki CO maruz kalışı tespit edilmiştir. 6 saatlik vardiya süreleri boyunca trafik polislerinin soludukları havadaki CO seviyelerinin oldukça değişken (0.23 ppm - 54.5 ppm) olduğu saptanmıştır. Taşıt emisyonları ile ilgili diğer bir çalışma Dinçer ve Elbir (2007) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada kişilerin maruz kaldığı kirlenmeler değil, Türkiye genelinde demiryolu taşıtlarından kaynaklanan egzoz emisyonları; HC, CO, NO<sub>x</sub>, PM ve CO<sub>2</sub> hesaplanmıştır.

### **3. MALZEME VE YÖNTEM**

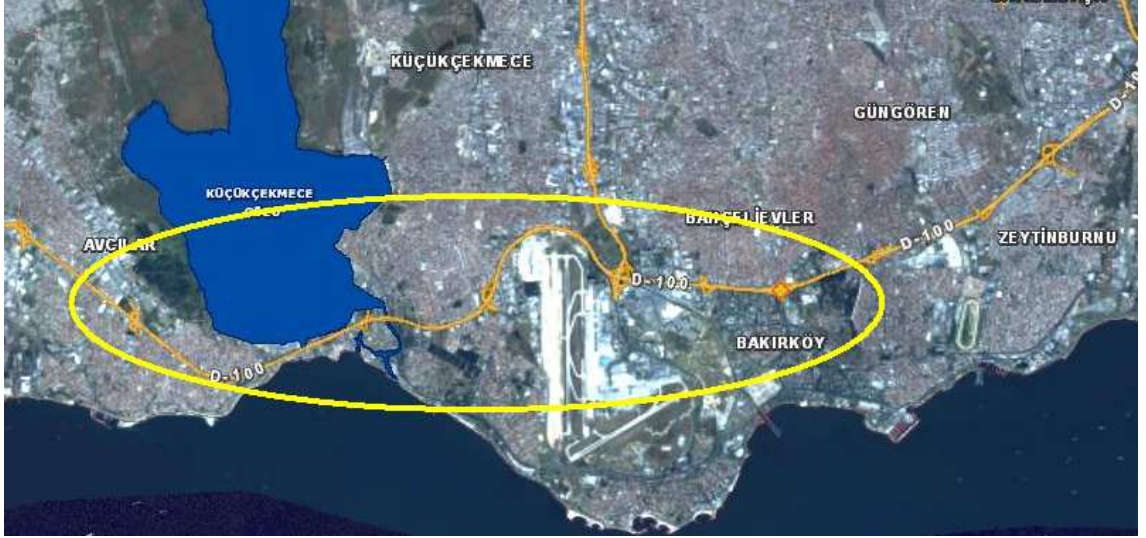
Bu çalışmada İstanbul’da trafiğin yoğun olduğu yerlerde insanların gün içinde kullandıkları ulaşım türlerinde maruz kaldıkları ince partikül madde (PM<sub>2.5</sub>)

konsantrasyonları ve partikül maddenin boyut dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı ulaşım türleri olarak İstanbul'da en çok tercih edilen ulaşım türlerinde gerekli ölçümler yapılmıştır. Ulaşım taşıt türleri olarak özel araç, metrobüs klimalı ve belediye otobüsü (klimasız) ve metro'da (klimalı) çalışmalar yürütülmüş, ayrıca yaya olarak ulaşımda maruz kalınan konsantrasyonlar belirlenmiştir. İstanbul'un yoğun taşıt trafiğine sahip Avcılar-Şirinevler bölgesi içinde E5 karayolu güzergahında yürütülmüştür. Metro ölçümleri dışındaki saha çalışmasının yürütüldüğü bölgenin genel görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir. Metro'da yapılan çalışma Aksaray-havalimanı Hafif Metro hatı (M1) ile Taksim-4.Levent hattında (M2) tren içinde ve makinist kabininde yapılmıştır.

Bu çalışmada ince partikül madde ( $PM_{2.5}$ ) ve partikül sayım ölçümleri yapılmıştır. Özel araç, metrobüs, belediye otobüsü için ve yaya olarak yapılan saha ölçüm çalışmaları 08 Ekim 2008 ve 15 Kasım 2008 tarihleri arasında yapılmıştır. Trafik yoğunluğunun kişisel maruz kalışa etkisini belirleyebilmek için gün içinde trafiğin yoğun olduğu (sabah 08:30-11:00) ve trafiğin yoğun olmadığı (öğle: 11:30-14:00) 2 farklı zaman diliminde çalışma yürütülmüştür.  $PM_{2.5}$  konsantrasyonlarını belirlemek için portatif ve anlık ölçüm yapabilen pDR-1200 (personal DataRAM) kullanılmıştır. Partikül sayımları için yine portatif ve anlık ölçüm yapabilen Handheld 3016 model partikül sayıcı kullanılmıştır. Metro'da M1 ve M2 hatlarında yapılan ölçümlerde sadece  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları belirlenmiştir. Tren içinde yapılan ölçümler M1 hatında 28 Nisan 2008, 29 Nisan 2008 ve 31 Nisan 2008'de, M2 hatında ise 03 Ocak 2008, 13 Ocak 2008 ve 17 Ocak 2008'de gerçekleştirilmiştir. Cihazların çalışma prensipleri Bölüm 3.2'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

### **3.1. ÇALIŞMANIN YAPILDIĞI ULAŞIM TÜRLERİ VE GÜZERGAHLARI**

Çalışmanın yürütüldüğü Avcılar-Şirinevler arasındaki bölge Şekil 3.1'de verilmiştir. Çalışma özel araç (araba), metrobüs, belediye otobüsü (klimasız kırmızı otobüsler) içinde ve yaya olarak yapıldı.



Şekil 3.1: Çalışmanın yapıldığı bölge

### 3.1.1. Özel Araç (Araba)

Özel araç içinde yapılan ölçümler trafiğin yoğun olduğu ve yoğun olmadığı saatler içinde 8, 15, 26, 30 Ekim ve 8, 9, 11 Kasım 2008 tarihlerinde yapılmıştır. Özel araç için çalışma rotasının başlangıç noktası Avcılar üniversite kampüsü ve bitiş noktası Şirinevler üst geçidi olarak belirlenmiştir. Avcılar – Şirinevler rotasında özel aracın kliması dış hava sirkülasyonu ile çalışır durumda (ortalama havalandırma - 2 derecede) bırakılmış ve ölçümler yapılmıştır. İlk rota tamamlandığında ikinci rota ve dönüş rotası olarak Şirinevler üst geçit – Avcılar üniversite kampüsü seçilmiştir (Şekil 3.2). İkinci rotada seyrederken özel aracın kliması iç hava sirkülasyonu ile çalışır durumda (ortalama havalandırma - 2 derecede) iken ölçümler yapılmıştır. Her iki durumda da camlar kapalı tutulmuştur. Özel araç ile yapılan ölçümlerde sabah ölçümleri 08:35-11:04 saatleri arasında ve öğlen ölçümleri 11:32-13:22 saatleri arasında tamamlanmıştır.



Şekil 3.2: Özel araç ile takip edilen Avcılar İ.Ü.-Şirinevler kavşağı ve Şirinevler kavşağı-Avcılar İ.Ü. güzergahı

### 3.1.2. Metrobüs

2007 yılında açılan Avcılar-Topkapı hat arasının güzergah uzunluğu yaklaşık 19 kilometre, istasyon sayısı ise 14'tür. Metrobüs ile Avcılar - Topkapı arasında günde tek yönde yaklaşık 270 bin kişi taşınmaktadır. 2008'de bu hat Zincirlikuyu'ya kadar genişletilmiştir. Topkapı-Zincirlikuyu arasının uzunluğu 10,3 kilometredir. Bu güzergahta 10 istasyon bulunmaktadır ve günde tek yönde yaklaşık 400 bin kişi taşınmaktadır (<http://www.tumgazeteler.com/?a=4085014>).

Metrobüs içinde yapılan ölçümler trafiğin yoğun olduğu saatler içinde 8, 10, 13, 15, 22, 30 Ekim 2008 ve 3 Kasım 2008 tarihlerinde ve yoğun olmadığı saatler içinde 8, 10, 15, 17, 22, 30 Ekim 2008 ve 3 Kasım 2008 tarihlerinde yapılmıştır. Metrobüs için çalışma rotasının başlangıç noktası Avcılar metrobüs son durağı ve bitiş noktası Şirinevler Metrobüs durağı olarak belirlenmiştir. Metrobüs güzergahı Şekil 3.3'de, metrobüsün genel görünüşü ise Şekil 3.4 (a-c)'de verilmiştir. Avcılar – Şirinevler rotasında metrobüsün kliması metrobüs şoförünün verdiği bilgi doğrultusunda dış hava sirkülasyonu ile çalışır durumda ölçümler yapılmıştır. 8, 15 ve 30 Ekim 2008 tarihlerinde yapılan ölçümlerde Avcılar-Şirinevler rotası tamamlandığında ikinci rota ve dönüş rotası olarak Şirinevler Metrobüs durağı– Avcılar Metrobüs durağı seçilmiştir (Şekil 3.3). İkinci rotada seyrederken metrobüsün kliması yine dış hava sirkülasyonu ile

alışır durumda iken ölçümler yapılmıştır. Her iki durumda da camlar kapalı durumdadır. Metrobüs içinde yapılan ölçümler 2 farklı metrobüs modelinde (yeşil metrobüs (Citaro) ve gri metrobüs (Capacity)) gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.2’de metrobüs modeli ve özellikleri verilmiştir. Metrobüs ile yapılan ölçümlerde sabah ölçümleri 08:55-10:56 saatleri arasında ve öğlen ölçümleri 11:24-14:10 saatleri arasında tamamlanmıştır.

Tablo 3.1 : Metrobüsün teknik zellikleri

| Metrobüs markası | Model    | Motor Gücü (BG) | Aracın retim yıl |
|------------------|----------|-----------------|-------------------|
| Mercedes-Benz    | Citaro   | 285             | 2007              |
| Mersedec-Benz    | Capacity | 354             | 2007              |



şekil 3.3: Avcılar-şirinevler ve şirinevler-Avcılar Metrobüs güzergahı



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.4 (a-c): Metrobüsün genel görünüşü  
 (a-b) (<http://www.iETT.gov.tr/metin.php?no=192>)  
 (c) (<http://www.ntvmsnbc.com/news/458323.asp>)

### 3.1.3. Belediye Otobüsü

Belediye otobüsü (kırmızı otobüs) içinde yapılan ölçümler trafiğin yoğun olduğu saatler içinde 10, 13, 17, 22 Ekim 2008 ve 7, 11, 12, 13, 16 Kasım 2008 tarihlerinde ve yoğun olmadığı saatler içinde 10, 14, 17, 22 Ekim 2008 ve 3, 7, 11, 12, 13, 14 Kasım 2008 tarihlerinde yapılmıştır. Belediye otobüsü için çalışma rotasının başlangıç noktası Yenibosna otobüs durağı ve bitiş noktası Sefaköy otobüs durağı olarak belirlenmiştir (Şekil 3.5). Bu rotada çalışan otobüslerin bir kısmında klima mevcut değildir. Bir kısmında ise sonradan takılan klimalar mevcuttur. Ancak ölçümler sırasında klima bulunan otobüslerde de klima çalıştırılmamıştır. Belediye otobüsünün genel görünüşü Şekil 3.6’te verilmiştir. Belediye otobüsü ile yapılan ölçümlerde sabah ölçümleri 09:21-11:06 saatleri arasında ve öğlen ölçümleri 12:01-13:55 saatleri arasında tamamlanmıştır.



Şekil 3.5: Belediye otobüs ile takip edilen güzergah – Yenibosna otobüs istasyonu-Sefaköy otobüs durağı (Küçükçekmece Belediye Başkanlığı)



Şekil 3.6: Belediye otobüsünün genel görünüşü

[http://wowturkey.com/t.php?p=tr154/simon\\_85\\_226.jpg](http://wowturkey.com/t.php?p=tr154/simon_85_226.jpg)

#### 3.1.4. Yaya

Yaya olarak yapılan ölçümler trafiğin yoğun olduğu saatler içinde 10, 13, 22 Ekim 2008 ve 7, 11, 12, 13, 16 Kasım 2008 tarihlerinde ve yoğun olmadığı saatler içinde 10, 17, 22 Ekim 2008 ve 3, 7, 11, 12, 13, 14 Kasım 2008 tarihlerinde yapılmıştır. Yaya için çalışma rotasının başlangıç noktası Şirinevler otobüs durağı ve bitiş noktası Yenibosna otobüs durağın yanında olan Total petrol istasyonu olarak belirlenmiştir (Şekil 3.7 (a-b)). Yaya ile yapılan ölçümlerde sabah ölçümleri 08:41-10:28 saatleri arasında ve öğlen ölçümleri 11:40-13:29 saatleri arasında tamamlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.7. (a-b): Yaya olarak takip edilen güzergah: Şirinevler otobüs durağı-Yenibosna otobüs durağı (Total petrol istasyonu)

### 3.1.5. Metro

Metroda M1 (Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı) ve M2 (Taksim-4.Levent Metro Hattı) hatlarında tren içinde ve makinist kabininde  $PM_{2.5}$  ölçümleri yapılmıştır. Her 2 hat boyunca tren içinde 3 gün süre ile ve günde 3 kere (sabah, öğle ve akşam) ölçüm yapılmıştır. M1 hattındaki ölçümler 28 Mart 2008, 29 Mart 2008 ve 31 Mart 2008’de , M2 hattındaki ölçümler ise 03 Ocak 2008, 13 Ocak 2008 ve 17 Ocak 2008’de yapılmıştır. Sabah ölçümleri saat 7:30-9:30, öğle ölçümleri 12:00-14:00 ve akşam ölçümleri 18:00-20:00 saatleri arasında yapılmıştır.  $PM_{2.5}$  kayıtları 30 saniyede bir yapılmış ve her hat için günlük ortalama değerler hesaplanmıştır.

Metro’da makinist kabini içinde yapılan ölçümler M1 Hattı’nda 03 Nisan 2008, 04 Nisan 2008 ve 05 Nisan 2008’de, M2 hattında 24 Ocak 2008, 25 Ocak 2008 ve 26 Ocak

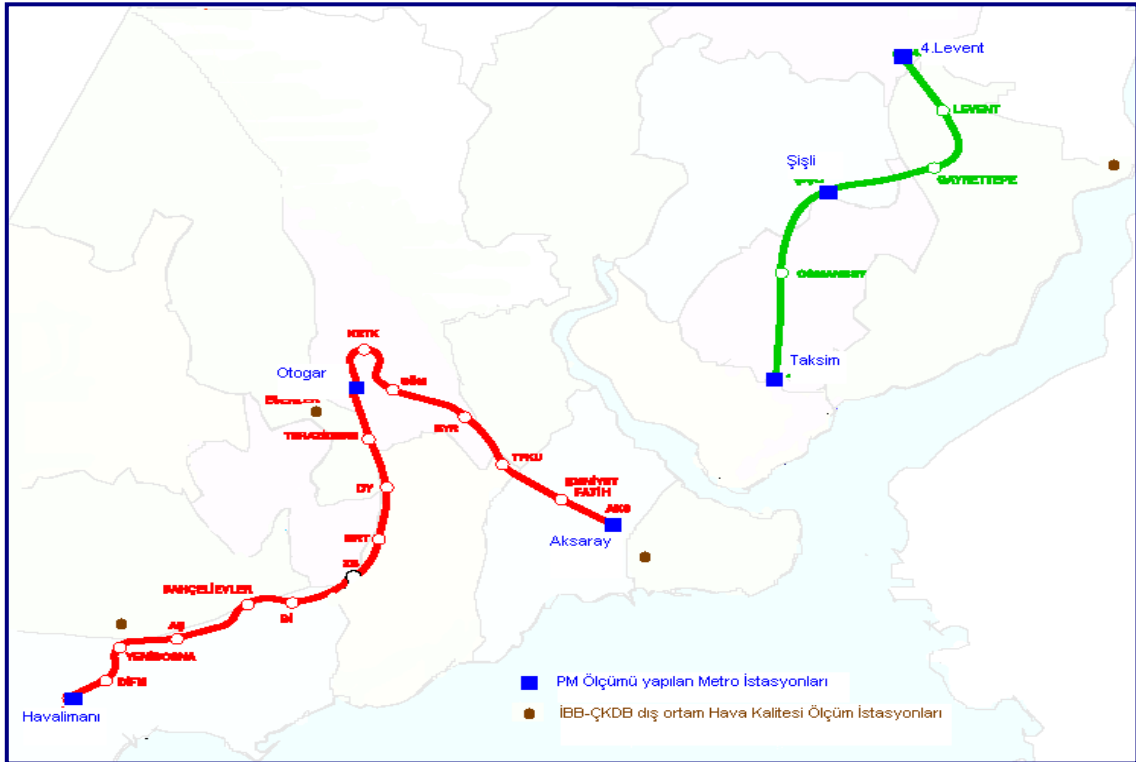
2008 tarihlerinde yapılmıştır. M1 ve M2 hattında ölçümler 08:00-24:00 saatleri arasında yapılmıştır.

