



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İSTANBUL'DA ENDÜSTRİYEL BİR BÖLGEDE
ÖRNEKLENEN PARTİKÜL MADDENİN İYONİK
KARAKTERİZASYONU**

**Çevre Müh. Rimma SADENOVA
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Burcu ONAT**

Haziran, 2012

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İSTANBUL'DA ENDÜSTRİYEL BİR BÖLGEDE
ÖRNEKLENEN PARTİKÜL MADDENİN İYONİK
KARAKTERİZASYONU**

**Çevre Müh. Rimma SADENOVA
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Burcu ONAT**

Haziran, 2012

İSTANBUL

Bu çalışma 26/06/2012 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
Mühendislik Fakültesi



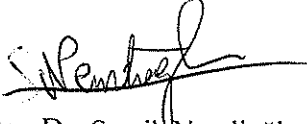
Prof.Dr. Neşe TÜFEKÇİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr. Gürcan ORALTAY
Marmara Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç.Dr. Gülin Selda POZAN SOYLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç.Dr. Semih Nemlioğlu
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Burcu Onat'a en içten dileklerimle teşekkür ederim. Yüksek lisans tezimin hazırlanması sırasında benden yine desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Ülkü ŞAHİN'e ve iyon kromatografi cihazı ile iyon analizlerimde yardımcı olan değerli hocam Yard.Doç.Dr. Serdar Aydın'a teşekkür ederim.

Haziran, 2012

Rimma Sadenova

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1. HAVA KİRLİĞİNE GENEL BAKIŞ	2
2.2. ATMOSFERİK PARTİKÜL MADDE	3
2.2.1. Partikül Madde Tanımı Ve Kaynakları	3
2.2.2. Partikül Maddelerin Kaynakları ve Oluşumu	4
2.2.3. Partikül Maddelerin Fiziksel Özellikleri	7
2.2.3.1. PM Boyutu	7
2.2.3.2. PM Boyutunun Önemi	8
2.2.4 Partikül Maddelerin Kimyasal Özellikleri	8
2.2.5. Partikül Maddenin Çevreye Etkileri	10
2.2.5.1. Partikül Maddenin İnsan Sağlığına Etkisi	10
2.2.5.2. PM'in Görüş Mesafesine Etkileri	13

2.2.5.3. Partikül maddelerin bitkiler üzerine etkileri.....	13
2.2.5.4. PM'in Dünya İklimine Etkileri.....	14
2.2.6. Hava Kalitesi Örneklem Sistemleri	14
2.2.6.1.Filtre Seçimi.....	14
2.2.6.2. Boyut Seçici Örnek Girişi Olmayan Örneklem Sistemleri.....	14
2.2.6.3. Partikül Boyut Ayırmalı Örneklem Sistemleri	15
2.2.7. Partikül Madde Sınır Değerleri	16
2.2.7.1. Çeşitli Ülkelerde Havadaki Partikül Madde İle İlgili Sınır Değerleri	16
2.2.7.2. Ülkemizde Partikül Madde Sınır Değerleri	17
2.2.8. Dünya’da PM’nin İyon Kompozisyonu Belirlenmesi Konusunda Yapılmış Çalışmalar.....	18
3.MATERYAL VE METOD.....	25
3.1. ÖRNEKLEME BÖLGESİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	25
3.1. 1. Çalışma Bölgesinin Coğrafi Durumu	25
3.1.2. Örneklemenin Yapıldığı İstasyon Tanımı	25
3.1.3. Meteorolojik Şartların Değerlendirilmesi	26
3.2. ÖRNEKLEMEDE KULLANILAN CİHAZLAR.....	27
3.3. ÖRNEKLEME METODOLOJİSİ.....	29
3.4. ÖRNEKLERİN ANALİZİ	30
3.4.1. Kütleli Konsantrasyonun Belirlenmesi.....	30
3.4.2. İyon Kompozisyonunun Belirlenmesi	30
4. BULGULAR.....	32
4.1. PARTİKÜL MADDE KÜTLESEL KONSANTRASYONU	32
4.2. PM KONSANTRASYONLARININ STANDARTLARLA KARŞILAŞTIRILMASI	35

4.3. METEOROLOJİNİN ETKİSİ	37
4.4. PM KONSANTRASYONLARININ METEOROLOJİK PARAMETRELER İLE KORELASYONU	43
4.5 İYON VERİLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ	48
4.5.1 İyon Derişimlerinin Belirlenmesi.....	48
4.5.2. Anyon katyon kütle denklği	49
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	52
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ.....	61

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1	: PM boyutunun insan saçı ve plaj kumu karşılaştırılması.....	8
Şekil 2	: Partikül maddelerin akciğer üzerinde yaptığı tahribat	11
Şekil 3.1	: Çalışma bölgesi ve örnekleme noktası	26
Şekil 3.2	: Partisol-FRM MODEL 2000 AIRSAMPLER cihazı.....	27
Şekil 3.3	: Cihazda PM _{2.5} ve PM ₁₀ örnekleme için kullanılan başlıklar	28
Şekil 3.4	: Partikül madde örnekleme sistemi şeması	28
Şekil 3.5	: Toz konsantrasyonunun belirlenmesi.....	29
Şekil 4.1	: PM ₁₀ 'un aylara göre ortalama konsantrasyonları.....	33
Şekil 4.2	: PM ₁₀ 'un aylara göre ortalama konsantrasyonları.....	33
Şekil 4.3	: İstasyonda örneklenen PM ₁₀ konsantrasyonlarının zamansal değişimi	34
Şekil 4.4	: İstasyonda örneklenen PM _{2.5} konsantrasyonlarının zamansal değişimi	35
Şekil 4.5	: 24 saatlik PM ₁₀ konsantrasyonu WHO sınır değerleri ile karşılaştırması.....	36
Şekil 4.6	: 24 saatlik PM _{2.5} konsantrasyonunun EPA sınır değerleri ile karşılaştırması.	37
Şekil 4.7	: PM ₁₀ konsantrasyonu ile nem arasındaki ilişki	38
Şekil 4.8	: PM _{2.5} konsantrasyonu ile nem arasındaki ilişki.....	38
Şekil 4.9	: PM ₁₀ konsantrasyonu ile sıcaklık arasındaki ilişki.....	39
Şekil 4.10	: PM _{2.5} konsantrasyonu ile sıcaklık arasındaki ilişki	39
Şekil 4.11	: PM ₁₀ konsantrasyonu ile basınç arasındaki ilişki	40
Şekil 4.12	: PM _{2.5} konsantrasyonu ile basınç arasındaki ilişki	40
Şekil 4.13	: PM ₁₀ konsantrasyonu ile yağış arasındaki ilişki.....	41
Şekil 4.14	: PM _{2.5} konsantrasyonu ile yağış arasındaki ilişki	41
Şekil 4.15	: PM ₁₀ konsantrasyonu ile rüzgar hızı arasındaki ilişki.....	42
Şekil 4.16	: PM ₁₀ örnekleme süresince bölgedeki hakim rüzgar yönleri	42
Şekil 4.17	: PM _{2.5} örnekleme süresince bölgedeki hakim rüzgar yönleri.....	43
Şekil 4.18	: PM ₁₀ konsantrasyonları ve nem arasındaki korelasyon	44
Şekil 4.19	: PM _{2.5} konsantrasyonları ve nem arasındaki korelasyon.....	44
Şekil 4.20	: PM ₁₀ konsantrasyonları ve sıcaklık arasındaki korelasyon.....	45
Şekil 4.21	: PM _{2.5} konsantrasyonları ve sıcaklık arasındaki korelasyon	45
Şekil 4.22	: PM ₁₀ konsantrasyonları ve basınç arasındaki korelasyon	46
Şekil 4.23	: PM _{2.5} konsantrasyonları ve basınç arasındaki korelasyon	46
Şekil 4.24	: PM ₁₀ konsantrasyonları ve yağış arasındaki korelasyon.....	47
Şekil 4.25	: PM _{12.5} konsantrasyonları ve yağış arasındaki korelasyon.....	47
Şekil 4.26	: PM ₁₀ 'da anyon ve katyonların oranı	49