### 3.1.5.1. M1 Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattının Özellikleri

Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattı 1989 yılından beri kullanılmakta olup toplam uzunluğu 19,6 km, hat üzerindeki istasyon sayısı 18’dir. Bu hatta 80 adet araç çalışmaktadır ve bir sefer süresi 32 dakika’dır. Günlük yolcu sayısı 240.000’dir. Hafta içi ve hafta sonu yapılan toplam sefer sayıları ve sefer sıklıkları Tablo 3.3’de verilmiştir.

M1 Aksaray- Havalimanı metro hattında istasyonlar yapılarına göre 3’e ayrılmıştır:

1. Tünel (6 istasyon; Aksaray, Fatih, Topkapı, Bakırköy, Bahçelievler, Havalimanı)
2. Viyadük (3 istasyon; Davutpaşa, Merter, İstanbul Fuar Merkezi)
3. Hemzemin (9 istasyon; Bayrampaşa, Sağmalcılar, Kartaltepe, Otogar, Esenler, Terazidere, Zeytinburnu, Şirinevler, Yenibosna)



Şekil 3.8 : Taksim – 4.Levent Metro Hattı ile Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattındaki ölçüm noktaları ve İBBÇKM Dış ortam Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonları

Tablo 3.2. M1 Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattı Sefer Sıklığı

| Hafta içi      |                        | Hafta Sonu     |                        |                |                        |
|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|
|                |                        | Cumartesi      |                        | Pazar          |                        |
| Zaman Periyodu | Sefer Sıklığı (dakika) | Zaman Periyodu | Sefer Sıklığı (dakika) | Zaman Periyodu | Sefer Sıklığı (dakika) |
| 06:00-06:30    | 10                     | 06:00-06:40    | 10                     | 06:00-09:10    | 10                     |
| 06:30-07:00    | 8                      | 06:40-07:00    | 8                      | 09:10-20:32    | 7.5                    |
| 07:00-13:00    | 6                      | 07:04-20:02    | 6                      | 20:32-24:00    | 10                     |
| 13:00-21:00    | 5                      | 20:02-22:02    | 7.5                    | 24:00-01:00    | 15                     |
| 21:00-22:00    | 7.5                    | 22:02-24:00    | 10                     |                |                        |
| 22:00-24:00    | 10                     | 24:00-01:00    | 15                     |                |                        |
| 24:00-01:00    | 15                     |                |                        |                |                        |

\*Ortalama günlük sefer sayısı hafta içi 360, hafta sonu Cumartesi günü 329, Pazar günü ise 257'dir.

#### 3.1.5.2. M2 Taksim – 4.Levent Metro Hattının Özellikleri

Taksim – 4.Levent Metro Hattı 2000 yılında hizmete açılmıştır. Toplam uzunluğu 8,5 km, hat üzerindeki istasyon sayısı 6'dır. Bu hatta 32 adet araç çalışmaktadır ve bir sefer süresi 12 dakika'dır. Günlük yolcu sayısı 185.000'dir. Hafta içi ve hafta sonu yapılan toplam sefer sayıları ve sefer sıklıkları Tablo 3.4'de verilmiştir. İstasyonların cadde seviyelerinden itibaren derinlikleri, peron boyları ve mevcut istasyon giriş sayıları Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.3: Taksim – 4.Levent Metro Hattı Sefer Sıklığı

| Hafta içi      |                        | Hafta Sonu     |                        |                |                        |
|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|
|                |                        | Cumartesi      |                        | Pazar          |                        |
| Zaman Periyodu | Sefer Sıklığı (dakika) | Zaman Periyodu | Sefer Sıklığı (dakika) | Zaman Periyodu | Sefer Sıklığı (dakika) |
| 06:00-07:00    | 9                      | 06:00-07:30    | 9                      | 06:00-11:00    | 9                      |
| 07:00-10:00    | 5                      | 07:00-12:30    | 7                      | 11:00-13:00    | 8                      |
| 10:00-17:00    | 6                      | 12:30-15:00    | 5                      | 13:00-20:00    | 7                      |
| 17:00-20:00    | 5                      | 15:00-20:30    | 5                      | 20:00-21:00    | 8                      |
| 20:00-21:00    | 6                      | 20:30-22:30    | 7                      | 21:00-00:00    | 9                      |
| 21:00-22:00    | 7                      | 22:30-00:30    | 9                      |                |                        |
| 23:00-01:00    | 10                     | 00:30-01:00    | 10                     |                |                        |

\*Ortalama günlük sefer sayısı hafta içi 360, hafta sonu Cumartesi günü 329, Pazar günü ise 257'dir.

Tablo 3.4: Taksim – 4.Levent Metro Hattındaki İstasyonların peron boyu, giriş sayısı ve cadde seviyesinden itibaren derinlikleri

|            | Derinlik, metre | Peron Boyu, metre | İstasyona Giriş sayısı |
|------------|-----------------|-------------------|------------------------|
| Taksim     | 35              | 235               | 5                      |
| Osmanbey   | 23              | 231               | 6                      |
| Şişli      | 28              | 235               | 6                      |
| Gayrettepe | 27              | 238               | 4                      |
| Levent     | 27              | 240               | 4                      |
| 4.Levent   | 20              | 235               | 4                      |

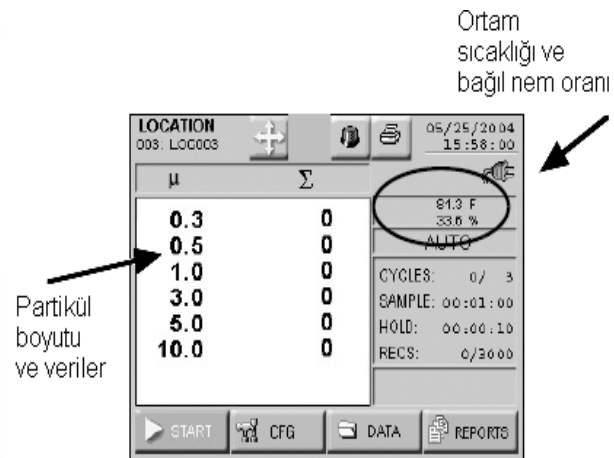
### 3.2. İNCE PARTİKÜL MADDE ÖLÇÜM CİHAZLARININ ÖZELLİKLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

#### 3.2.1 Partikül Sayım Cihazı

Partikül sayım ölçümlerinde kullanılan dokunmatik ekrana sahip olan portatif 3016 Handheld partikül sayıcının genel görünüşü Şekil 3.8’de verilmiştir. Sayıcı 6 ayrı partikül fraksiyonundaki partikül maddeleri (0.3  $\mu\text{m}$ , 0.5  $\mu\text{m}$ , 1.0  $\mu\text{m}$ , 3.0  $\mu\text{m}$ , 5.0  $\mu\text{m}$  ve 10  $\mu\text{m}$ ) sayma özelliğine sahiptir. Cihaz, partikülleri saptamak için lazer-diyot ışık kaynağını ve optik toplama tekniğini kullanır. Böylece, optik toplama ile saçılan ışık toplanarak foto diyota odaklanır. Sonra foto diyot bu ışık sinyallerini elektriksel büyüklüklere (yüksekliklere) çevirir. Dolayısıyla, farklı yükseklikler farklı partikül boyutunu yansıtır. Sonuçlar partikül sayıları olarak belirtilen boyutlarda cihazın ekranında görülür. Partikül sayıları kümülatif ve diferansiyel olarak verilmekte, ayrıca, ortamın sıcaklığı ve bağıl nem oranı da ekranda görülebilmektedir.



(a)

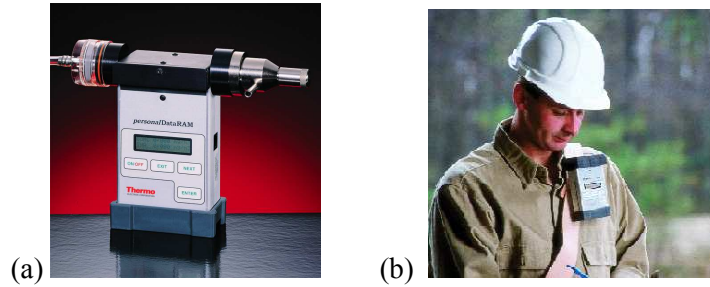


(b)

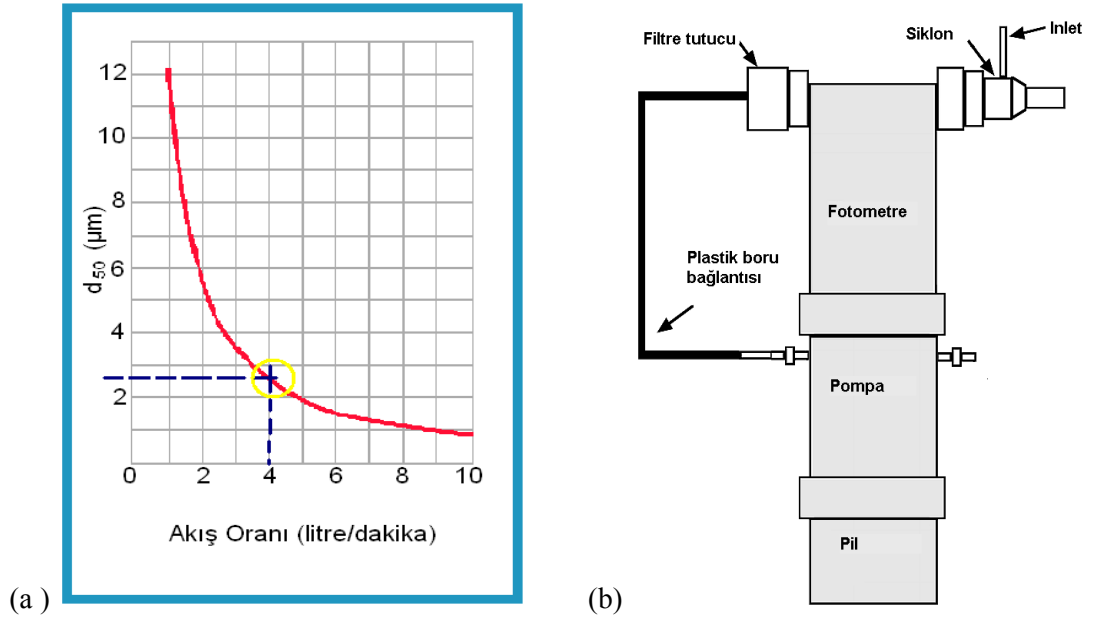
Şekil 3.9: Partikül sayıcının genel görünüşü (a-b)  
[http://www.pentaotomasyon.com.tr/images/products/00/06/83/683\\_buyuk.jpg](http://www.pentaotomasyon.com.tr/images/products/00/06/83/683_buyuk.jpg)

### 3.2.2. pDR Cihazı

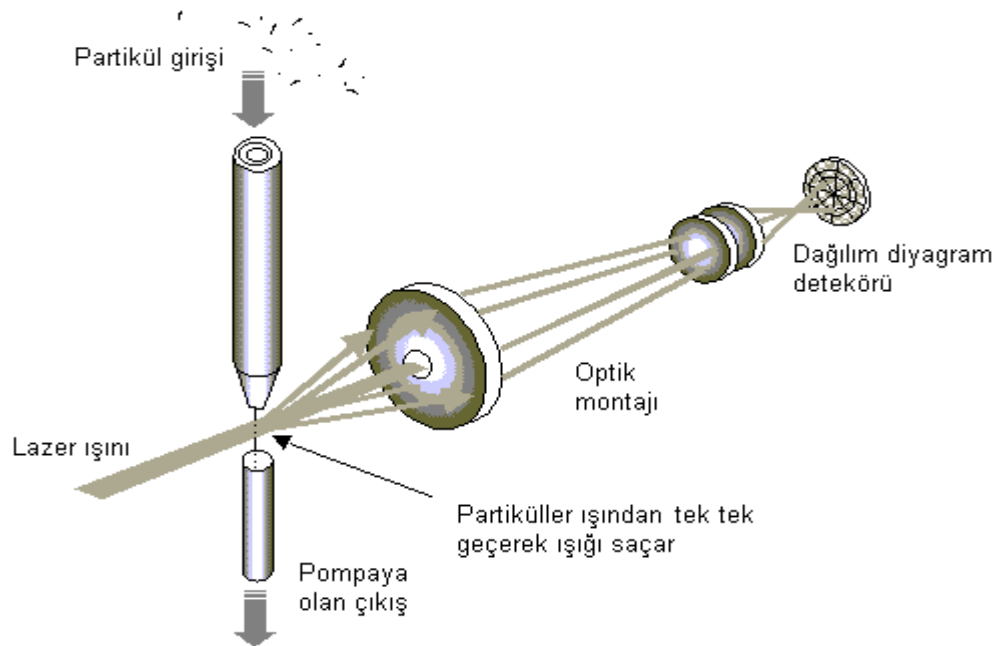
Partikül madde konsantrasyonu ölçmek için kullanılan taşınabilir Thermo Electron personal/DataRAM™ (pDR) cihazı yüksek hassas nefhelometrik monitör pDR-1200 (aktif aerosol monitör, verileri kaydedici tertibat ve partiküllerin aerodinamik çaplarına göre ayırıcı), pDR-PU pompası ve onun şarj edebilen pili olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11). pDR 1200 fotometrik monitorü (real time monitor) ışık saçılımı algılama (light scattering) esasına göre çalışır (Şekil 3.12). Pompayı spesifik akış hızına ayarlayıp (1-5 litre/dakika akış hızı dereceleri ve 1-10 µm partikül boyut seçeneği) partikülleri gerekli aerodinamik çapında özel siklon preseparatörü ile toplar. Şekil 3.11a'daki grafiğe göre cihaz 2.5 µm aerodinamik çapında olan partikül maddeleri toplaması için pompa 4 l/dk akış hızına ayarlanmıştır. Ayrıca, cihazın 37 mm-lik filtre tutulan kısmında partiküllerin toplanarak gravimetrik veya kimyasal analizlerinin yapılması mümkündür.