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Partiküllerin insan sağlığı üzerinde yaptığı olumsuz etkiler	12
Tablo 2.2	: Dünyanın çeşitli ülkelerinde PM ₁₀ ve PM _{2,5} sınır değerleri.....	17
Tablo 2.3	: Partikül Madde için Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY) Standartları.....	17
Tablo 2.4	: Önceden yapılmış çalışmalar	22
Tablo 3.1	: Anyon analizlerde kullanılan İyon kromatografi cihazının teknik özellikleri	31
Tablo 3.2	: Katyon analizlerde kullanılan İyon kromatografi cihazının teknik özellikleri	31
Tablo 4.1	: PM ₁₀ ve PM _{2.5} konsantrasyonlarına ait İstatistiksel Değerler (µg/m ³)	33
Tablo 4.2	: PM ₁₀ iyon derişimlerinin istatistiksel değerleri.....	48
Tablo 4.3	: PM ₁₀ Korelasyon Matrisi.....	51

SEMBOL LİSTESİ

CO	: karbon monoksit
E	: doğu
EPA	: Environmental Protection Agency – Amerika Çevre Koruma Örgütü
HKDYY	: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
HKKY	: Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği
İMBM	: İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğü
KVD	: Kısa Vadeli Değer
KVS	: Kısa Vadeli Sınır Değerler
N	: kuzey
NE	: kuzeydoğu
NW	: kuzeybatı
PCB	: çok klorlanmış bifeniller
PM	: partikül maddeler
PM₁	: aerodinamik çapı 1µm'nin altında olan partikül maddeler
PM_{2.5}	: aerodinamik çapı 2.5 mikrometrenin altında olan partikül maddeler
PM_{10-2.5}	: aerodinamik çapı 10 µm ile 2,5µm arasında olan partikül maddeler
PM₁₀	: aerodinamik çapı 10 mikrometre olan partikül maddeler
PTFE	: polytetrafluoroethylene
S	: güney
SE	: güneydoğu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskop
SO_x	: kükürt oksitler
SW	: güneybatı
TSP	: toplam askıda katı madde
UVD	: Uzun Vadeli Değer
UVS	: Uzun Vadeli Sınır Değerler
W	: batı
WHO	: World Health Organization - Dünya Sağlık Teşkilatı

ÖZET

İSTANBUL'DA ENDÜSTRİYEL BİR BÖLGEDE ÖRNEKLENEN PARTİKÜL MADDENİN İYONİK KARAKTERİZASYONU

Bu çalışmada, Ekim 2010-Ocak 2012 döneminde İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi'nde toplanan partikül madde örneklerinde kütle ve iyon derişimleri belirlenmiştir. Partikül madde örnekleri (PM_{10} ve $PM_{2.5}$) refererans metoda göre çalışan PARTISOL FRM partikül örnekleyici kullanılarak 24 saatlik süreyle filtreler üzerinde toplanmıştır. Suda çözünebilen iyon derişimleri (Cl^- , F^- , Br^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) a iyon kromatografisi kullanılarak belirlenmiştir.

PM_{10} için 24 saatlik ortalama en yüksek konsantrasyon $126,4 \mu g/m^3$ Kasım 2010'da, en düşük $3,74 \mu g/m^3$ Ocak 2010'da, $PM_{2.5}$ için ise 24 saatlik ortalama en yüksek konsantrasyon $101,05 \mu g/m^3$ Kasım 2011'de, en düşük $11,64 \mu g/m^3$ olarak Kasım 2011'de tespit edilmiştir.

PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyon değişiminin bazı meteorolojik parametreler ile ilişkisi (nem, sıcaklık, basınç, yağış) incelenmiş, anlamlı bir korelasyon tespit edilememiştir. Yağışlı günlerde ve rüzgar hızının $3 m/sn$ 'den yüksek olduğu günlerde düşük partikül madde konsantrasyonları gözlenmiştir. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ örneklenen dönemlerde hakim rüzgar yönleri Kuzey (N) ve Kuzeydoğu (NE) olarak tespit edilmiştir.

PM_{10} örneklerinin suda çözülebilen anyon ve katyon derişimleri iyon kromatografisi ile analiz edilerek belirlenmiştir. PM_{10} 'da en yüksek gözlenen iyon derişimleri sırasıyla SO_4^{2-} (%30), NO_3^- (%24), Na^+ (%16), Cl^- (%11) ve Ca^{+2} (%11) olarak bulunmuştur. NO_2^- , F^- , Br^- , PO_4^{3-} , K^+ , NH_4^+ , Mg^{+2} ise düşük derişimlerde gözlenmiştir.

Korelasyon analizi sonuçlarına göre özellikle PM_{10} , Ca^{+2} ve Mg^{+2} arasında güçlü ilişki olduğu görülmüş, örnekleme noktasında yerden havalanan cadde tozunun etkili olduğu anlaşılmıştır. Cl^- iyonu Mg^{+2} arasındaki anlamlı korelasyon ve NO_3^- ve SO_4^{2-} arasında gözlenen anlamlı korelasyon, örnekleme noktasında yakma kaynaklı emisyonların etkin olduğunu göstermiştir.

SUMMARY

THE IONIC CHARACTERIZATION OF PARTICULATE MATTER SAMPLED FROM AN INDUSTRIAL AREA IN ISTANBUL

In this study, the mass and ionic concentrations were determined in atmospheric particulate (PM₁₀ and PM_{2.5}) samples which were collected at Istanbul University Avcılar Campus during October 2010 to January 2012. 24 hours particulate matter samples were collected using PARTISOL FRM particulate sampler with reference method. Ionic concentrations (Cl⁻, F⁻, Br⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Mg⁺², Ca⁺²) were determined in PM₁₀ fraction.

The highest mean concentration of 24 hours for PM₁₀ was 126,4 µg/m³, measured in November 2010, the lowest value was 3,74 µg/m³, measured in January 2011. The highest mean concentration of 24 hours for PM_{2.5} was 101,05 µg/m³, measured in November 2010, the lowest value was 11,64 µg/m³, measured in November 2011.

The relationship between some meteorological parameters (humidity, temperature, pressure, rainfall) were investigated and a significant correlation was not found. The decrease in the concentration of PM was observed in the rainy days, with increasing the strength of wind speed (>3 m/sn). The prevailing wind directions were observed the North (N), Northeast (NE) for PM_{2.5} and PM₁₀.

The water-soluble anion and cation concentration was determined using ion chromatography. It was found that, in PM₁₀ fraction were more SO₄²⁻ (%30), NO₃⁻ (%24), Na⁺ (%16), Cl⁻ (%11) and Ca⁺² (%11) ions. NO₂⁻, F⁻, Br⁻, PO₄³⁻, K⁺, NH₄⁺, and Mg⁺² concentrations were low.

As a results of the correlation analysis, a strong correlation was found between PM₁₀, Ca⁺² and Mg⁺², it is observed that the resuspension of road dust is effective source. Additionally, a strong correlation was found between Cl⁻ and Mg⁺²; NO₃⁻ and SO₄²⁻. It is related with the combustion activities around the sampling station.

1. GİRİŞ

Atmosfer kirliliği düzeyleri düzenli olarak izlenmesine rağmen halen kabul edilen sınırların üzerinde seyretmektedir. Hava kirliliği özellikle endüstriyel tesislerden, konutlarda yakılan fosil yakıtlardan ve motorlu taşıt egzozlarından kaynaklanmaktadır. Hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığına etkileri dikkate alındığında, partikül maddeler (PM) kirleticiler içerisinde önemli bir yere sahiptir. PM'ler doğal veya antropojenik kökenli olabilirler. Kurşun, kadmiyum, civa gibi ağır metaller ve kanserojen kimyasallar içeren PM'ler sağlık açısından oldukça önemlidir. Partikül boyutu ile sağlık etkisi birbirleriyle bağlantılıdır. Partikül çapı küçüldükçe olumsuz sağlık etkisi artar. Partiküller; tanecik boyutları, koyuluğu, kimyasal bileşimi, ve sağlık etkileri potansiyeline göre geniş çapta değişim gösterirler. Kentsel alanlardaki partikül konsantrasyonları büyük ölçüde kaynak tiplerine bağlıdır. Ayrıca PM konsantrasyonları aynı şehrin içinde ve/veya şehirden şehre büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Atmosferik PM fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından, önemli çevresel ve sağlık etkileri dolayısıyla izlenmesi, değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi gereken bir hava kirleticidir.