Şekil 3.10: Partikül madde konsantrasyonunu ölçen pDR-1200 portatif cihazı (a, b)  
[http://www.thermo.com/com/cda/products/image\\_popup/0.2772.22827.00.html](http://www.thermo.com/com/cda/products/image_popup/0.2772.22827.00.html)



Şekil 3.11 : (a) Akış hızının fonksiyonuna göre pDR'in GK 2.05 siklonun kesme noktası [ $d_{50}$ ],  
(b) birleştirilen pDR-1200, pDR-PU pompası ve bataryası



Şekil 3.12: pDR 1200 (Real-time aerosol monitörü) cihazının çalışma prensibi  
[http://www.envisupply.com/sampling/images/real\\_time\\_aerosol\\_monitor.gif](http://www.envisupply.com/sampling/images/real_time_aerosol_monitor.gif)

## 4. BULGULAR

### 4.1. PARTİKÜL SAYIM SONUÇLARI

Partikül sayımı araba, metrobüs, belediye otobüsü ve yaya olmak üzere 4 farklı ulaşım türü için 0.3  $\mu\text{m}$ , 0.5  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$ , 3 $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  ve 10  $\mu\text{m}$  aerodinamik çapında olan 6 farklı partikül fraksiyonunda yapılmıştır. Partikül sayım sonuçlarının ortalama, maksimum ve minimum değerleri ulaşım türleri için Tablo 4.1’de verilmiştir. Ayrıca, 0.3  $\mu\text{m}$ , 0.5  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$ , 3 $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  ve 10  $\mu\text{m}$  çapında olan partiküllerin sayısı trafiğin yoğun olduğu saatler ve trafiğin yoğun olmadığı saatler olmak üzere araba için Şekil 4.1’de ve Şekil 4.2’de, Metrobüs için Şekil 4.3’de ve Şekil 4.4’de, Belediye otobüsü için Şekil 4.5’te ve Yaya için Şekil 4.6’da grafik olarak gösterilmiştir.

Özel araç içinde ölçümler havalandırma açık durumda ve kapalı durumda yapılmıştır. Trafiğin yoğun olduğu sabah saatlerinde yapılan ölçümlerde 0.3  $\mu\text{m}$ , 0.5  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$  ve 3  $\mu\text{m}$  çapındaki partiküller için havalandırma açık olduğunda alınan sonuçlar, havalandırma kapalı olduğunda kaydedilen sonuçlardan daha yüksek olarak bulunmuştur. Tablo 4.1’de gösterilen Avcılar-Şirinevler ve Şirinevler-Avcılar yani havalandırma açık ve havalandırma kapalı olduğu zaman için örneklemelerin toplam ortalamaları 0.3  $\mu\text{m}$  çapında olan partiküller için 132752p/1000  $\text{cm}^3$  ve 54647p/1000  $\text{cm}^3$ ; 0,5  $\mu\text{m}$  için 10946p/1000  $\text{cm}^3$  ve 3782p/1000  $\text{cm}^3$ ; 1  $\mu\text{m}$  için 1540p/1000  $\text{cm}^3$  ve 416p/1000  $\text{cm}^3$ , 3  $\mu\text{m}$  için 77 ve 44 p/1000  $\text{cm}^3$  olmuştur. 5 ve 10  $\mu\text{m}$  çapındaki PM için ortalama ise 23 p/1000  $\text{cm}^3$  ve 24 p/1000  $\text{cm}^3$ , 5 p/1000  $\text{cm}^3$  ve 8p/1000  $\text{cm}^3$ . Sonuçlara bakıldığında özellikle 1  $\mu\text{m}$ ’den küçük partikül sayısında havalandırmanın etkisinin büyük olduğu görülmektedir.



| Çap (µm) | Araç             | Araba                                     |        |                                             |        | Metrobüs           |        |                    |        | Yaya                 |         | Belediye otobüsü  |         |
|----------|------------------|-------------------------------------------|--------|---------------------------------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|----------------------|---------|-------------------|---------|
|          |                  | Avcılar-Şirinevler<br>(Havalandırma açık) |        | Şirinevler-Avcılar<br>(Havalandırma kapalı) |        | Avcılar-Şirinevler |        | Şirinevler-Avcılar |        | Şirinevler-Yenibosna |         | Yenibosna-Sefaköy |         |
|          |                  | Sabah                                     | Öğle   | Sabah                                       | Öğle   | Sabah              | Öğle   | Sabah              | Öğle   | Sabah                | Öğle    | Sabah             | Öğle    |
| 0.3      | Örnekleme sayısı | 15                                        | 20     | 18                                          | 18     | 24                 | 24     | 19                 | 20     | 19                   | 20      | 17                | 18      |
|          | Ortalama         | 132752                                    | 114845 | 54647                                       | 49423  | 151799             | 128998 | 122076             | 73381  | 202677               | 173129  | 209746            | 184866  |
|          | Maksimum         | 220100                                    | 195414 | 133874                                      | 141833 | 367101             | 292277 | 187924             | 125551 | 430806               | 362673  | 346849            | 332445  |
|          | Minimum          | 45851                                     | 40180  | 25017                                       | 14731  | 54028              | 51153  | 50857              | 53158  | 74190                | 75085   | 95924             | 77206   |
|          | Standart sapma   | 657577                                    | 711209 | 392990                                      | 536719 | 1170167            | 740726 | 740726             | 382468 | 1579907              | 1147921 | 1337147           | 1221325 |
| 0.5      | Ortalama         | 10946                                     | 8308   | 3782                                        | 3563   | 12800              | 8746   | 10519              | 4624   | 20444                | 15797   | 21833             | 18239   |
|          | Maksimum         | 17300                                     | 19267  | 8822                                        | 13050  | 38608              | 20701  | 14766              | 6825   | 54621                | 33079   | 54215             | 30774   |
|          | Minimum          | 4383                                      | 4540   | 1104                                        | 870    | 5446               | 3999   | 4334               | 3324   | 7984                 | 6731    | 9327              | 7662    |
|          | Standart sapma   | 56070                                     | 55766  | 28877                                       | 50990  | 123904             | 63139  | 63139              | 20134  | 191297               | 122074  | 156793            | 116246  |
| 1        | Ortalama         | 1540                                      | 936    | 416                                         | 298    | 1915               | 1220   | 1982               | 596    | 4077                 | 2890    | 6241              | 4523    |
|          | Maksimum         | 2625                                      | 1743   | 971                                         | 1092   | 5563               | 1987   | 3817               | 712    | 11500                | 10304   | 18803             | 9356    |
|          | Minimum          | 585                                       | 437    | 122                                         | 74     | 527                | 756    | 980                | 504    | 1207                 | 1256    | 2266              | 1500    |
|          | Standart sapma   | 9964                                      | 5088   | 3492                                        | 3960   | 16070              | 15430  | 15430              | 1082   | 32773                | 32259   | 56285             | 30843   |
| 3        | Ortalama         | 77                                        | 58     | 44                                          | 27     | 287                | 223    | 363                | 91     | 818                  | 545     | 1316              | 1032    |
|          | Maksimum         | 127                                       | 125    | 140                                         | 77     | 1100               | 466    | 887                | 103    | 2418                 | 1975    | 3299              | 2320    |
|          | Minimum          | 16                                        | 19     | 11                                          | 9      | 38                 | 97     | 104                | 79     | 127                  | 232     | 377               | 388     |
|          | Standart sapma   | 496                                       | 438    | 436                                         | 290    | 3076               | 4099   | 4099               | 127    | 7516                 | 6564    | 11317             | 7765    |
| 5        | Ortalama         | 23                                        | 22     | 24                                          | 12     | 161                | 135    | 169                | 47     | 365                  | 248     | 750               | 602     |
|          | Maksimum         | 63                                        | 63     | 112                                         | 27     | 726                | 347    | 433                | 67     | 869                  | 959     | 1940              | 1367    |
|          | Minimum          | 6                                         | 4      | 5                                           | 4      | 19                 | 46     | 24                 | 32     | 49                   | 99      | 215               | 263     |
|          | Standart sapma   | 249                                       | 205    | 359                                         | 96     | 1447966            | 1960   | 1960               | 163    | 3239                 | 3345    | 6851              | 4638    |
| 10       | Ortalama         | 5                                         | 5      | 8                                           | 3      | 20                 | 19     | 16                 | 9      | 13                   | 13      | 35                | 32      |
|          | Maksimum         | 14                                        | 15     | 74                                          | 8      | 55                 | 59     | 37                 | 14     | 26                   | 40      | 72                | 69      |
|          | Minimum          | 1                                         | 1      | 1                                           | 1      | 3                  | 5      | 3                  | 5      | 3                    | 4       | 14                | 13      |
|          | Standart sapma   | 57                                        | 47     | 233                                         | 24     | 176                | 149    | 149                | 41     | 88                   | 131     | 256               | 208     |

Tablo 4.1: Partikül sayım sonuçları (partikül/1000 cm<sup>3</sup> ve 10 µm çapındaki partiküller için partikül/0.014 m<sup>3</sup> )

Özel araç içinde trafiğin az yoğun olduğu öğle saatlerinde yapılan ölçümlerde  $0.3 \mu\text{m}$ ,  $0.5 \mu\text{m}$  ve  $1 \mu\text{m}$  çapındaki partiküller için havalandırma açık olduğunda alınan sonuçlar, havalandırma kapalı olduğunda kaydedilen sonuçlardan daha yüksek olarak bulunmuştur. Örneklemelerin toplam ortalamaları  $0.3 \mu\text{m}$  çapında olan partiküller için  $114845\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $49423\text{p}/1000 \text{ cm}^3$ ;  $0.5 \mu\text{m}$  için  $8308\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $3563\text{p}/1000 \text{ cm}^3$ ;  $1 \mu\text{m}$  için  $936\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $298\text{p}/1000 \text{ cm}^3$ ,  $3 \mu\text{m}$  için  $58$  ve  $27 \text{ p}/1000 \text{ cm}^3$  olmuştur.  $5 \mu\text{m}$  çapındaki PM için havalandırma açık durumdayken  $1000 \text{ cm}^3$  hacmi içinde  $22$  ve havalandırma kapalıyken  $12$  tane partikül,  $10 \mu\text{m}$  partikül boyutu için  $5$  ve  $3$  tane partikül sayılmıştır.

Metrobüs içinde yapılan ölçümlerde trafiğin yoğun olduğu saatler içinde Avcılar-Şirinevler ve Şirinevler-Avcılar güzergahında yapılan örneklemelerin ortalamaları sırasıyla  $0.3 \mu\text{m}$  çapında olan partiküller için  $151799\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $122076\text{p}/1000 \text{ cm}^3$ ;  $0.5 \mu\text{m}$  için  $12800\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $10519\text{p}/1000 \text{ cm}^3$ ;  $1 \mu\text{m}$  için  $1915\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $1982/1000 \text{ cm}^3$ ,  $3 \mu\text{m}$  için  $287$  ve  $363 \text{ p}/1000 \text{ cm}^3$ ,  $5 \mu\text{m}$  için  $161\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $169\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $10 \mu\text{m}$  çapındaki PM için ortalama ise  $20\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $16\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  olarak bulunmuştur.

Metrobüs içinde trafiğin az yoğun olduğu öğle saatlerinde yapılan ölçümlerin ortalamaları Avcılar-Şirinevler ve Şirinevler-Avcılar güzergahında sırasıyla  $0.3 \mu\text{m}$  çapında olan partiküller için  $128998\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $73381\text{p}/1000 \text{ cm}^3$ ;  $0.5 \mu\text{m}$  için  $8746\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $4624\text{p}/1000 \text{ cm}^3$ ;  $1 \mu\text{m}$  için  $1220\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  ve  $596\text{p}/1000 \text{ cm}^3$ ,  $3 \mu\text{m}$  için  $223$  ve  $91\text{p}/1000 \text{ cm}^3$ ,  $5 \mu\text{m}$  için  $135$  ve  $47\text{p}/1000 \text{ cm}^3$ ,  $10 \mu\text{m}$  için  $19$  ve  $9\text{p}/1000 \text{ cm}^3$  olarak bulunmuştur.

Metrobüste klimalı havalandırma sistemi bulunmaktadır ve güzergah boyunca sabah ve öğlen yapılan ölçümler klima havalandırması açık (dış hava sirkülasyonu) durumda gerçekleştirilmiştir. Klimanın çalıştırılma düzeninin metrobüs şoförünün arzusuna göre değiştiği ve zaman zaman klimanın kapatıldığı veya iç hava sirkülasyonu ile çalıştırıldığı durumların olduğu bize yetkililerce söylenmiştir. O yüzden bu durumların farkedilmesinin her zaman mümkün olmamasından dolayı bu çalışmada klima havalandırmasının sürekli açık olduğu kabulü yapılmıştır. Metrobüste yapılan ölçüm

sonuçlarına genel olarak bakıldığında sabah yapılan ölçüm sonuçlarının öğle yapılan ölçümlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca sabah yapılan ölçümlerde Avcılar-Şirinevler güzergahındaki partikül sayısının Şirinevler-Avcılar güzergahına göre  $1\ \mu\text{m}$ 'den daha küçük partiküller için daha yüksek,  $1\ \mu\text{m}$ 'den büyük partiküller için ise benzer veya biraz daha düşük olduğu belirlenmiştir. Öğlen ölçümlerinde ise Avcılar-Şirinevler güzergahındaki tüm partikül fraksiyonlarının Şirinevler- Avcılar güzergahına göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bunun nedeni yolcu sayısı ile açıklanabilir. Sabah saatlerinde her iki güzergahta da yolcu yoğunluğu daha fazladır. Öğlen ise Şirinevlerden Avcılara gelen yolcu sayısında bir azalma olmaktadır.

Belediye otobüsü içinde yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında sabah ve öğlen saptanan partikül sayısının diğer ulaşım türlerine göre daha yüksek olduğu ve sabah ölçümlerinin biraz daha yüksek olmasına rağmen öğlen ölçümleri ile arasında çok fazla fark olmadığı görülmektedir. Belediye otobüslerinde klimalı havalandırma sistemi mevcut değildir ve kliması sonradan takılan otobüslerde de klima çalıştırılmamıştır. Bu nedenle genellikle otobüsün camları açık şekilde seyahat edilmektedir. Bu çalışmada yaşı büyük olan kırmızı belediye otobüslerinde ölçümler yapılmıştır. Filtreli klima sistemlerinin olmaması otobüsün içinde havalandırmanın tam olarak yapılmasını engellemekte ve açık olan camlardan otobüsün kendi egzoz emisyonları bile otobüs içine ulaşabilmektedir. Bu nedenle daha yüksek değerler bulunmuştur. Ölçümler Yenibosna otobüs son durağı (başlangıç noktası)ve Sefaköy Küçükçekmece Belediye Başkanlığı durağı (bitiş noktası) arasında yapılmıştır. Trafiğin yoğun olduğu saatler içinde yapılan partikül sayım sonuçlarının ortalama değerleri  $0.3\ \mu\text{m}$  için 209746p/1000  $\text{cm}^3$ ;  $0.5\ \mu\text{m}$  için 21833p/1000  $\text{cm}^3$ ;  $1\ \mu\text{m}$  için 6241p/1000;  $3\ \mu\text{m}$  için 1316; 5 ve  $10\ \mu\text{m}$  çapındaki PM için ortalama ise 750p/1000  $\text{cm}^3$  ve 35p/1000  $\text{cm}^3$ 'tür. Trafiğin az yoğun olduğu saatler içinde yapılan partikül sayım sonuçlarının ortalama değerleri ise  $0.3\ \mu\text{m}$  için 184866p/1000  $\text{cm}^3$ ;  $0.5\ \mu\text{m}$  için 18239p/1000  $\text{cm}^3$ ;  $1\ \mu\text{m}$  için 4523p/1000;  $3\ \mu\text{m}$  için 1032; 5 ve  $10\ \mu\text{m}$  çapındaki PM için ortalama ise 602p/1000  $\text{cm}^3$  ve 32p/1000  $\text{cm}^3$ 'tür. Ayrıca kaba partikül fraksiyonlarının partikül sayısı diğer ulaşım türlerine göre daha yüksektir. Belediye otobüsünün dizel yakıt emisyonları, motor teknolojisi eski olduğundan daha fazladır ve dizel emisyonun içindeki partikül madde fraksiyon boyutunun daha yüksek olduğu bilinmektedir.