Bu çalışmanın amacı İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi'nde toplanan atmosferik partiküllerin ($PM_{2.5}$ ve PM_{10}) kütle konsantrasyonlarının ölçülmesi ve PM_{10} 'un suda çözünabilir iyon derişimlerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda partikül madde örnekleyici ile referans yöntemle toplanan PM örneklerinin konsantrasyonları ulusal ve uluslararası hava kalitesi sınır değerleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiş, meteorolojik şartların PM konsantrasyonları üzerindeki etkisini inceleyebilmek için meteorolojik parametrelerle kirlilik konsantrasyonları arasındaki ilişki araştırılmıştır. PM'in iyon derişim kompozisyonunu belirleyen kaynakların neler olduğu tartışılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. HAVA KİRLİLİĞİNE GENEL BAKIŞ

Çevre, içinde yaşadığımız mekan, soluduğumuz hava, içtiğimiz su, kısaca etrafımızdaki her şey olarak tanımlanabilir (Traversi, 2011). İnsan, çevrenin bir parçası olduğu için çevreyi etkileyen ve bozan faktörler insanı da etkilemektedir. Çevre kirliliği; insanların her türlü faaliyetleri sonucu havada, suda ve toprakta meydana gelen olumsuz gelişmelerle ekolojik dengenin bozulması ve aynı faaliyetler sonucu ortaya çıkan koku, gürültü ve atıkların çevrede meydana getirdiği arzu edilmeyen sonuçlardır (Akçay, 2000).

Son yıllardaki hızlı nüfus artışı, endüstriyel devrim ile birlikte, dünya çapında şehirlerin büyümesi, araç kullanımının artması büyük şehirlerdeki çevre kirliliği sorunlarını da beraberinde getirmektedir (Yatkın ve Bayram, 2007). Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, hava kirliliğini oluşturan değişik kaynaklar bulunmaktadır. Bu kaynaklar endüstri düzeyinin yoğunluğu ve trafikteki motorlu taşıtların varlığı ile değişmektedir (Booth ve diğ., 1993).

Hava kirliliği temel olarak; volkanik patlamalar, orman yangınları gibi doğal kaynaklardan ve antropojenik (insan aktivitelerine bağlı olarak oluşabilen) yapay kaynaklardan meydana gelmektedir. Hava kirleticilerin en önemli antropojenik kaynakları araçlardan kaynaklanan emisyonlar, endüstriyel faaliyetler, fosil yakıt yakılması olarak söylenebilir (Davis ve Gay, 1993). Ayrıca endüstrilerde birçok kimyasal maddenin üretimi, ayrışması, buharlaşması ve benzeri işlemler sonucunda oluşan insan sağlığını kötü yönde etkileyen emisyonlar atmosfere verilmektedir (Afroz ve diğ., 2003).

Isınmadan kaynaklanan hava kirliliği ev ve işyerlerinde ısınmak amacıyla katı (kömür), sıvı (fueloil) ve gaz (doğal gaz) gibi fosil yakıtların yakılmasıyla meydana gelmektedir.

Bu yakıtların yanması sonucu kükürt oksitler (SO_x), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO) ve PM gibi hava kirleticileri atmosfere verilir. Isınma sistemlerinden kaynaklanan hava kirliliği yakıt özelliğine ve yakma sistemine bağlı olarak değişiklik gösterir. Ortaya çıkan bu kirleticiler, yerleşim alanlarında yaşanan hava kirliliğinin önemli bir bölümünden sorumludur. Özellikle kış mevsiminde, ısınmaya duyulan ihtiyaçla birlikte kentlerin ve burada yaşayan insanların sağlığını tehdit etmektedir.

Ulaşım kaynaklı hava kirliliği, nüfus artışı ve gelir düzeyinin yükselmesiyle birlikte, motorlu taşıtların sayısının hızla artması nedeniyle şehirlerde en önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Araçların egzozlarından çıkan hava kirleticiler; CO, PM (is, toz, tanecik vs.), NO_x ve hidrokarbonlardır (HC).

Sanayi faaliyetlerinden kaynaklanan hava kirliliği proses kaynaklı ve yakma kaynaklı olarak ikiye ayrılır. Endüstrilerde ısı veya su buharı üretmek amacıyla fosil yakıtların yakılması sonucu yanma gazları ve üretim aşamasında oluşan proses kaynaklı emisyonlar atmosfere verilmektedir (Tecer, 2011).

Türkiye'de endüstrinin yoğunlaştığı veya yer seçimindeki yanlış tutum sonucu daha önce şehirlerin yakınında iken, bugün şehir içinde üretimlerine devam eden kuruluşlara yakın bölgelerde, çok ciddi boyutlarda hava kirliliğinin olduğu görülmektedir. Sanayi kuruluşlarına bağlı hava kirliliğinin bir bölümü, kuruluştaki kullanılan teknoloji ile de ilgilidir (Can ve Eryener, 1997).

2.2. ATMOSFERİK PARTİKÜL MADDE

2.2.1. Partikül Madde Tanımı Ve Kaynakları

Atmosferik partikül maddeler önemli çevresel etkileri nedeniyle izlenmesi ve kontrol edilmesi gereken bir hava kirleticidir. Özellikle havada uzun süre askıda kalabilen aerodinamik çapı 10 mikrondan küçük partiküller (PM₁₀) ve aerodinamik çapı 2.5 mikronun altında olan ince partikül maddeler (PM_{2,5}) son yıllarda çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Atmosferik partikül madde genelde ince katı veya sıvı maddelerin oluşturduğu süspansiyon olarak tanımlanır. Literatürde aerosol olarak da geçer ve PM (partikül madde) olarak kısaltılarak ifade edilir. Partikül boyutu genellikle aerodinamik

çap olarak ifade edilir ve birkaç nanometreden (nm) onlarca mikrometre (μm) çap aralığında değişim gösterir (Perrino, 2010). Partikül madde miktarı genellikle birim hacimdeki kütle veya parçacık adedi olarak verilir (Bulut, 2008).

Geçtiğimiz yüzyılda PM oluşumuna sebep olan insan kaynaklı emisyonlar çarpıcı bir biçimde artmış ve buna bağlı olarak insan sağlığında olumsuz etkilere, kentsel ve kırsal alanlarda görüş mesafesinde düşüşe, asit birikimine ve dünyanın radyasyon dengesinin bozulmasına sebep olmuştur (Kindap, 2006).

PM'nin belirlenen en önemli çevresel etkileri arasında solar enerji ve görüş mesafesini düşürmeleri, güneş ışığını azaltmaları dolayısıyla çeşitli tarım ürünlerinin rekoltesini düşürmeleri, hava-su transferi ile sucul ekosistemleri etkilemeleri, uzun mesafe taşınımları ile deniz ekosistemini etkilemeleri, yüksek konsantrasyonlarda solunuma bağlı şikayetlere yol açması ve solunabilir kısımlardaki ağır metaller dolayısıyla toksisite yaratmaları öne çıkmaktadır (Polissar ve diğ., 2001). Ayrıca, atmosferde PM varlığı astım atakları, öksürük, solunum yolu tahrişi, solunum güçlüğü, kronik bronşit, cenin ölümleri gibi sağlık etkilerine neden olabilir (www.epa.gov).

Partiküllerin büyüklüğü, kirletici kaynaklarının belirlenmesi, sağlık etkilerinin, iklim üzerindeki etkilerinin, atmosferdeki kalış sürelerinin ve atmosferden süpürülme mekanizmalarının anlaşılması yönünden çok önemlidir (Polissar ve diğ., 2001).

2.2.2. Partikül Maddelerin Kaynakları ve Oluşumu

Atmosferik PM iki farklı kaynaktan oluşmaktadır: doğal kaynaklar ve antropojenik kaynaklar. PM'nin doğal kaynakları polenler, bakteriler, viruslar, fungi sporlar, bitki lifleri gibi biyolojik aerosoller ve volkan patlamaları, çöl tozları gibi atmosfere verilen tozlardır. Antropojenik kaynakları ise fosil yakıt kullanımı, endüstriyel faaliyetler, trafik gibi insan aktiviteleridir (Kiley, 1996, Din ve Pooley., 2011).

Solunabilir PM değişik kaynaklardan oluşmaktadır. Volkan patlamaları, fırtınalar, orman yangınları gibi doğal kaynaklardan oluşanlara göre, elektrik santralleri, endüstriyel prosesler, yakıtların yanması gibi yapay kaynaklardan oluşan partiküller, solunabilirlik açısından daha fazla önem gösterirler. Çöller ve aktif volkanların

bulunduğu bölgelerde doğal kaynakların PM konsantrasyonlarına etkisi çok daha büyüktür. İnce partiküller otomobiller, güç santralleri, odun fırınları gibi yanma kaynaklarından yayılan uçucu maddelerin yoğunlaşmasından veya atmosferde reaksiyona giren prekürsör gazlardan meydana gelir. Doğal yolla oluşan kaba partiküller primer olarak alüminosilikatlardan oluşur. Partikül kirliliğı kardiyak ve solunum yolu hastalıkları nedeniyle hastaneye yatış ve solunum yollu hastalıklarına bağılı ölüm sayılarının artmasına neden olur (Öztürk, 2008, Özdemir ve diğ., 2011).

Hızlı sanayileşme ve nüfus artışına paralel olarak fosil yakıt tüketiminin fazlalaşması dünyanın birçok bölgesinde atmosferdeki PM konsantrasyonlarının artmasına yol açmıştır. Hem endüstriyel hem de evsel yanma prosesinden çok çeşitli irilik ve yapılar da partiküller oluşabilmektedir. Genellikle şehir atmosferindeki PM konsantrasyonlarının büyük bir kısmından bu tür kaynaklar sorumludur. Kömür yakan soba ve kazan bacalarından PM içeriğı yüksek emisyonlar havaya yayılmaktadır.

Trafik; hem ince hem de kaba fraksiyon birincil partiküllerin, organik gazların ve daha sonra nitrat aerosollerini oluşturan azot oksitlerin önemli bir kaynağıdır. Trafikten kaynaklanan partikül emisyonlarını iki kategoride toplamak mümkündür; taşıt eksozları ve taşıtların tekerlek, debriyaj ve fren gibi diğ er aksamından oluşan partiküller (Silva ve diğ., 1997).

Dizel egzoz dumanı ince partiküllerin major kaynaklarından biridir ve karsinojeniktir. Dizel emisyon partiküllerinin önemli bir oranının aerodinamik çapı 0.1 µm 'den küçüktür. Bu partiküller önemli miktarlarda elementel karbon, aynı zamanda absorplanmış veya yoğunlaşmış hidrokarbonlar, hidrokarbon türevleri, kükürt bileşenleri ve diğ er maddeleri içerebilir. Okul servis araçları genellikle dizel motorlu araçlardır ve çocuklar bu nedenle dizel egzoz dumanına daha çok maruz kalabilmektedir (Lipkea ve diğ., 1979).

Çimento, kireç, taş ocakları, gerekli önlemleri almadan çalıştıkları zaman partikül madde emisyonuna sebep olurlar. Maden işleme tesisleri de önemli PM kaynaklarından biridir. Demir çelik ve diğ er metal işleyen tesislerde baca gazları yeterli oranda arıtılmalıdır. Bu tür tesislerde kullanılan hammaddelerde ve hurdalarda bulunan bazı

zehirli ve zararlı maddeler gaz fazına geçerek çevre kirliliğine neden olurlar. Gerekli arıtması olmayan bu tür tesisler ağır metal ve Poliklorlu Bifeniller (PCB) bakımından ciddi çevre kirliliği oluştururlar. Hurda kullanan tesislerin çevresindeki havada ve toprakta özellikle ağır metal analizleri ve PCB analizleri yapılmalıdır. Asfalt ve beton fabrikalarında yeterli arıtma tesisi yoksa önemli miktarda partikül madde çevreye yayılır (Öztürk, 2008, Özdemir ve diğ., 2011).

Kömür ve kok toz emisyonları, bu işletmelerde kömürün yüklenmesi, kömür depolama, parçalama ve eleme, pişirme proseslerinden, soğutma ve son yükleme işlemlerinden kaynaklanır (Parker, 1978).

Asit üretim fabrikalarında açığa çıkan partiküllerin çoğu sülfirik asit ve fosforik asit üretiminden kaynaklanmaktadır. Diğer iki tip asit üretiminde (nitrik asit ve hidroklorik asit) ise büyük miktarlarda asit dumanları oluşmaktadır. Atık gazda asit dumanları ve spreylerinin derişimi $0.18-1.0 \text{ g/Nm}^3$ değerleri arasında değişmektedir. Sülfirik asit fabrikalarında devamlı dumanlar (mist) oluşmaktadır ve bunların kontrolü çok zordur. Oluşan damlacık boyutları $1-10 \text{ }\mu\text{m}$ arasında değişmektedir (Spall, 1978).

Evsel atıkların, tıbbi atıkların ve tehlikeli atıkların yakıldığı tesislerde baca gazı arıtma tesisi yoksa ağır metal ve PCB gibi kirleticiler bacadan atmosfere atılır. Sentetik deterjan ve sabun üretiminde partiküller, kuru hammaddelerin işlenme tarzından ve sprey kurutucularda işlenmesi esnasında kaynaklanmaktadır (Öztürk, 2008, Özdemir ve diğ., 2011). Sigara dumanı kapalı alan kirleticilerin en önemlilerindendir, 4000'den fazla bileşenden oluşur (Kleeman ve diğ., 1999).

PM kirliliği özellikle kış ayları başlangıcında ve sonrasında insan sağlığını ve görüş mesafesini olumsuz olarak etkilemektedir. Çünkü bu aylarda atmosferde inversiyon olayı sık ve şiddetli olarak meydana gelmektedir. İnversiyonlu günlerde havada solunabilir partikül madde konsantrasyonu yükselmektedir. İnversiyonlu günler, bacadan atılan kirleticilerin atmosferde birikmesine ve hava kalitesinin kötüleşmesine sebep olur (Öztürk, 2008, Özdemir ve diğ., 2011).

2.2.3. Partikül Maddelerin Fiziksel Özellikleri

2.2.3.1. PM Boyutu

Atmosferdeki partikülün davranışının temel belirleyicisi o maddenin boyutudur. Partikül boyutu genellikle aerodinamik çap olarak ifade edilir. Uygulamalarda, aerodinamik çapı bir ışık mikroskobu veya elektron mikroskobu ile ölçülebilir (Din ve diğ., 2011).

PM boyutları çok geniş bir aralığa sahiptir. Bunlardan en küçüğü 1 mikronun altında iken iri olanlarının çapları 200 mikronu geçer ve birkaç nanometreden (nm) onlarca mikrometre (μm) çap aralığında değişim gösterir. Örneğin herhangi bir dumanlı ortamda 500 mikronluk kaba bir partikülün içerisinde 2 milyon civarında 0.3 mikronluk ufak partikül vardır (Peker ve diğ., 1993).

PM boyutuna göre aşağıdaki gibi sınıflandırılması:

Toplam Askıda Katı Madde (TSP): Aerodinamik çapı 25 ile 40 μm arasında değişen partikül maddeler;

PM₁₀: Aerodinamik çapı 10 μm 'nin altında olan partikül maddeler;

PM_{10-2,5}: Aerodinamik çapı 10 μm ile 2,5 μm arasında olan partikül maddeler;