Yaya olarak yapılan ölçüm sonuçlarına bakıldığında partikül sayısının 6 partikül fraksiyonunda da belediye otobüsü hariç diğer ulaşım türlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Trafiğin yoğun olduğu sabah saatlerinde yapılan ölçümlerin ortalamaları  $0.3 \mu\text{m}$  için 202677p/1000  $\text{cm}^3$ ;  $0,5 \mu\text{m}$  için 20444p/1000  $\text{cm}^3$ ;  $1 \mu\text{m}$  için 4077p/1000;  $3 \mu\text{m}$  için 818; 5 ve  $10 \mu\text{m}$  çapındaki PM için ortalama ise 365p/1000  $\text{cm}^3$  ve 13p/1000  $\text{cm}^3$ 'tür. Trafiğin az yoğun olduğu öğle saatlerinde yapılan ölçümlerin ortalamaları ise  $0.3 \mu\text{m}$  için 173129p/1000  $\text{cm}^3$ ;  $0,5 \mu\text{m}$  için 15797p/1000  $\text{cm}^3$ ;  $1 \mu\text{m}$  için 2890p/1000;  $3 \mu\text{m}$  için 545; 5 ve  $10 \mu\text{m}$  çapındaki PM için ortalama ise 248p/1000  $\text{cm}^3$  ve 13p/1000  $\text{cm}^3$ 'tür. Bu sonuçlardan dış ortam havasında partikül miktarının fazla olduğu ve ayrıca yerden havalanan partiküller gibi partikül boyutu daha büyük partikül miktarının da fazla olduğu görülmektedir.



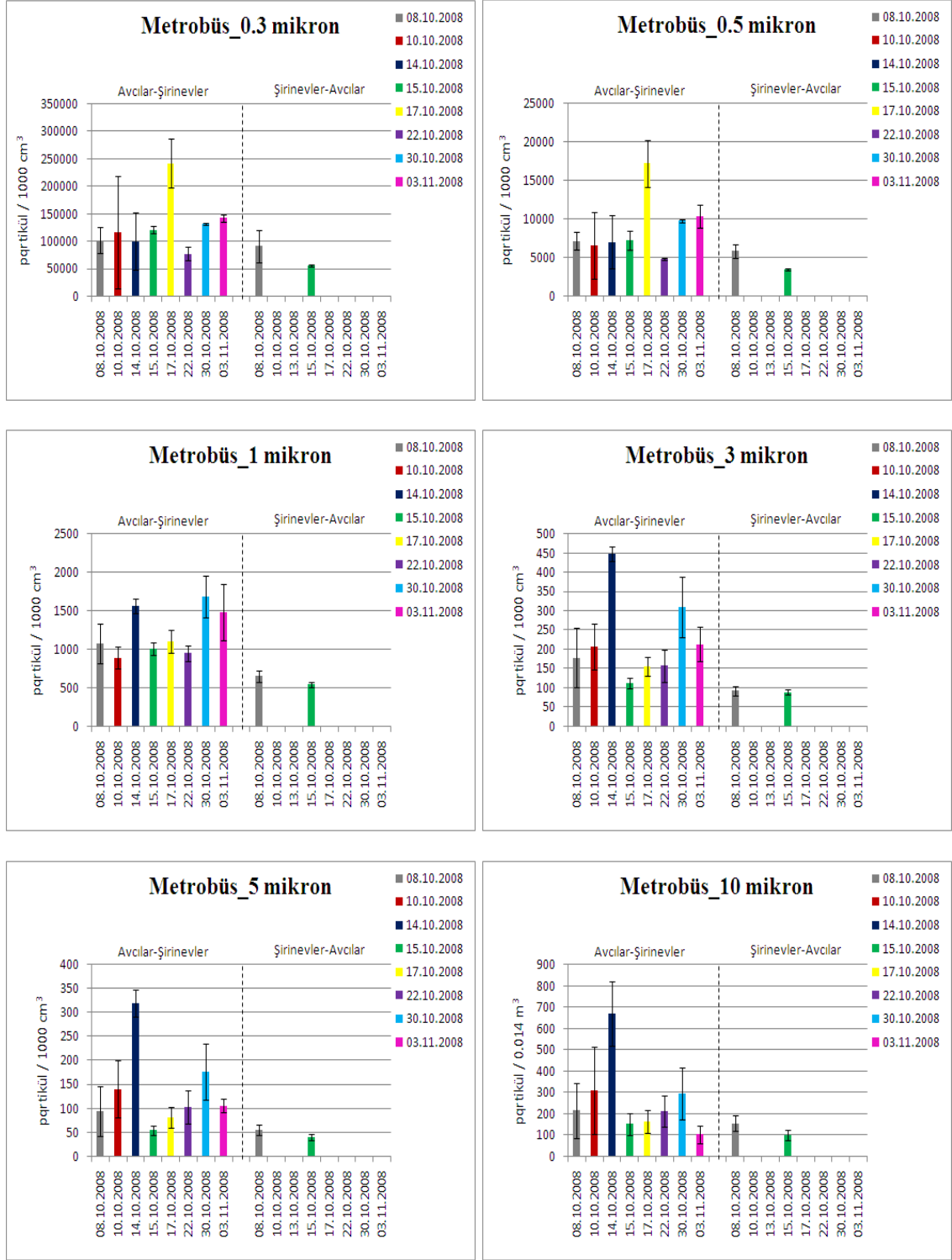
Şekil 4.1: Trafığın yoğun olduğu saatlerde özel araçta partikül sayısı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10  $\mu\text{m}$  çapındaki PM'in sayısı



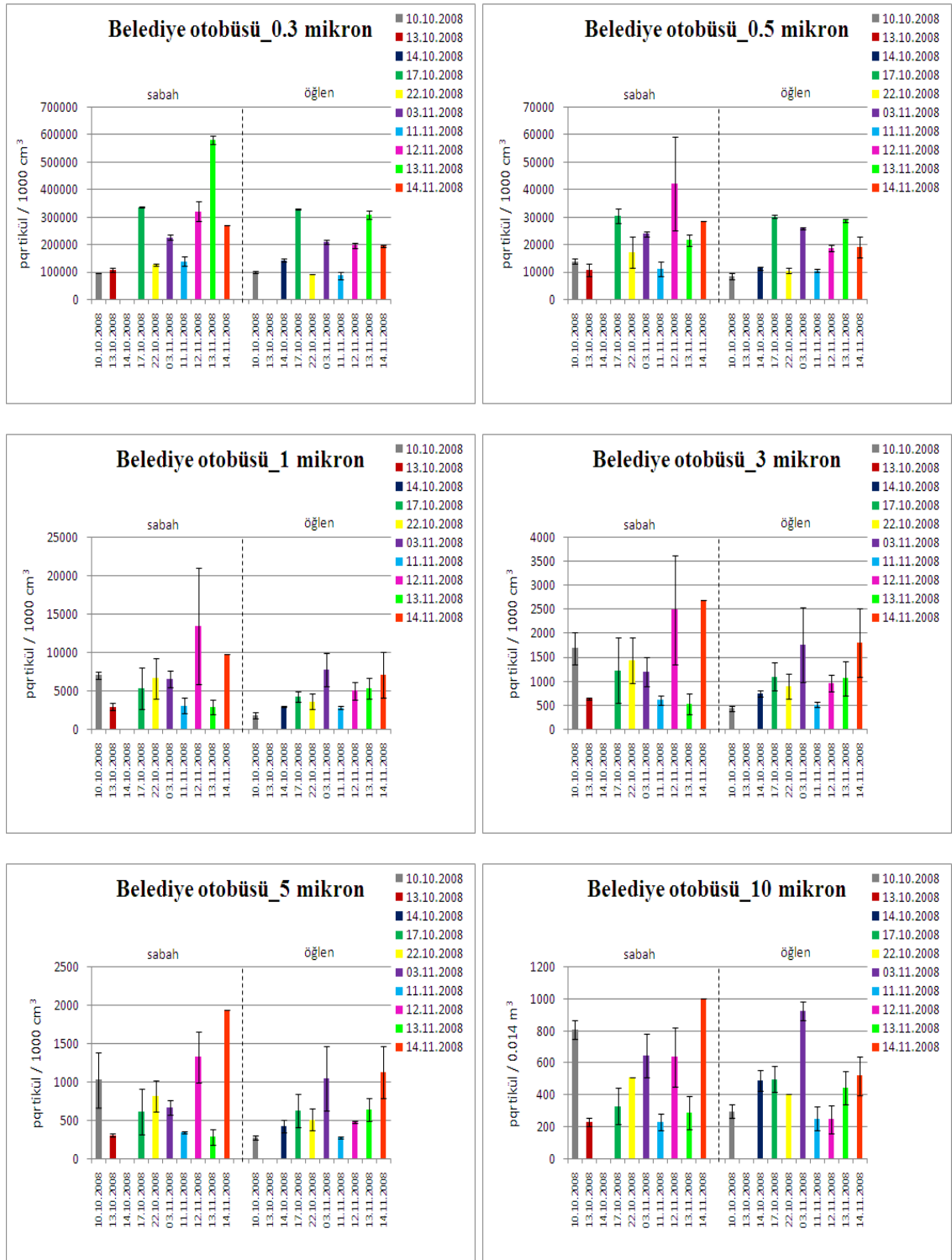
Şekil 4.2: Trafik az olduğu saatlerde özel araçta partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10  $\mu\text{m}$  çapındaki PM'in sayısı



Şekil 4.3: Trafiğin yoğun olduğu saatlerde metrobüste partikül sayısı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı



Şekil 4.4: Trafik az yoğun olduğu saatlerde metrobüste partikül sayısı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'in sayısı



Şekil 4.5: Trafik yoğun ve az olduğu saatlerde belediye otobüsünde kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10 µm çapındaki PM'nin sayısı



Şekil 4.6: Trafiğin yoğun ve az yoğun olduğu saatlerde yaya için partikül sayımı ile kaydedilen 0.3, 0.5, 1, 3 ve 5 ve 10  $\mu\text{m}$  çapındaki PM'in sayısı

#### 4.2. İNCE PARTİKÜL MADDE (PM<sub>2.5</sub>) ÖLÇÜM SONUÇLARI

İnce partikül madde (PM<sub>2.5</sub>) ölçümleri araba, metro, metrobüs, belediye otobüsü içinde ve yaya olarak yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca PM<sub>2.5</sub>’un her güzergahtaki ölçüm süresi boyunca değişimi araba için trafiğin yoğun olduğu saatler ve trafiğin yoğun olmadığı saatler olmak üzere Şekil 4.7’de ve Şekil 4.8’de, Metrobüs için trafiğin yoğun olduğu saatler ve trafiğin yoğun olmadığı saatler olmak üzere Şekil 4.9’da ve Şekil 4.10’da, Belediye otobüsü için trafiğin yoğun olduğu saatler ve trafiğin yoğun olmadığı saatler olmak üzere Şekil 4.11’de ve Şekil 4.12’de, Yaya için trafiğin yoğun olduğu saatler ve trafiğin yoğun olmadığı saatler olmak üzere Şekil 4.13’te ve Şekil 4.14’te, Metro M1 ve M2 hatları için makinist kabini içinde ve tren içinde olmak üzere Şekil 4.15’de ve Şekil 4.16’da grafik şeklinde gösterilmiştir.

Tablo 4.2’den görüldüğü gibi trafik yoğunluğu ve havalandırma tipine bağlı olarak PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon değerleri farklı değerler almıştır. Metro M1 (Aksaray-Havalimanı) ve M2 (Taksim-4.Levent) hatlarında tren içindeki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları sırasıyla 73 ve 62 µg/m<sup>3</sup>, makinist kabini içinde ise 73 ve 50 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. M1 hattında bulunan trenlerde klima sistemi, M2 hattındaki trenlerde ise filtreli klima sistemi bulunmaktadır. Bu sonuçlardan filtreli sistemlerin partikül madde gideriminde etkili olduğu söylenebilir. Bu nedenle M2 hattında daha düşük konsantrasyonlar ölçülmüştür.

Araba içinde bulunan PM<sub>2.5</sub> konsantrasyon değerleri havalandırmanın durumuna ve hafta içi ve hafta sonu olmasına göre değişkenlik göstermektedir. Havalandırma açık durumda iken daha yüksek konsantrasyon değerleri bulunmuştur. Sabah ve öğlen yapılan ölçümlerde havalandırma açık durumdayken arabanın klima sistemi öndeki araçların egzoz emisyonunu direkt araba içine alması içerideki PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Hafta sonu ölçümlerinde sabah saatlerinde öğlen saatlerine göre daha düşük PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları bulunmuştur.

Tablo 4.2: İstanbul’da farklı ulaşım türleri için PM<sub>2.5</sub> ortalama konsantrasyonları

| Ulaşım türü              | Havalandırma durumu        | Güzergah            | Örnekleme sayısı | PM <sub>2,5</sub> Ortalama kons. (µg/m <sup>3</sup> ) |            |
|--------------------------|----------------------------|---------------------|------------------|-------------------------------------------------------|------------|
| METRO                    |                            |                     |                  |                                                       |            |
| Tren içi                 |                            |                     |                  |                                                       |            |
| M1                       | Klima                      | Aksaray -Havalimanı | 3                | 73                                                    |            |
| M2                       | Filtreli klima             | Taksim-4.levent     | 3                | 62                                                    |            |
| Makinist kabini          |                            |                     |                  |                                                       |            |
| M1                       | Klima                      | Aksaray -Havalimanı | 3                | 73                                                    |            |
| M2                       | Filtreli klima             | Taksim-4.levent     | 3                | 50                                                    |            |
| ARABA                    |                            |                     |                  | Hafta içi                                             | Hafta sonu |
| Yoğun trafik saatleri    | Havalandırma açık          | Avcılar-Şirinevler  | 7                | 73                                                    | 33         |
|                          | Havalandırma kapalı        | Şirinevler-Avcılar  | 7                | 29                                                    | 29         |
| Az yoğun trafik saatleri | Havalandırma açık          | Avcılar-Şirinevler  | 7                | 59                                                    | 46         |
|                          | Havalandırma kapalı        | Şirinevler-Avcılar  | 7                | 23                                                    | 38         |
| METROBÜS                 |                            |                     |                  |                                                       |            |
| Yoğun trafik saatleri    | Hav. açık (filtreli klima) | Avcılar-Şirinevler  | 7                | 45                                                    |            |
|                          |                            | Şirinevler-Avcılar  | 3                | 47                                                    |            |
| Az yoğun trafik saatleri | Hav. açık (filtreli klima) | Avcılar-Şirinevler  | 7                | 40                                                    |            |
|                          |                            | Şirinevler-Avcılar  | 3                | 29                                                    |            |
| BELEDİYE OTOBÜSÜ         |                            |                     |                  |                                                       |            |
| Yoğun trafik saatleri    | Havalandırma kapalı        | Yenibosna-Sefaköy   | 9                | 106                                                   |            |
| Az yoğun trafik saatleri |                            |                     | 10               | 89                                                    |            |
| YAYA                     |                            |                     |                  |                                                       |            |
| Yoğun trafik saatleri    | -                          | Şirinevler-Sefaköy  | 9                | 89                                                    |            |
| Az yoğun trafik saatleri |                            |                     | 9                | 82                                                    |            |

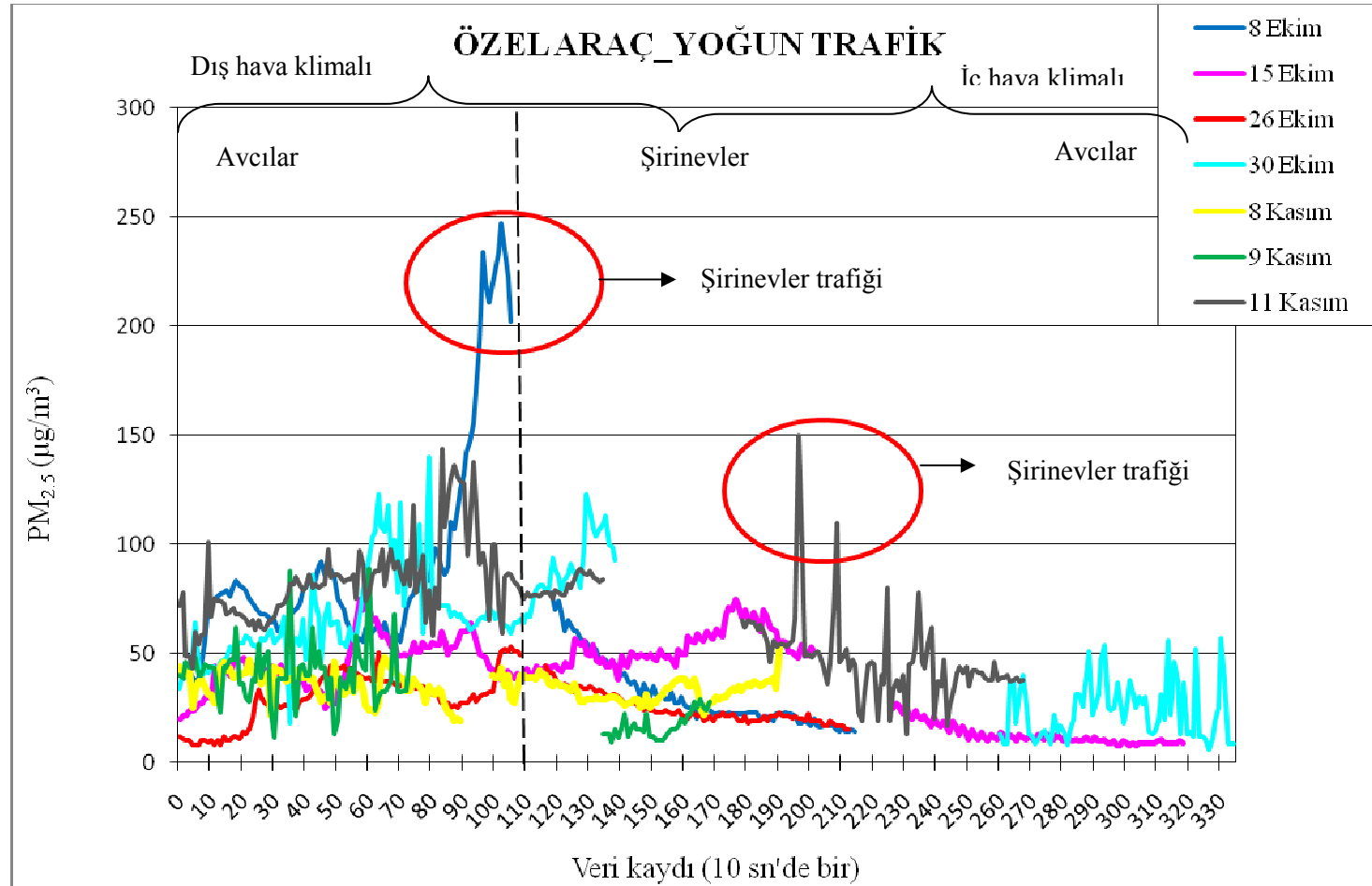
Bunun nedeni hafta sonu trafik yoğunluğundaki farklılıktır. Çalışmanın yapıldığı Avcılar-Şirinevler bölgesinde hafta sonu sabah saatlerinde trafik yoğunluğu hafta içi kadar olmayıp öğleye doğru artış göstermektedir. Bu nedenle ölçüm sonuçları sabah saatlerinde daha düşük (33-29 µg/m<sup>3</sup>), öğle saatlerinde daha yüksek (46-38 µg/m<sup>3</sup>) bulunmuştur.

Metrobüste havalandırma sistemi olarak filtreli klima sistemi bulunmaktadır. Metrobüs içinde  $PM_{2.5}$  konsantrasyonu  $29-45 \mu g/m^3$  arasında bulunmuştur. Diğer bir toplu taşıma aracı olan belediye otobüsü ile karşılaştırıldığında metrobüsteki konsantrasyonların daha düşük değerler aldığı görülmektedir.

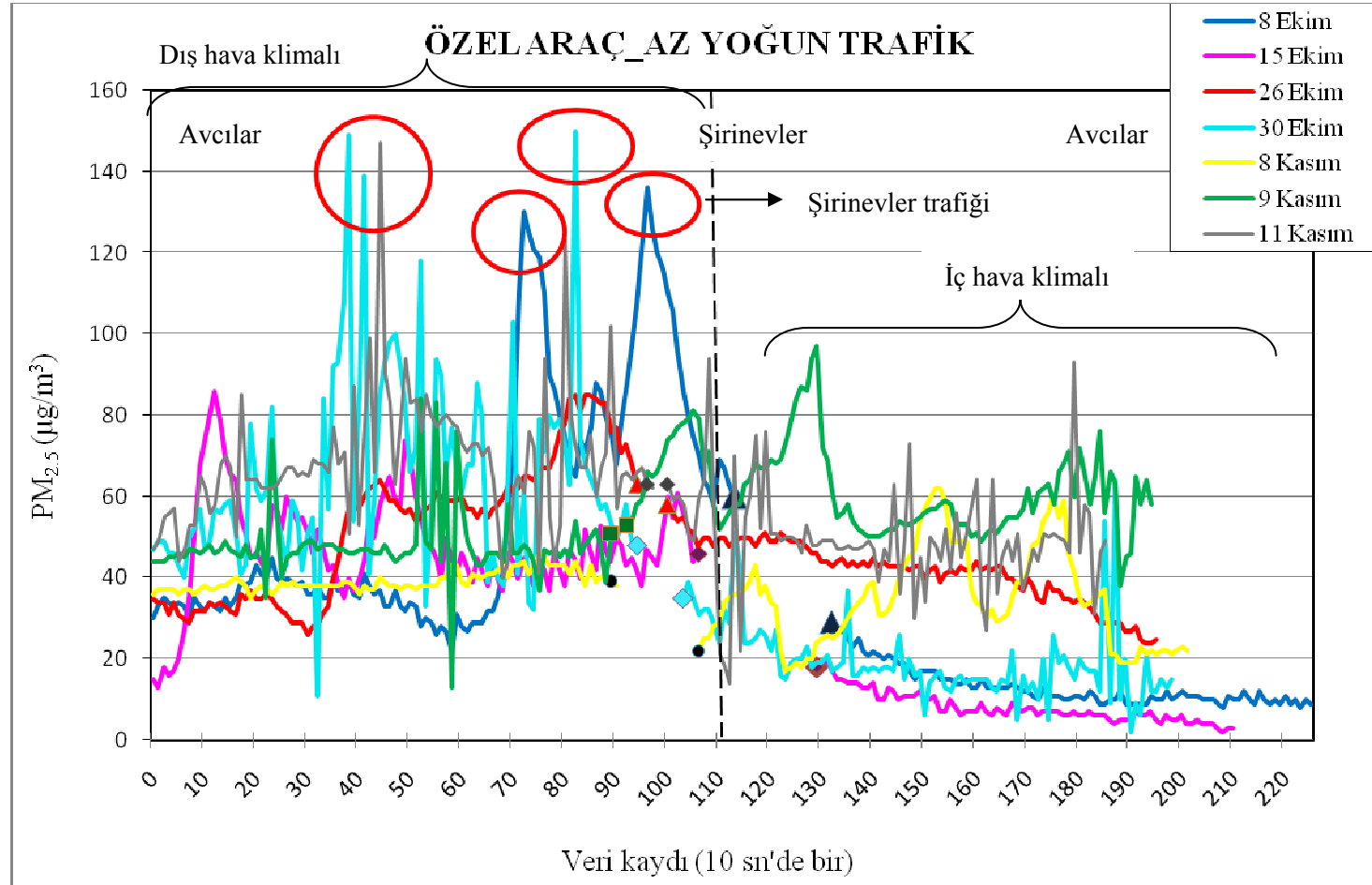
En yüksek  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları belediye otobüsünde  $89-106 \mu g/m^3$  olarak ölçülmüştür. Ölçümlerin yapıldığı belediye otobüslerinde havalandırma doğal şekilde, camların açılmasıyla yapılmaktadır. Filtreli herhangi bir havalandırma sistemi yoktur. Kliması sonradan takılan belediye otobüslerinde ise ölçüm sırasında klima çalıştırılmamıştır.

Yaya olarak yapılan ölçümlerde belediye otobüsü dışındaki diğer toplu taşıma araçlarına göre daha yüksek  $PM_{2.5}$  konsantrasyon değerleri elde edilmiştir. Dışarıda durakta beklerken ya da yürüme esnasında egzoz emisyonları dışında taşıtların tekerlek hareketi ve rüzgar nedeniyle yerden havalanan tozlara da maruz kalınmaktadır. Bu nedenle yüksek  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları ölçülmüştür.

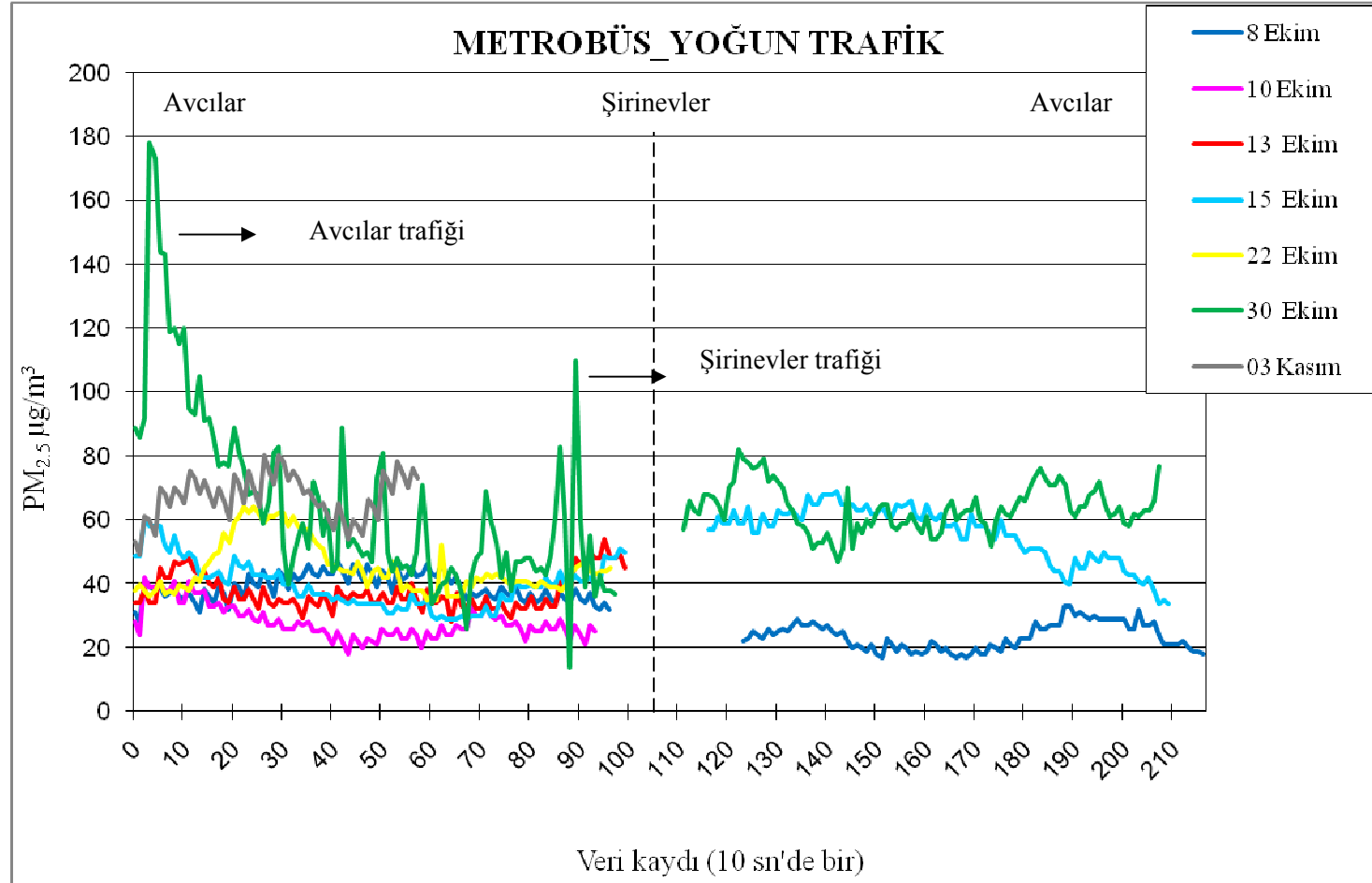
$PM_{2.5}$  konsantrasyonunun zamana göre değişimi incelendiğinde özellikle arabada havalandırma açık durumda iken ve yaya olarak yapılan ölçümlerde trafik yoğunluğunun arttığı nokta ve kavşaklarda (Şirinevler, Total benzin istasyonu)  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunun  $250-300 \mu g/m^3$ 'e varan değerlere ulaştığı görülmektedir.