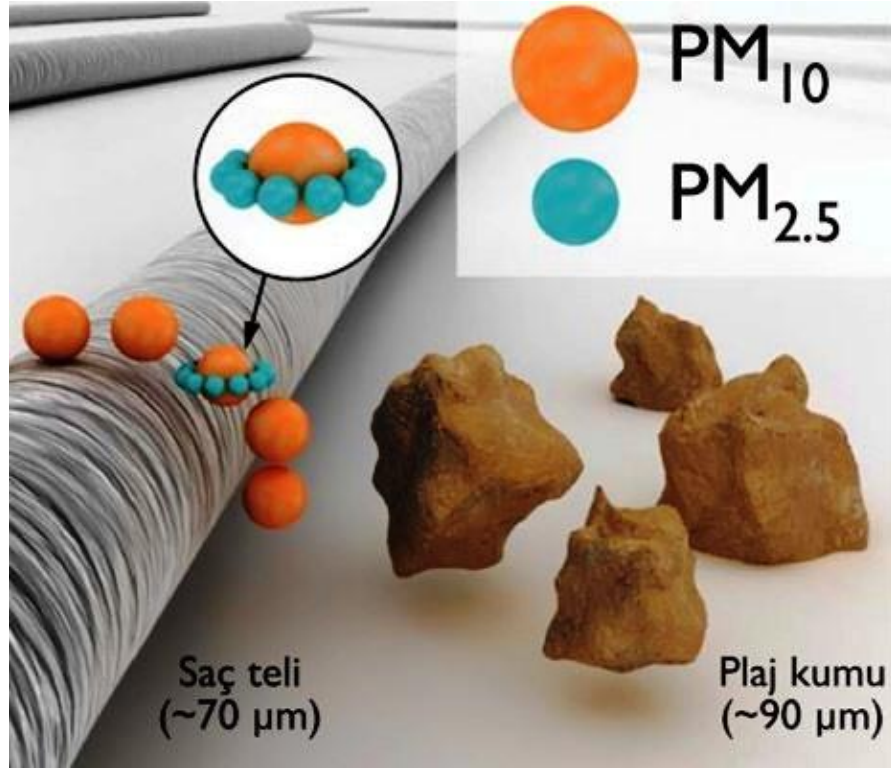
PM_{2,5}: Aerodinamik çapı 2,5 μm 'nin altında olan partikül maddeler;

PM₁: Aerodinamik çapı 1 μm 'nin altında olan partikül maddeler.

Kütle ve bileşimi yönünden:

- kaba parçacıklar ($>2.5 \mu\text{m}$) – (daha çok mekanik prosesler sonucu oluşur),
- ince partiküller ($<2.5 \mu\text{m}$),
- ultra ince partiküller ($<0.1 \mu\text{m}$) (diesel yakıtların yanması gibi direk ortama atılabildikleri gibi gazların kimyasal reaksiyonları sonucu ikincil kirletici olarak da oluşabilmektedir) (www.epa.gov).

Dış ortamda gözlenen PM, farklı parçacık boyutuna ve kimyasal kompozisyona sahip partiküllerin karışımından oluşmaktadır. Bu çapları küçük partikülleri kıyaslamak gerekirse, insan saçının ortalama boyutu 70 μm 'dir. Sağlık açısından zararlı olan partikül madde boyutları PM₁₀ ve PM_{2,5} dir. PM₁₀, insan saçı çapından 5 kat, PM_{2,5} ise 20 kat daha küçüktür (Şekil 1) (Öztürk, 2008).



Şekil 1:PM Boyutunun İnsan Saçı ve Plaj Kumu Karşılaştırılması

2.2.3.2. PM Boyutunun Önemi

Partiküllerin taşınması ve yer değiştirme mekanizmaları partikül boyutu ile doğrudan ilgilidir. Partiküllerin ömrü de boyutlarına göre değişim gösterir, atmosferde binlerce kilometre taşınabilirler ve günlerce askıda kalabilirler. $PM_{2.5-10}$ atmosferde birkaç saat içinde çökebilir ve yalnızca kısa mesafelere taşınırlar. Sağlık etkileri bakımından partikül boyutu çok önemlidir. Çalışmalar ince partiküllerin ($PM_{2.5}$), kaba partiküllere ($PM_{2.5-10}$) göre daha toksik ve dolayısıyla daha kötü sağlık etkileri olduğunu ortaya koymuştur. (Schwartz ve diğ, 1996).

2.2.4 Partikül Maddelerin Kimyasal Özellikleri

Partiküller; tanecik boyutları, kimyasal bileşimi, ve sağlık etkileri potansiyeline göre geniş çapta değişim gösterirler. Hava kaynaklı PM, inorganik ve organik maddelerin kompleks karışımlarından meydana gelir. Kimyasal yapısı itibarıyla PM elementel ve organik karbon bileşiklerini, silikon oksitleri, metalleri, sülfat ve nitrat bileşiklerini içermektedir. Küçük partiküller; ikincil olarak oluşan aerosoller (gaz-partikül

dönüşümü), yanma sonucunda oluşan partikülleri, yoğunlaşan organik ve metal buharlarını içerir. Büyük partiküller; genelde yer kabuğu kaynaklı olup yerden havalanan tozları ve endüstriyel kaynaklı tozlardan meydana gelir (Tecer, 2005).

PM'in tane iriliklerine ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması:

Buharlar; metal veya organik madde buharları ile bunların süblime olması sebebiyle oluşan çok ince sıvı zerrecikler;

Sis; yoğunlaşmış maddelerin oluşturduğu ince sıvı damlalarıdır, su buharı etkisiyle doğal sis, diğer buharların etkisiyle smog şeklinde görülür;

Tozlar; katı maddelerdir(endüstri ve ısınma tesislerinin atık gazlarıyla havaya atılan kül, kömür, çimento tozları, kum, talaş, toprak);

Sprey; bir sıvının basınçlı bir taşıyıcı gaz ile birlikte havaya püskürtülmesiyle oluşan atomize sıvı taneciklerinden meydana gelir;

Duman; karbonlu maddelerin tam yanmaması sonucu havaya bırakılan katı maddelerce zengin atık gazlar şeklinde yapılabilir (Sezer, 2008).

Petrol ve kömür yakan elektrik santralleri PM'in en önemli nokta kaynaklarıdır; her iki tür kaynaktan alınan örnekler analiz edildiğinde, petrol yakan elektrik santrallerinden yayılan partiküllerde major elementler olarak Mg, Ni, V, Fe, ve minör elementler olarak da Pb, Cr, Ca, Al, K, Ti, Cu elementleri bulunmaktadır. Kömür yakan elektrik santralleri partikülleri, Ca, Al, K, Ti, ve Fe major elementleri, V, Mg, Ni, ve Cu gibi minör elementleri içermektedir. Bu elementler içerisinde metalik bileşenlerin katalitik özellikleri bilinmektedir (Fe, V, Cr, Mn ve Cu gibi metaller). PM'in SO₂'nin sülfata oksidasyonunu hızlandırma kabiliyeti bulunmaktadır. Örneğin Vanadium (V) SO₂'nin SO₃'e oksidasyonunda kullanılmaktadır. Üstelik yüksek sıcaklıklarda daha kararlı oksidanttır. Ayrıca, kızgın bir baca gazındaki partiküllerin vanadium içerdiği de bilinmektedir. Bu nedenle SO₂'nin oksijen ve suyla vanadiumun varlığında H₂SO₄'e dönüşümü açıklanabilir. İyonların insan sağlığı bina ve tarihi eserler, görüş mesafesi üzerine etkileri olduğu bilinmektedir (Tecer, 2005).

Literatürde yapılan bazı çalışmalarda PM emisyonlarının çeşitli kaynakları aşağıdaki gibi verilmiştir:

- Cu, Ni, Cr, Mn ve Zn metalurjik prosesleri yanmayı karakterize eder (Hang ve diğ., 2009).
- Çimento fabrikalar büyük oranlarda Ca, S, Si, Mg, Al, Cl, K, ve Fe emisyonları oluşturabilir (Xie ve diğ., 2009).
- Taşıt emisyonlarında sıklıkla bulunan elementler Cu, Zn, Pb, Br, Fe, Ca, ve Ba 'dır (Srivastava ve diğ., 2009).
- Kömürlü elektrik santraller oluşturduğu uçucu kül mineral içerik yüksek konsantrasyonlarda Fe, Pb, Vd, Mn, Cr, Cu, Ni, As, Ko içerir (Xie ve diğ., 2005).
- Endüstriyel proseslerinde oluşan partikül emisyonlar K, Fe, Mn, Zn ile karışık yüksek Al, Mg, Si ve Ca elementleri karakterize edebilir (Campos-Ramos ve diğ., 2010).
- Odun yanmasıyla olusan dumanda önemli miktarlarda Na, K, Fe, Br, Cl, nitrat, sülfat ve amonyum bulunmaktadır (Shen ve diğ., 2009, Öztürk, 2008) .
- Yol tozlarında ise yapılan çeşitli çalışmalarda Fe, Cu, Zn, Ni ve Pb, Cr, Ag, Mn, Pb,Cd, elementleri bulunmuştur (Yao, 2002, Srivastava ve diğ., 2009).
- As, Se, Ni, V tipik olarak kömür ve yağ yakımı emisyonlarında bulunur (Hang ve diğ., 2009, Shen ve diğ., 2009).

2.2.5. Partikül Maddenin Çevreye Etkileri

2.2.5.1. Partikül Maddenin İnsan Sağlığına Etkisi

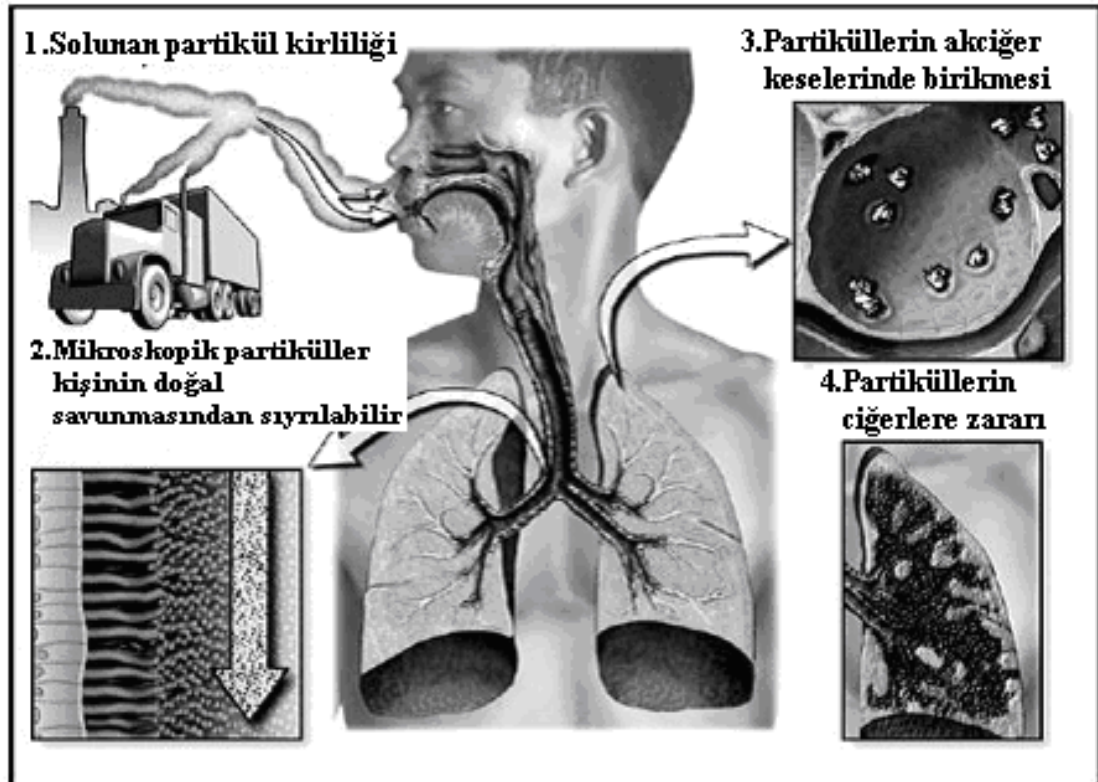
Modern insanın çevresel koşullara adaptasyonu çok yüksek seviyelerde olmakla birlikte, çevresel koşullardaki farklılıkların insan sağlığını etkilediği bilinmektedir. PM insan sağlığını etkileyen en önemli hava kirleticilerden biridir. Bugüne kadar gerçekleştirilmiş birçok epidemiyolojik çalışma ile, PM'den kaynaklanan hava kirliliği seviyesi ile solunum yolları hastalıkları, akciğer, kardio ve solunum yolu problemleri nedeniyle hastanelere başvuru ve ölüm vakaları arasında ilişki tespit edilmiştir. Özellikle çocuklar, yaşlılar ve kronik sağlık sorunu olan hastalar daha duyarlıdır (Tecer, 2005, Rimarova, 2011).

Partikül boyutu ile sağlık etkisi direk olarak bağlantılıdır. İnce ($PM_{2.5}$) ve ultra-ince (PM_1) partiküller kaba partiküllere göre insan sağlığı bakımından daha önemli etkiye sahiptir (Din ve diğ., 2011).

PM'in kimyasal kompozisyonu da sağlık açısından oldukça önemlidir. PM'in içeriğinde civa, kurşun, kadmiyum gibi ağır metaller, kanserojen kimyasallar bulunduğunda partikül madde kirliliğı insan sağlığını tehdit etmektedir. Kurum, uçucu kül, benzin ve dizel araç egzoz partikülleri benzo(a)pyrene gibi kanser yapıcı maddeler içerdiğinden bunlara uzun süre maruziyet kansere sebep olmaktadır (Tecer, 2005).

Atmosferde PM varlığı astım atakları, öksürük, solunum yolu tahrişı, solunum güçlüğü, kronik bronşit, cenin ölümleri yaratma gibi sağlık etkilerine neden olabilir. (www.epa.gov).

PM kirliliğıne maruziyette ortaya çıkan sağlık sorunları hem akut hem kronik etki gösterir. Kronik etkisi daha da önemlidir, çünkü uzun süre PM kirliliğıne maruz kalındığında akciğerlerde partikül madde birikmesi gerçekleşir. PM'in akciğer üzerinde yaptığı tahribat Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Partikül maddelerin akciğer üzerinde yaptığı tahribat (Öztürk, 2008)

PM (özellikle ince partiküller PM_{2.5}) konsantrasyonu ve maruz kalma süresine bağlı olarak ciddi sağlık problemlerine neden olmaktadır, bunlar:

- Kronik astım krizi sıklığında artış;
- Göğüs daralması sıklığında artış;
- Öksürük/balgam sıklığında artış;
- Üst solunum sistemi akut bozukluğunda artış;
- Göz, burun ve boğaz tahribatında artış;
- Soluk alma kapasitesinde düşüş;
- Ölümelerde artış;
- İş veriminde ve üretimde düşüş;
- Akciğer kanser vakalarında artış;
- Sağlık tedavi masrafında artış (Öztürk, 2008).

Havadaki partiküllerin insan sağlığı üzerinde yaptığı olumsuz etkiler Tablo 2.1’de görülmektedir (Çalışkan ve Sarıs, 2008).

Tablo 2.1: Partiküllerin insan sağlığı üzerinde yaptığı olumsuz etkiler (Çalışkan ve Sarıs, 2008)

PM kons. µg/m ³	Süre	Etkiler
110	24 saat	Solunum yolları rahatsızlıklarının artma riski
100-130	SO ₂ >120 µg/m ³	Çocuklarda solunum yolları hastalıklarında artış
150	Bağlı nem %70	Görüş mesafesinin 8 km'nin altına düşmesi
300	24saat +O ₂ >630 µg/m ³	Kronik bronşit hastalarında akut semptomların artması
700	24saat SO ₂ >715 µg/m ³	Ölüm oranlarında ve hastalıklarda artışlar
1000	10 dakika	Solunum yollarında mekanik değişimler

Partiküller akciğerlere kadar ulaşabilir, hatta kan dolaşımına dahi karışabilir. Böyle bir durumda kalp olumsuz etkilenir. Akciğere kadar ulaşabilen partikül maddeler, kanın içindeki karbondioksitin oksijene dönüşümünü yavaşlatarak nefes darlığına sebep olurlar. Kaybolan oksijenin giderilebilmesi için kalp daha fazla çalışmak zorunda kalır ve bu durum kalp üzerinde ciddi baskı oluşturur. Kalp ve akciğer hastası insanlar, çocuklar ve yaşlılar partikül madde kirliliğinden çok daha fazla etkilenen hassas gruplardır. Partikül madde kirliliğinin yüksek olduğu bölge ve zamanlarda bu hastaların hastaneye müracaatlarında artış ve hatta erken ölümlerinde artış görülmektedir. Çocuklar ise hem bağışıklık sistemlerinin tam gelişmemiş olması, yetişkin bir insana göre daha fazla hava soluması hem de günlerinin çoğunu dışarıda geçirmeleri gibi nedenlerle risk altındadırlar (Öztürk, 2008).