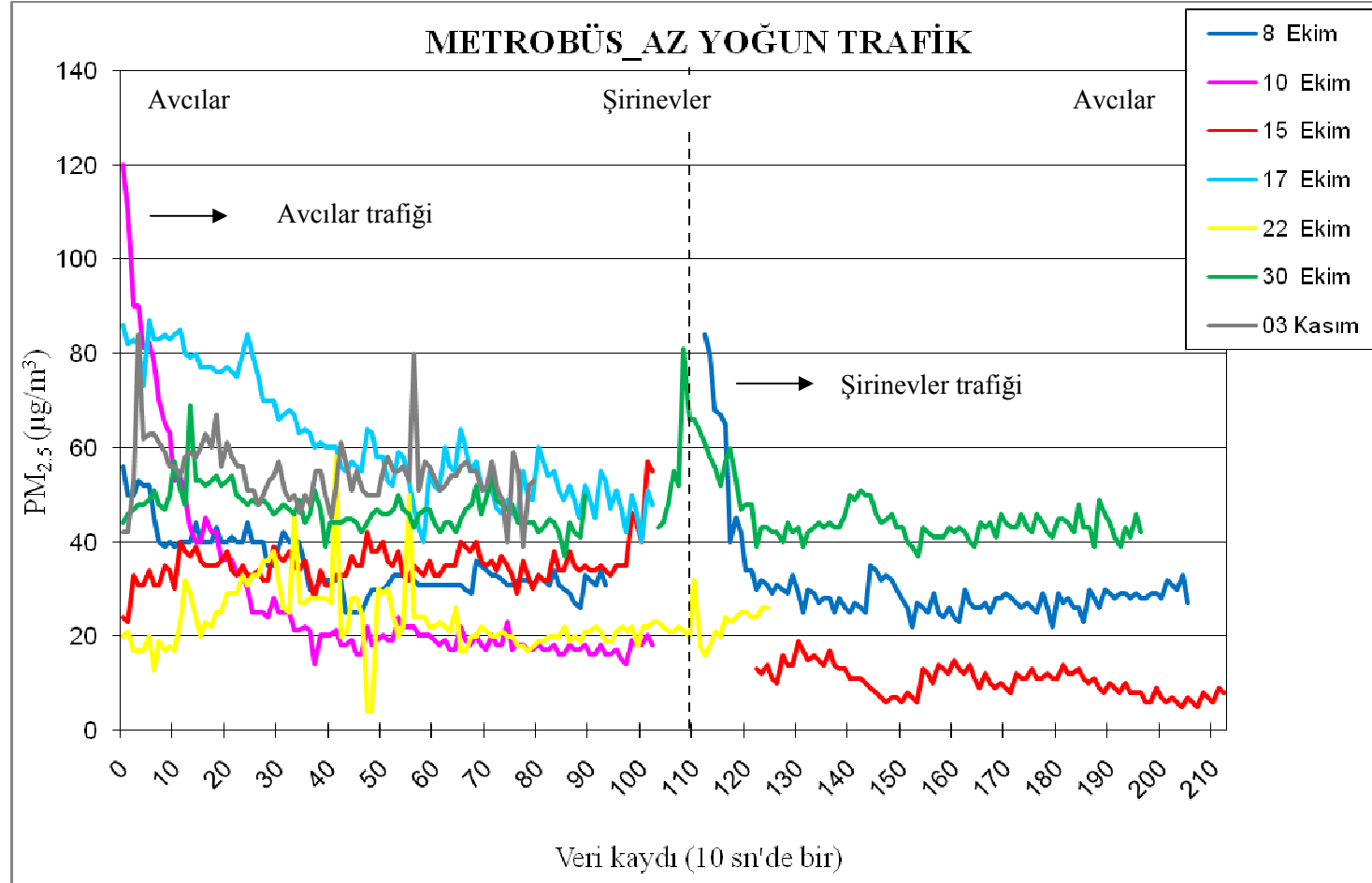
Şekil 4.7: Özel araçta trafiğin yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)



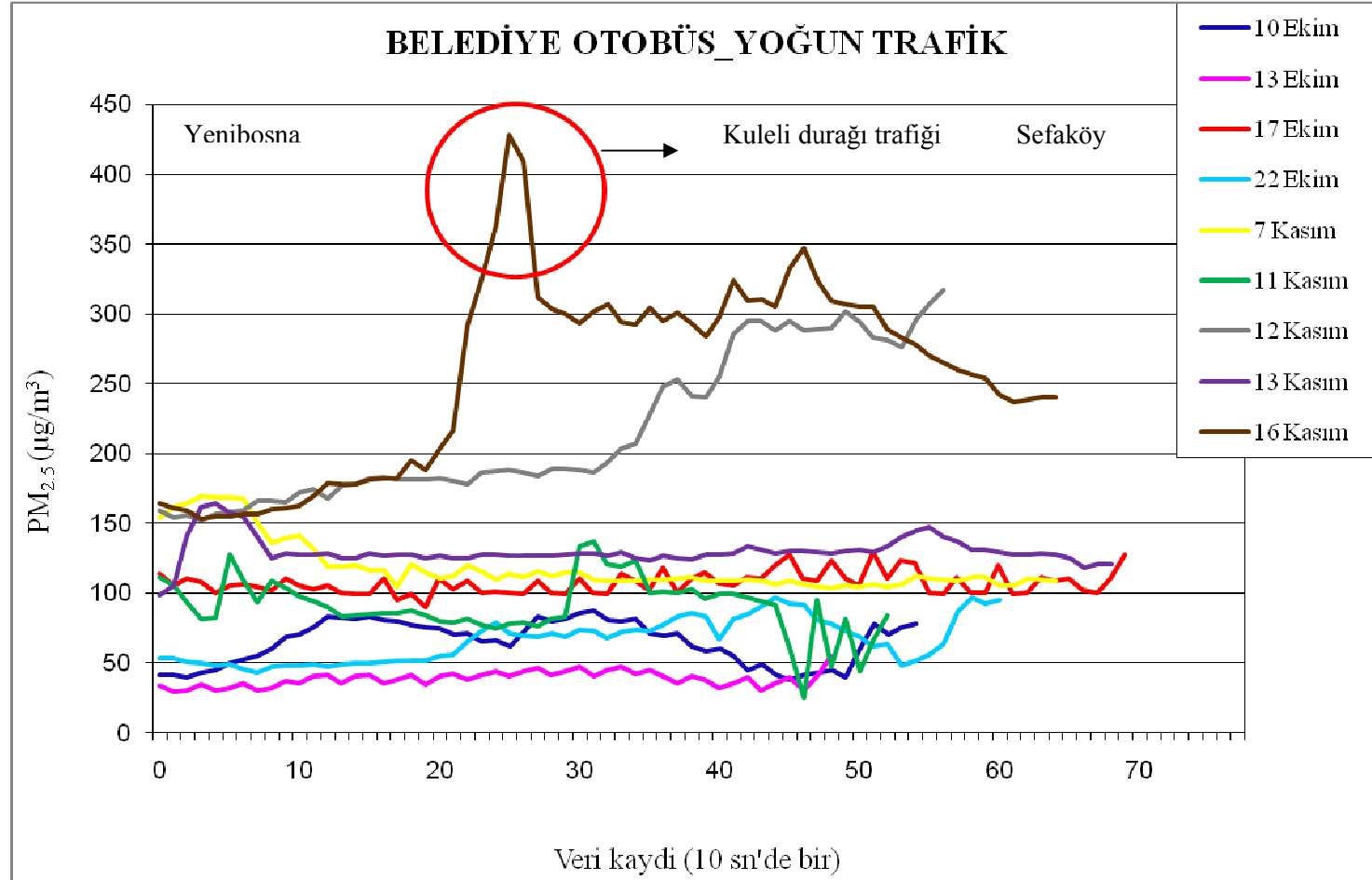
Şekil 4.8: Özel araçta trafiğin az yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)



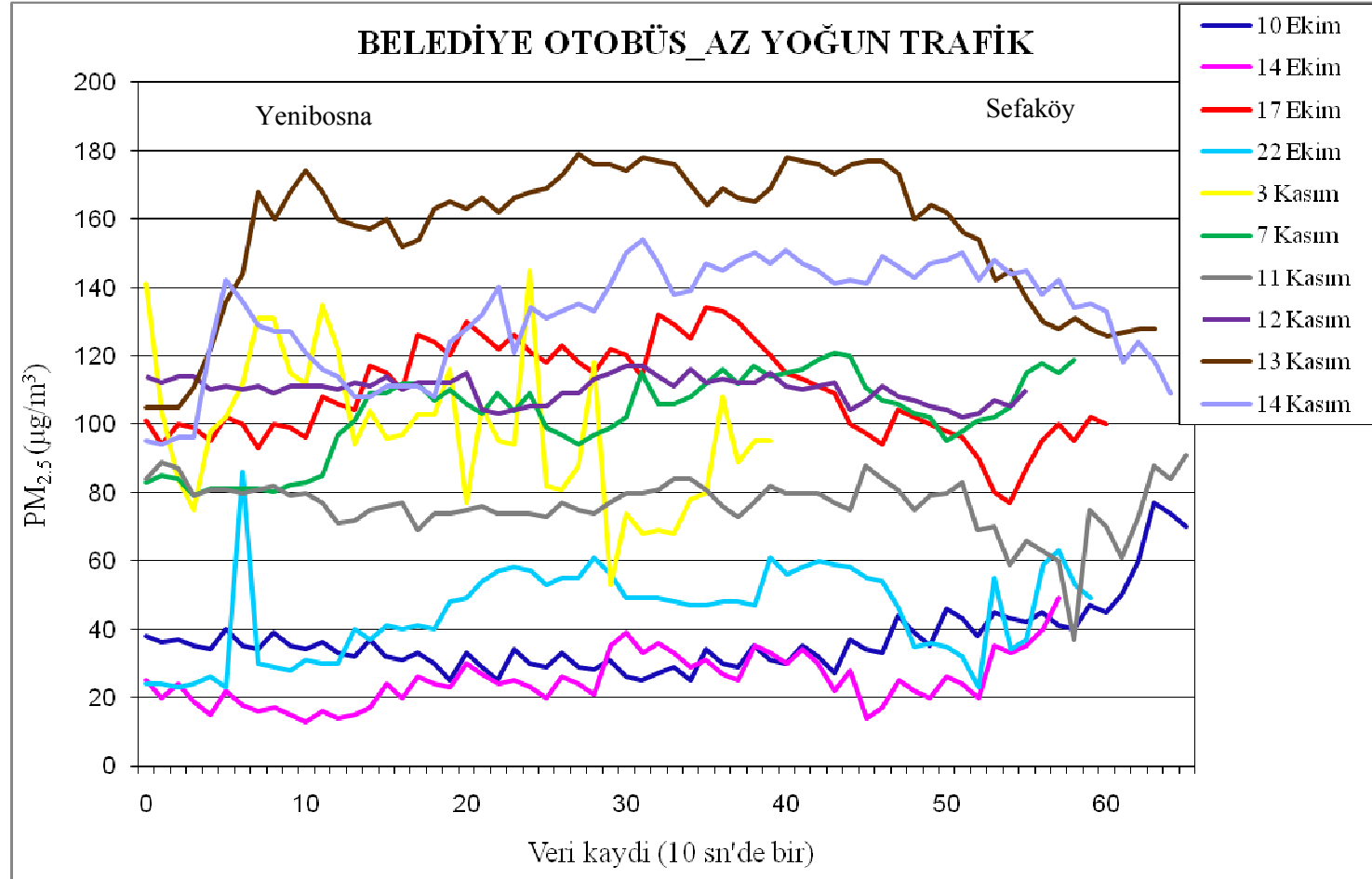
Şekil 4.9: Metrobüs'te trafiğin yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları ( $\mu g/m^3$ )



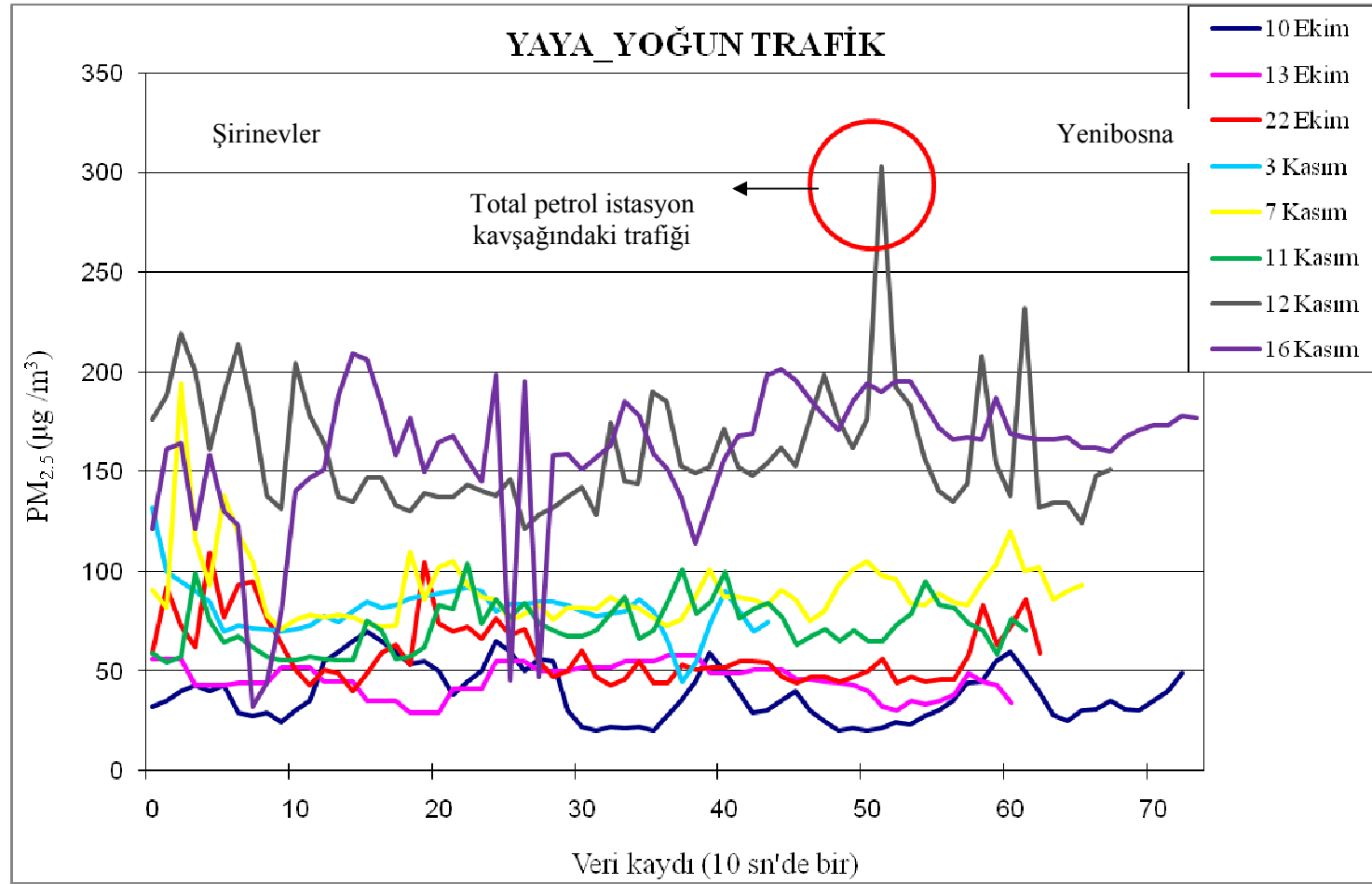
Şekil 4.10: Metrobüs'te trafiğin az yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)



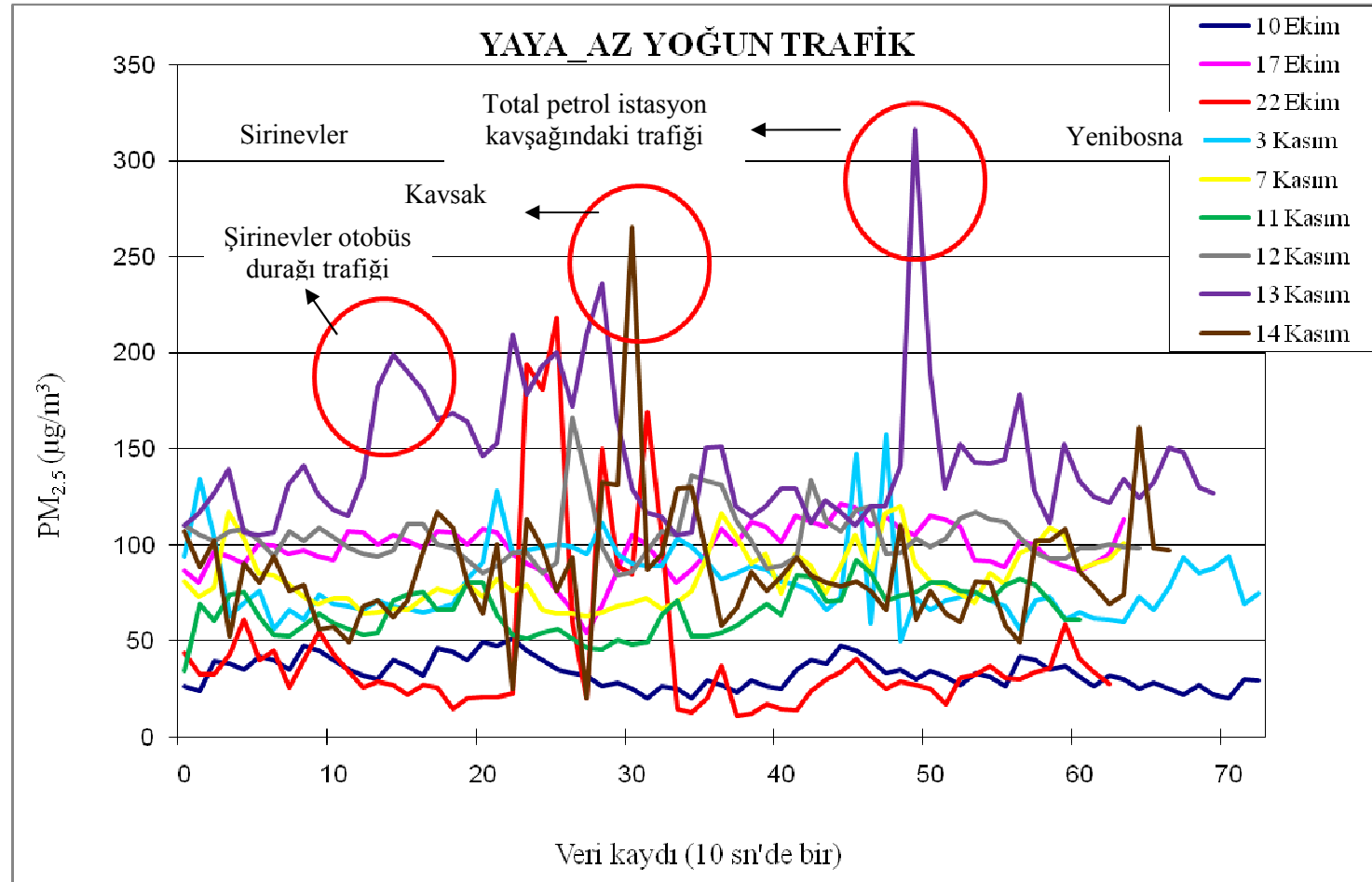
Şekil 4.11: Belediye otobüsünde trafiğin yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)



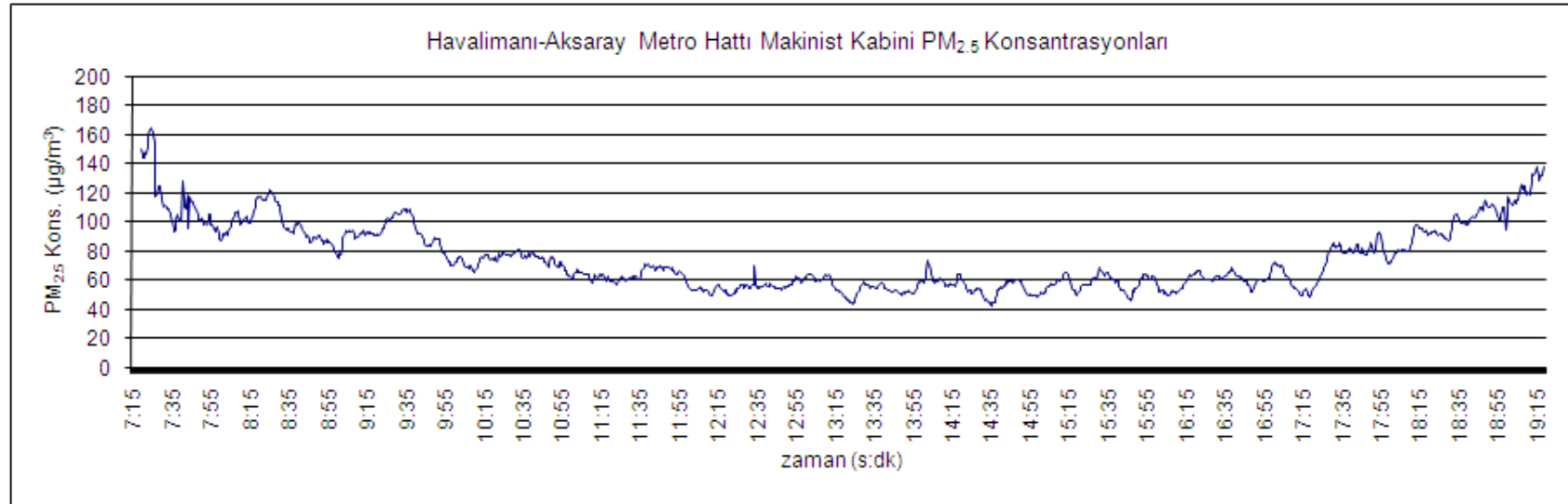
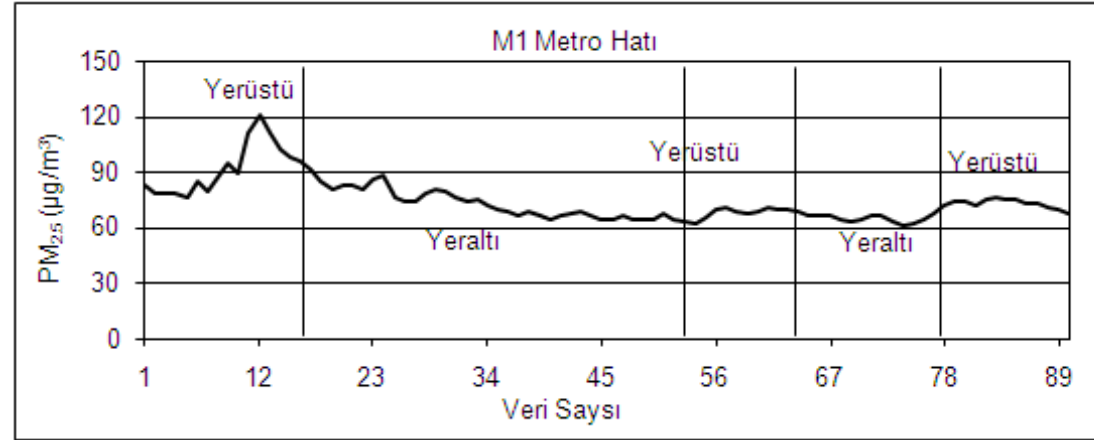
Şekil 4.12: Belediye otobüsünde trafiğin az yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)



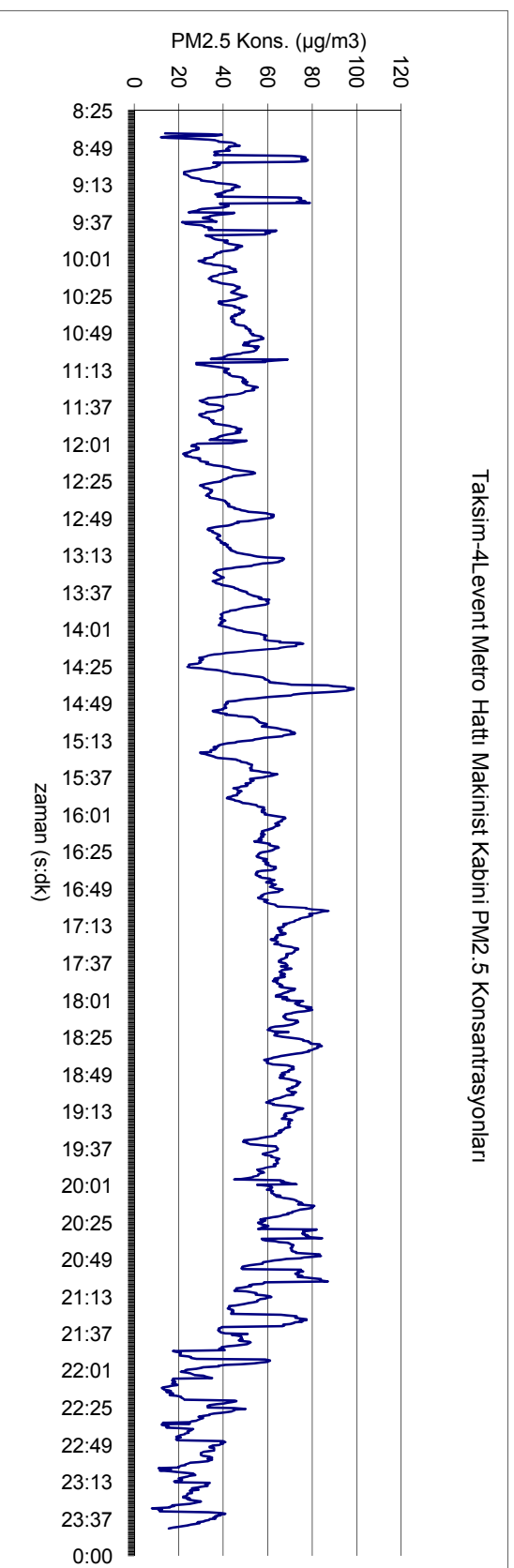
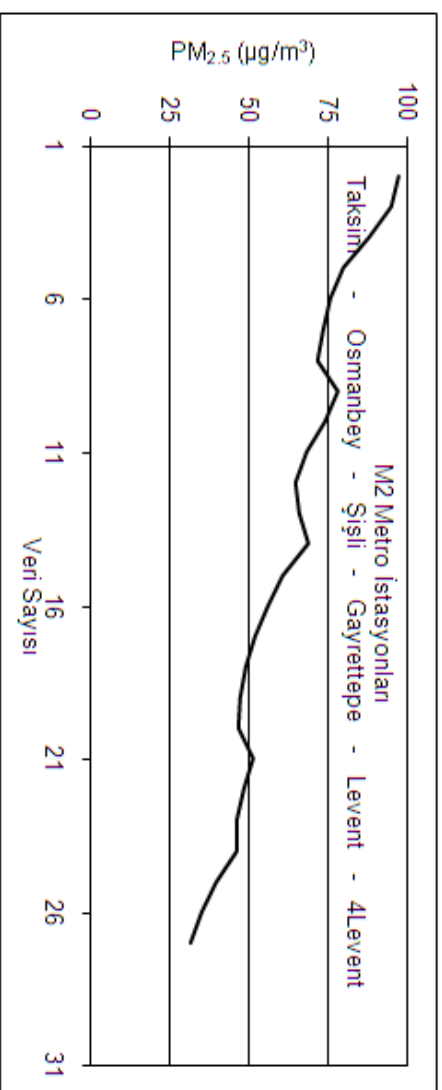
Şekil 4.13: Yaya olarak trafiğin yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)



Şekil 4.14: Yaya olarak trafiğin az yoğun olduğu saatlerde kaydedilmiş PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)



Şekil 4.15: M1 Aksaray- Havalimanı metro hattında yapılan tren içi ve makinist kabini PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları



Şekil 4.16: M2 Taksim-4.Levent metro hattında yapılan tren içi ve makinist kabini  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ulaşımdan kaynaklanan hava kirlenmesi, özellikle nüfusun fazla olduğu şehirlerde günümüzde büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Büyük şehirlerde, trafiğin yoğun olduğu çevrelerde günlük aktiviteler sırasında çok sayıda zararlı kirleticilere maruz kalınmaktadır. Trafik kaynaklı hava kirliliğine kısa sürelerde pik konsantrasyonlarda maruz kalınması, insan sağlığı için ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Halk sağlığının korunması ve mevcut durumun iyileştirilmesi için bu kirleticilerin dikkate alınması ve bu konuda yapılan bilimsel çalışmaların sayısının artırılması gereklidir. Ulaşımdan kaynaklanan kirleticilerin havada kalma süresi, lokasyonu ve maruz kalınan miktarlarının bilinmesi çevre sağlık risklerinin belirlenmesinde ve riski azaltmak için verilecek kararlarda önem teşkil etmektedir.

Ülkemizde hava kalitesinin belirlenmesi konusunda şimdiye kadar yapılan çalışmalarda uzun süreli zaman dilimlerinde ölçümler yapılmış ve günlük aritmetik ortalamalar alınarak elde edilen konsantrasyon değerleri dikkate alınmıştır. Ancak günlük veya yıllık ortalama konsantrasyonlar, dış ortamdaki günlük aktivitelerimizde anlık maruz kaldığımız konsantrasyon değerlerini ifade etmemektedir. Özellikle trafik kaynaklı emisyonların etkisinin saptanmasında anlık konsantrasyonların bilinmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, trafik kaynaklı hava kirleticilerine yolcuların farklı ulaşım türlerinde kişisel maruz kaldığı PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ve partikül sayımı yapılarak partikül maddenin karakterizasyonu tespit edilmiştir. Çalışmada daha önce ülkemizde uygulanmayan, son 3-4 yıldır yurtdışında yapılan çalışmalarda kişisel maruz kalışın belirlenmesinde tercih edilen izleme ve ölçüm yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Çalışmada bulunan sonuçlar kısaca aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Çalışmada araba içinde yapılan ölçümlerde havalandırmanın etkisini görmek için ölçümler sabah ve öğlen havalandırma açık ve kapalı iken yapılmıştır. Çalışma için

seçilen Avcılar –Şirinevler güzergahı gün boyunca trafik yoğunluğunun fazla olduğu ama genellikle öğle saatlerinde taşıt yoğunluğunun azaldığı bir güzergahtır. Partikül sayım sonuçlarına genel olarak bakıldığında baskın partikül fraksiyonunun 1  m'den küçük yani ultra ince partiküller olduğu söylenebilir. Trafiğin yoğun olduğu sabah saatlerinde bulunan partikül sayısı, trafiğin az yoğun olduğu öğlen saatlerindeki partikül sayısından daha yüksek bulunmuştur. Hareketli kaynakların partikül maddeye direkt katkısı olduğundan taşıt sayısının artışıyla partikül madde sayısı ve konsantrasyonunda artış görülmüştür.

2. Araba içinde maruz kalınan partikül madde konsantrasyon miktarında havalandırmanın etkisinin büyük olduğu söylenebilir. Araba içinde hafta içi sabah yapılan ölçümlerde havalandırma açık ve kapalıyken bulunan PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonlarının ortalaması sırasıyla 73  g/m<sup>3</sup> ve 29  g/m<sup>3</sup>, öğlen yapılan ölçümlerde ise 59  g/m<sup>3</sup> ve 23  g/m<sup>3</sup>'tür. Dışarıdan hava alındığında konsantrasyonun yükselme nedeni olarak dışarıdaki taşıtların egzoz emisyonlarının araba içine girmesi olarak söylenebilir. Havalandırma kapalıyken araba içindeki hava sirküle edildiğinden hem dışarıdan kirli hava girişi  nlenmiş olmakta hem de klimanın filtrelerinde partiküller tutunduğundan partikül madde konsantrasyonunda azalma meydana gelmektedir. Partikül fraksiyonlarına göre değerlendirdiğimizde ise havalandırma kapalıyken 3  m'den büyük partiküllerin sayısında azalma olmamakta hatta artış görülmektedir. Egzoz emisyonu içinde bulunan partikül fraksiyonu ince partiküller olarak tanımlandığından ve havalandırma kapalıyken egzoz girişi önlendiğinden 3  m'den küçük partiküllerin miktarında bir azalma olacaktır. Ancak 3  m'nin üzerindeki partiküller genellikle araba içindeki insan hareketi gibi yerden toz havalanmasına neden olan başka sebeplerden kaynaklanmaktadır.