2.2.5.2. *PM'in Görüş Mesafesine Etkileri*

Partiküllerin görüş mesafesini azaltmaları onların optik özellikleriyle ilişkilidir. Partiküllerin şekli, yüzey karakteristikleri, boyut dağılımı gibi özellikleri görüşü azaltan etkenlerdir. Görüş mesafesinin azalması havadaki askıda kalmış maddelerin ışığı saçması ile ilişkilidir. Gelen ışığın saçılması ise yeryüzüne ulaşan radyasyonda değişikliğe yol açmaktadır. Havadaki partikül madde bulutlar için çekirdek teşkil ederek aynı zamanda indirekt olarak bulutları da etkilemektedir. Çapları 0.3-0.6 mikron arasında değişen partiküller görüşü son derece güçleştirmektedir. Yüksek PM_{2.5} değerleri görüş mesafesini azaltmakta bu da ulaşım güvenliğini ve estetiği etkilemektedir (Kleefeld ve diğ., 2002, Kuhlbusch ve diğ., 1998, Rimarova, 2011).

2.2.5.3. *Partikül maddelerin bitkiler üzerine etkileri*

Kaynaktan salınan partikül maddeler, fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak çeşitli süreçlerden (koagülasyon, kimyasal transformasyon vb.) sonra kuru ve yağ çökme yolu ile toprak, bitkiler vb. yüzeyler üzerine çökmektedir. Çökelen türler kimyasal yapısına bağlı olarak çökeldiği ortamlar için ciddi çevresel problemler oluşturmaktadır. Bitkilerin fotosentetik aktivitelerini azaltarak gelişimlerini engeller. PM'in bitkilere etkisi konusunda yapılan çalışmalar yeterli değildir. Tozlar, yaprak gözeneklerini tıkar, ayrıca, ışığı engelleyerek fotosenteze engel olurlar. Çimento endüstrisinden kaynaklanan tozların nemle birleşerek bitki dokularının gelişimini engellediği saptanmıştır (Tünay ve Alp., 1996).

2.2.5.4. *PM'in Dünya İklimine Etkileri*

Aerosollerin radyasyonu absorblama ve saçma etkisiyle, bulutların derinliğini değiştirme etkisi iklim değişiminde önemli rol oynar (Charlson ve diğ., 1992). Solar radyasyon düz bir hat boyunca ilerlerken, atmosferdeki toz partiküller ve gazlar bu enerjiye yeni bir yön verebilir. Bu olay saçılma olarak adlandırılır. Saçılmanın derecesi büyük çapta ilgili gaz ve partiküllerin boyutuna bağlıdır. Işık, gaz veya partiküllerle saçıldığında tüm yönler dağılır. Işığın bir kısmı geri dönerek uzayda kaybolurken, kalan kısmı dünya yüzeyine doğru yoluna devam eder (Tecer, 2005).

Aerosol partiküller bulut yoğunluğunu, sis ve bulut zerreciklerinin formlarını belirler. Atmosferik PM'nin higroskopik özellikleri, özellikle bulut oluşum işlemlerinde etkilidir. Bu etki zerrecik boyut dağılımına neden olur ki bunlar da beyaz bulutları oluşturur (Swietlicki, ve diğ., 1999).

2.2.6. Hava Kalitesi Örneklemeye Sistemleri

2.2.6.1. *Filtre Seçimi*

PM örnekleme için kullanılan bütün sistemlerde, partiküler maddeler bir filtre üzerinde toplanır. Filtre malzemesinin tipi, daha sonra yapılacak olan fiziksel veya kimyasal analize bağlı olarak değişim gösterir. Geniş kapsamlı analizler için, filtre materyali seçiminde daha dikkatli olunmalıdır. Örneklemeye işleminden sonra yapılacak eser element analizlerine ilişkin olarak; filtre seçimine yönelik bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

2.2.6.2. *Boyut Seçici Örnek Girişi Olmayan Örneklemeye Sistemleri*

Yüksek Hacimli Örnekleyici Yöntemi: Bu yöntemde, hava düşük dirençli filtrelerden (cam elyaf) geçirilir. Geçen hava miktarı $1,5 \text{ m}^3/\text{dk}$ (örneğin; filtresiz konumda $2000 \text{ m}^3/\text{gün}$) dür. Örneklemeye girişi ve toplama filtresi boyutları kullanılan örnekleyici tipine göre değişir. Bu yöntem 24 saatlik entegre ve $100 \mu\text{m.e}$ kadar olan TSP ölçümleri için uygulanabilir.

Orta / Düşük Hacimli Örnekleyici Yöntemleri: Bu yöntemde, hava geçişi 100 l/dk ($150 \text{ m}^3/\text{gün}$). Örneklemeye girişi ve filtre çapı yaklaşık 5 cm. dir. Örneklemeye etkinliği, rüzgar hızına kuvvetle bağlıdır. Örneklemeye etkinliği, 25-50 μm . arasındaki partikül tutma aralığında rüzgar hızı ile monoton olarak azalır. Düşük hacimli örnekleyici

yöntemi, metal ve ikincil aerosol analizleri için, bazı durumlarda, koyuluk ölçümleri için kullanılabilir.

Geniş Aralıklı Aerosol Sınıflandırıcı Yöntemi: Geniş aralıklı aerosol sınıflandırıcıları esas olarak, yüksek hacimli bir örnekleyicidir. Orijinal tasarımı, Burton ve Lundgren tarafından 1987' de yapılmıştır. Merkezi örnekleme girişi çapı 60 cm. (Yüksek hacimli örnekleyicinin iki katı) dir ve 160 cm. çapında bir rüzgar siperi ile korunmaktadır. Örnekleme akış hızı, 2500 m³/saat (60.000 m³/gün, yüksek hacimli örnekleyicinin 25 katı) ve giren havanın hızı 2,3 m/s dir. Geniş aralıklı aerosol sınıflandırıcı sistemi; 60 µm üzerindeki partiküllerin, hızlı rüzgarlarda bile örneklenmesine izin veren tek sistemdir. Ölçüm aralıkları; 10, 20, 40 ve 60 µm. olan 4 tek kademeli impaktör ve toplam partikül kademesidir. Teorik üstünlüklerine rağmen, geniş aralıklı aerosol sınıflandırıcının, özel uygulamalar için tasarlanmış bir cihazdır. Çevre havası şartlarında işçiliğin zor olması, boyutlarının büyük olması (geniş aralıklı aerosol sınıflandırıcı bir treylere kurulur, elektrik harcaması 3 fazlı ve gürültü seviyesi oldukça yüksektir) gibi nedenlerle genel kullanımlar için uygun görülmemektedir.

2.2.6.3. Partikül Boyut Ayırmalı Örnekleme Sistemleri

Partikül fraksiyonunu belirlemek için; yüksek hacimli ve orta hacimli örnekleyicilere uygun bir PM₁₀ girişi monte edilebilir. Düşük hacimli örnekleyici PM₁₀ örnekleyicisinin birlikte kullanımı anlamsızdır; çünkü düşük hacimli örnekleyici, çapı 10 µm. den küçük olan partikülleri örnekler. İmpaktör ve siklonun birlikte kullanıldığı ticari ekipmanlar mevcuttur. Bunların özel örneklem girişleri birbirine uydurulmuştur. APM örneklenirken PM₁₀, çaplarına göre bir veya daha fazla fraksiyona ayrılır. Örneklem girişinin simetrik şekli nedeniyle, rüzgar hızı bağımlılığı bertaraf edilir. Her bir boyut fraksiyonu, belirlenen örneklem süresinde ayrı bir filtrenin üzerinde toplanır. Yöntem, 1-5 µg/m³ ün üzerindeki konsantrasyonlardaki, PM₁₀ un 24 saatlik entegre ortalamalarının ölçülmesi için uygundur. İmpaktör tipi cihazlar, siklon tip cihazlara göre, kritik yüzeyler üzerinde daha az kirliliğe sebep olur. Böylece örnekleme karakteristikleri, uzun örnekleme periyotları sonunda hafifçe kötüleşir.