3. Metrobüs içinde yapılan ölçümlerde Belediye otobüsüne göre daha düşük PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları bulunmuştur. Metrobüste sabah ve  ğlen PM<sub>2.5</sub> konsantrasyonları ortalaması 46 ve 34  g/m<sup>3</sup>'tür. Belediye otobüsünde ise 89-109  g/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Metrobüs içinde filtreli klima sistemi bulunurken belediye otobüslerinde havalandırma doğal şekilde, camların açılmasıyla yapılmaktadır. Bu nedenle belediye

otobüslerinde partikül maddeyi azaltıcı yönde değil, aksine camların açılmasıyla dışarıdaki kirliliğin içeriye girmesine neden olan doğal havalandırma yapılmaktadır.

4. Yaya olarak yapılan ölçümlerde belediye otobüsü dışındaki diğer toplu taşıma araçlarına göre daha yüksek  $PM_{2.5}$  konsantrasyon değerlerine maruz kalındığı tespit edilmiştir. Dışarıda durakta beklerken ya da yürüme esnasında egzoz emisyonlarına direkt maruz kalınmaktadır. Bu nedenle yüksek  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları ölçülmüştür. Ayrıca trafik sıkışıklığının yaşandığı belli noktalarda ve kavşaklarda  $250-300 \mu g/m^3$ 'e ulaşan konsantrasyon değerlerine maruz kalınmıştır.

5. Yaya olarak ve Belediye otobüsü içinde yapılan partikül sayım sonuçlarına bakıldığında ince partikül fraksiyonunun ( $0.3-1 \mu m$ ) yanında kaba partikül fraksiyonu ( $3-10 \mu m$ ) sayısının da yüksek olduğu görülmektedir. Dışarıda durakta beklerken ya da yürüme esnasında egzoz emisyonları dışında taşıtların tekerlek hareketi ve rüzgar nedeniyle yerden havalanan tozlara da maruz kalınmaktadır. Belediye otobüsleri de teknik olarak ve havalandırma bakımından yetersizdir ve eskidir. Bu yüzden miktar olarak diğer ulaşım türlerine göre yaya ile belediye otobüsünde daha fazla kaba partiküle maruz kalınmaktadır.

6. Metro M1 (Aksaray-Havalimanı) ve M2 (Taksim-4.Levent) hatlarında tren içindeki  $PM_{2.5}$  konsantrasyonları sırasıyla  $73$  ve  $62 \mu g/m^3$ , makinist kabini içinde ise  $73$  ve  $50 \mu g/m^3$  olarak bulunmuştur. M1 hattında bulunan trenlerde klima sistemi, M2 hattındaki trenlerde ise filtreli klima sistemi bulunmaktadır. Bu sonuçlardan filtreli sistemlerin partikül madde gideriminde etkili olduğu söylenebilir. Bu nedenle M2 hattında daha düşük konsantrasyonlar ölçülmüştür.

7. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek  $PM_{2.5}$  konsantrasyonuna belediye otobüsünde, en düşük konsantrasyona ise araba içinde havalandırma kapalıyken (klima iç hava sirkülasyonu ile çalışır durumda iken) maruz kalındığı tespit edilmiştir. Metrobüs ve metroda yapılan ölçüm sonuçlarından filtreli klima sistemlerin  $PM_{2.5}$  konsantrasyonunda iyileşme sağladığı sonucu çıkartılmıştır. Ancak filtreli sistemlerin bakım ve temizliğinin düzenli olarak yapılması ve seçilen filtrelerin

standartlara uygun olması partikül giderim verimini arttıracakı kesindir. Yetkililer tarafından verilen bilgilere göre metrobüslerde filtrelerin bakım ve temizliği periyodik olarak yapılmaktadır. Ancak metrolarda filtre bakım ve temizliğinin henüz düzenli bir şekilde yapılmadığı, filtre yıkama ve değişiminin görevlilerin kendi karar mekanizmasına göre işlediği söylenmiştir. Bu nedenle metrolarda temizlik ve bakım işlerinin periyodik olarak yapılması metro tren içindeki partikül miktarının düşmesini sağlayacaktır.

8. Partikül sayım sonuçlarına genel olarak bakıldığında trafiğin yoğun olduğu çevrelerde ve taşıt içinde maruz kalınan partikülün büyük oranının çok ince partikül fraksiyonunda ( $<1 \mu\text{m}$ ) olduğu bulunmuştur. Trafik kaynaklı maruz kalınan partikül konsantrasyonunun ince fraksiyonda olması nedeniyle solunum sisteminde akciğer alveollerine kadar kolaylıkla ulaşabilmesi mümkündür. Bu nedenle insan sağlığı üzerinde daha kötü etkilere sebep olacağı söylenebilir.

## KAYNAKLAR

1. ATIMTAY, A., EMRİ, S., BAGCI, T., DEMİR, A.U., 2000, Urban CO Exposure and Its Health Effects on Traffic Policemen in Ankara, *Environmental Research*, 222-230(9).
2. BATES D., V., 2005, A Perspective on Air Pollution, 432-434.
3. BRUNEKREEF B., HOLGATE T., S., 2002, Air Pollution and Health, 360, 1233-42.
4. CHAN, LAU, W.L., ZOU, S.C., Z.X., CAO, S.,C., LAI, 2002, Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China, 36 (2002), 5831–5840
5. CHAN, C., C., YAO, X., 2007, Air pollution in mega cities in China, *Atmospheric Environment*, 42 (2008), 1–42.
6. DELFINO, R.J., QUINTANA P.J.E., E., FLORO, J., GASTANAGA, V.M., SAMIMI, B.S., KLEINMAN M.T., ve diğ., 2004, Association of FEV1 in asthmatic children with personal and microenvironmental exposure to airborne particulate matter, *Environ Health Perspect*, 112:932-41.
7. DİNÇER, C., ELBİR, T., 2007, Estimating national exhaust emissions from railway vehicles in Turkey, *Science of The Total Environment*, 127-134.
8. FRUIN, S., WESTERDAHL, D., SAX, T., SIOUTAS, C., FINE, P.M., 2008, Measurements and predictors of on-road ultrafine particle concentrations and associated pollutants in Los Angeles. *Atmospheric Environment*, 42 (2008), 207–219
9. GETRLER, A., W., 2005, Diesel vs. gasoline emissions: Does PM from diesel or gasoline vehicles dominate in the US?, *Atmospheric Environment*, 39 (2005), 2349–2355.
10. GOMEZ-PERALES, J.E., COLVILE, R.N., NIEUWENHUIJSEN, M.J., FERNANDEZ-BREMAUNTZ, A., GUTIERREZ-AVEDOY, V.J., PARAMO-FIGUEROA, V.H., BLANCO-JIMENEZ, S., BUENO-LOPEZ, E., MANDUJANO, F., BERNABE-CABANILLAS, R., ORTIZ-SEGOVIA, E., 2004, Commuters' exposure to PM2.5, CO, and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City, *Atmospheric Environment*, 38 (2004) 1219–1229.
11. HARRISON, R.M., YIN, J., 2000, Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *The Science of the Total Environment*, 249 (2000), 85-101.

12. IM, Ü., Ünal, A., KINDAP, T., YENİGÜN, O., INCECIK, S., 2008, İstanbul İçin Yüksek Çözünürlükte Emisyon Envanteri. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu-2008, 22-25 Ekim 2008, Hatay*, 383-394 sayfa.
13. IVLEV, L.S., DOVGALYUK, Y.A., 1999, Fizika atmosferynh aerazol'nyh sistem (*Физика атмосферных аэрозольных систем*), *Fizika atmosferynh aerazol'nyh sistem*, НИИХ СПбГУ, 194.
14. KAMPA, M., CASTANAS E., 2007, Human Health Effects of Air Pollution. *Environmental Pollution*, 151 (2008), 362-367.
15. KAUR, S., CLARK, R.D.R., WALSH, P.T., ARNOLD, S.J., COLVILE, R.N., NIEUWENHUIJSEN, M.J., 2006, Exposure visualization of ultrafine particle counts in a transport microenvironment, *Atmospheric Environment*, 40 (2006) 386–398.
16. KIELY, G., 1996, Environmental Engineering, McGraw-Hill Publishing Company, USA, 0-07-709127-2.
17. KOSE, F., 2008, Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Araştırılması ve Azaltma Kontrolü, *Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu 30-31 Mayıs 2008, Konya*, 251-262 sayfa.
18. LONATI, G., GIUGLIANO, M., 2006, Size distribution of atmospheric particulate matter at traffic exposed sites in the urban area of Milan (Italy), *Atmospheric Environment*, 40 (2006) S264–S274.
19. MASTERS, G., M., 1991, *Introduction to Environmental Engineering an Science*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 0-13-483066-0.
20. MANGIR ve diğ., İstanbul'da trafikten kaynaklanan emisyon envanterinin çıkartılması, 2008, *Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu 30-31 Mayıs 2008, Konya*, 263-271 sayfa.
21. MÜEZZİNOĞLU, A., 2005, *Hava kirliliği ve kontrolünün esasları*, Dokuz Eylül Yayınları, İzmir, 975-6981-36-9.
22. PIRES, J.C.M., SOUSA, S.I.V., PEREIRA, M.C., ALVIM-FERRAZ, M.C.M., MARTINS, F.G., 2007, Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis—Part I: SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>, *Atmospheric Environment*, 42 (2008), 1249–1260.
23. RIEDIKER, M., CASCIO, W.E, GRIGGS, T.R., HERBST, M.C., BROMBERG P.A., NEAS, L. ve diğ., 2004, Particulate matter exposure in cars is associated with cardiovascular effects in healthy young men, *Am J Respir Crit Care*, 169:934-40.

24. ŞENER, S., YILDIRIM, M., 2000, *Toksikoloji*, Teknik Yayıncılık, İstanbul, 975-6670-00-2.
25. USEPA, 2008, <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/index.htm>, [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008].
26. USEPA, 2008, *Characteristics of particles – Surface Area and Volume*, [http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/area\\_vol/area\\_vol.htm](http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/area_vol/area_vol.htm), [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008].
27. USEPA, 2008, *Characteristics of particles – aerodynamic Diameter*, <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/diameter/diameter.htm>, [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008]
28. USEPA, 2008, *Characteristics of particles – Particle Size Categories*, <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/category/category.htm>, [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008]
29. USEPA, 2008, *Characteristics of particles – Size Distribution*, <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/distribu/distribu.htm>, [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008]
30. USEPA, 2008, *Characteristics of particles – Particle formation*, <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/formation/formate.htm>, [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008]
31. USEPA, 2008, *Characteristics of particles – Collection Mechanisms*, <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/collect/collect.htm>, [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008]
32. USEPA, 2008, *Review Exercises Basic Concepts in Environmental Sciences APTI USEPA*, <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/review3/review3.htm>, [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008]
33. USEPA, *BCES: Module 3 - Characteristics of Particles, Aerodynamic diameter* [online], <http://www.epa.gov/air/oaqps/eog/bces/module3/diameter/diameter.htm#fig1>, [Ziyaret Tarihi: 25 Temmuz 2008]
34. The State of Queensland (EPA), 2008, *Air Pollutants* [online], [http://www.epa.qld.gov.au/environmental\\_management/air/air\\_quality\\_monitoring/air\\_pollutants/](http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/air/air_quality_monitoring/air_pollutants/), [Ziyaret Tarihi: 28 Temmuz 2008]
35. The State of Queensland (EPA), 2008, *Airborne Particulates* [online], [http://www.epa.qld.gov.au/environmental\\_management/air/air\\_quality\\_monitoring/air\\_pollutants/airborne\\_particulates/](http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/air/air_quality_monitoring/air_pollutants/airborne_particulates/) [Ziyaret tarihi: 28 Temmuz, 2008]

36. The State of Queensland (Environmental Protection Agency), 2008, *Nitrogen oxides* [online], [http://www.epa.qld.gov.au/environmental\\_management/air/air\\_quality\\_monitoring/air\\_pollutants/nitrogen\\_oxides/](http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/air/air_quality_monitoring/air_pollutants/nitrogen_oxides/) [Ziyaret tarihi: 28 Temmuz, 2008]
37. The State of Queensland (Environmental Protection Agency), 2008, *Sulfur Dioxide*, [http://www.epa.qld.gov.au/environmental\\_management/air/air\\_quality\\_monitoring/air\\_pollutants/sulfur\\_dioxide/](http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/air/air_quality_monitoring/air_pollutants/sulfur_dioxide/), [Ziyaret tarihi: 28 Temmuz 2008]
38. The State of Queensland (Environmental Protection Agency), 2008, *Ozone*, [http://www.epa.qld.gov.au/environmental\\_management/air/air\\_quality\\_monitoring/air\\_pollutants/ozone/](http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/air/air_quality_monitoring/air_pollutants/ozone/) [Ziyaret tarihi: 28 Temmuz 2008 ]
39. The State of Queensland (Environmental Protection Agency), 2008, *Carbon Monoxide*, [http://www.epa.qld.gov.au/environmental\\_management/air/air\\_quality\\_monitoring/air\\_pollutants/carbon\\_monoxide/](http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/air/air_quality_monitoring/air_pollutants/carbon_monoxide/), [Ziyaret tarihi: 28 Temmuz 2008]
40. The State of Queensland (Environmental Protection Agency), 2008, *Airborne Lead*, [http://www.epa.qld.gov.au/environmental\\_management/air/air\\_quality\\_monitoring/air\\_pollutants/airborne\\_lead/](http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/air/air_quality_monitoring/air_pollutants/airborne_lead/), [Ziyaret tarihi: 28 Temmuz 2008]
41. Zaman.com.tr, 2008, *Metrobüs hattının uzunluğu 30 kilometreye ulaştı*, <http://www.zaman.com.tr/haber.do?haberno=735389>, [Ziyaret tarihi: 7 Ekim 2008]
42. NTVMSNBC, 2008, *Metrobüs 45 saniyede bir sefer yapacak*, <http://www.ntvmsnbc.com/news/458323.asp>, [Ziyaret tarihi: 7 Ekim 2008]
43. WATKISS, P., STEVE P. ve diğ., 2005, Baseline scenarios for service contract for carrying out cost-benefit analysis of air quality related issues, in particular in the clean air for Europe (CAFE) programme. *AEA Technology Environment*, (2005), 1–122.
44. Wikipedia, 2008, *European emission standards*, [http://en.wikipedia.org/wiki/European\\_emission\\_standards](http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards), [Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2008]
45. WILSON, W.E., CHOW, J.C., CLAIBORN, C., FUSHENG, W., ENGELBRECHT, J., WARSON, J.G., 2002, Monitoring of particulate matter outdoors, *Chemosphere*, 49, 1009-1043.
46. WROBEL, A., ROKITA, E., MAENHAUT, W., 2000, Transport of traffic-related aerosols in urban areas, *The Science of the Total Environment*, 257 (2000) 199-211.
47. YILMAZ, H.L., 2008, *Karbon Monoksit Zehirlenmesi*, 1-5, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi,

[http://cat.cu.edu.tr/Egitim/KARBON%20MONOKSİT%20ZEHİRLENMESİ\\_kİTA\\_P\\_Levent.pdf](http://cat.cu.edu.tr/Egitim/KARBON%20MONOKSİT%20ZEHİRLENMESİ_kİTA_P_Levent.pdf), [Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2008]



## **ÖZGEÇMİŞ**

Baktıgöl STAKEEVA 1982 yılında Kırgızistan'da Bişkek'te doğdu. 2000 yılında Abdrazzakova Atbaşı devlet lisesinden mezun oldu. Aynı yıl Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Lisans öğrenimine başladı. 2005 yılında Lisans Öğrenimi bitirdi ve aynı yıl Bişkek Devlet Çevre Koruma Yönetim'inde çalıştı. 2006 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.