2.2.7. Partikül Madde Sınır Değerleri

2.2.7.1. Çeşitli Ülkelerde Havadaki Partikül Madde İle İlgili Sınır Değerleri

İnsanlar soluduğu havanın sağlığına zararlı olmayacak seviyede olmasını isteme hakkına sahiptir. İlgili yönetimler, mevzuatlarla belirlenen kurallara uymayanlar hakkında gerekli denetimleri ve yaptırımları uygulamalıdır. Hava kalitesinden sorumlu yönetimler, hava kalitesini izlemek ve sonuçları kamuoyuna bildirmekle ve sınır değerler aşıldığında halkı uyarmakla yükümlüdür.

Havadaki PM konsantrasyonunu azaltmak için ülkeler standartlar geliştirmiştir. Bu limit değerler belirlenirken insan sağlığı ve çevreye verdiği zarar üzerinde durulmaktadır. Başta Avrupa Birliği ülkeleri (AB) olmak üzere çeşitli ülkelerde havadaki partikül madde (PM₁₀ ve PM_{2,5}) konsantrasyonu ile ilgili uygulanan sınır değerler aşağıdaki Tablo 2.2’de verilmiştir (Öztürk, 2008).

Tablo 2.2 : Dünyanın çeşitli ülkelerinde PM₁₀ ve PM_{2,5} sınır değerleri (µg/m³) (Öztürk, 2008)

Ülkeler	Yıllık ortaması µg/m ³		Günlük ortalaması (24 saat) µg/m ³	
	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀
ABD	15	-	35	150
Japonya	-	100	-	-
İngiltere	-	40	-	50
A.B.	-	40	-	50
Avustralya	8	-	25	50
Kanada	-	70	30	120
İsviçre	-	20	-	50
Polonya	-	50	-	120
Hindistan	-	60	-	-
Slovenya	-	50	-	125
Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO)	10	20	25	50

2.2.7.2. Ülkemizde Partikül Madde Sınır Değerleri

Hava kalitesi izleme çalışmaları; kirlilik kaynakları ve dağılımını belirlemek, uygun kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ve bu stratejilerin etkinliğini kontrol etmek açısından büyük önem taşımaktadır. Hava kalitesi sınır değerleri, insan sağlığının korunması ve çevre üzerindeki kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin önlenmesi için atmosferdeki hava kirlleticilerin, bir arada bulunduklarında değişen zararlı etkileri de göz önüne alınarak tespit edilmiş konsantrasyon birimleri ile ifade edilen seviyelerdir (Tablo 2.3).

- *Uzun Vadeli Sınır Değerler* - UVS, aşılmaması gereken ve tüm ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan değerlerdir;
- *Uzun Vadeli Değer* - UVD, bütün ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan değerdir;
- *Kısa Vadeli Sınır Değerler* - KVS, maksimum günlük ortalama değerler veya istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının yüzde doksan beşini aşmaması gereken değerlerdir;
- *Kısa Vadeli Değer* - KVD, bütün ölçüm sonuçları sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre düzenlendiğinde ölçüm sonuçlarının yüzde doksan beşinin altında, yüzde beşinin ise üstünde kaldığı değerdir (www.cevreorman.gov.tr).

Tablo 2.3: Partikül Madde için Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY) Standartları

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Limit değere ulaşılacak tarih
PM ₁₀	24 saatlik -insan sağlığının korunması için	50 µg/m ³ (bir yılda 35 defadan aşılmaz)	1 Ocak 2019
PM ₁₀	yıllık -insan sağlığının korunması için	40 µg/m ³	1 Ocak 2019

Ülkemiz’de PM_{2.5} için henüz bir sınır değeri verilmemiştir.

2.2.8. Dünya’da PM’nin İyon Kompozisyonu Belirlenmesi Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Suda çözünebilir iyonlar atmosferik proseslerin oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Higroskopik özelliğinden dolayı atmosferdeki aerosollerin boyutunu ve kalış sürelerini değiştirebilir. Bu olay doğrudan ve dolaylı olarak partiküllerin ışımsal gücünü ve bulut oluşum mekanizmasını etkileyebilir. Ayrıca partiküllerin iyonik kompozisyonu partiküllerin asiditesini etkileyerek sıvı fazda ve gaz- partikül faz arasındaki yarı uçucu bileşiklerin kimyasal reaksiyonlarında değişikliklere sebep olabilir (Ocskay ve diğ., 2006). Dolayısıyla son yıllarda atmosferik partiküllerin iyonik kompozisyonları konusunda yapılan çalışmaların sayısı artmıştır (Tablo 2.4).

Macaristan’da Veszprem şehrinde yapılan çalışmada sonbaharda yol kenarında alınan PM_{1-10} örneklerinin suda çözünür inorganik iyonları (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Cl^- , NO_3^- and SO_4^{-2}) iyon kromatografisi ile tespit edilmiş ve sonuçlar $Na^+= 0,05-0,23 \mu g/mg$, $K^+ = 0,64-1,06 \mu g/mg$, $Ca^{+2}= 11,9-18,1 \mu g/mg$, $SO_4^{-2} = 3,13-30,7 \mu g/mg$, $NO_3^-=0,06-0,32 \mu g/mg$, $Cl^-= 0,31-0,7 \mu g/mg$ olarak saptanmıştır (Turozci ve diğ., 2011).

Shen ve arkadaşlarının Çin’de Xi şehrinde yaptıkları çalışmada Aralık-2006’da toplanan günlük PM_1 örneklerinde suda çözünür iyonlar (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{+2} , F^- , Cl^- , NO_3^- ve SO_4^{-2}), elementel karbon (EC) ve organik karbon (OC) konsantrasyonları belirlenmiştir. Ortalama PM_1 kütle konsantrasyonu $149,7 \mu g/m^3$ olarak tespit edilmiş, suda çözünür iyon konsantrasyonları $Na^+= 6 \mu g/m^3$, $NH_4^+= 6,8 \mu g/m^3$, $K^+= 1,8 \mu g/m^3$, $Ca^{+2}= 5,2 \mu g/m^3$, $F^-= 0,9 \mu g/m^3$, $Cl^-= 7 \mu g/m^3$, $NO_3^-=12,7 \mu g/m^3$ ve $SO_4^{-2}=27,2 \mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. Suda çözünür iyonların temel kimyasal türler olarak PM_1 kütlelerinin % 46’sını, Na^+ , NH_4^+ , Ca^{+2} , Cl^- , NO_3^- ve SO_4^{-2} iyon konsantrasyonlarının ise toplam iyonların %95,3’ünü ve toplam karbonatın PM_1 kütlelerinin %27,5’ini oluşturduğu belirtilmiştir. Ortalama OC ve EC konsantrasyonları sırasıyla $23,7 \pm 10,27 \mu g/m^3$ ve $4,6 \pm 1,8 \mu g/m^3$ olarak verilmiştir. (Shen ve diğ., 2009).

Kore’de Jeju Adasında Mart-Kasım 2006 tarihleri arasında APM, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} ’in iyonik bileşimi araştırılmıştır. İyonik bileşenlerinin zamansal değişkenlikleri incelendiğinde iyon konsantrasyonları en yüksek ilkbahar ve sonbahar aylarında

gözlenmiştir. Asıl iyonik türlerin Çin'den uzun-mesafe taşınımından etkilendiği tespit edilmiştir. Buna karşılık, en düşük iyonik konsantrasyon düzeyleri Güney Denizinden gelen hava kütleleri geçtiği zaman görülmüştür (Nguyen ve diğ., 2009).

Belçika'da Flanders şehrinde yapılmış bir çalışmada Eylül 2006 ve Eylül 2007 tarihleri arasında toplanan PM₁₀ örneklerinde elementel, organik karbon ve suda çözünür iyonların konsantrasyonları belirlenmiştir. Suda çözünür iyonların ortalama konsantrasyonları $\text{Na}^+ = 0,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 2,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{K}^+ = 0,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{+2} = 0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Cl}^- = 6,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 1,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{SO}_4^{2-} = 3,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir. PM₁₀'nu oluşturan ikincil inorganik iyonların (nitrat, sülfat ve amonyum) %41 (12,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), organik madde: %20 (6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), kabuk madde: %14 (4,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), deniz tuzu: 8% (2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve elementel karbon: %4 (1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) oranda olduğu saptanmıştır (Vercauteren ve diğ., 2011).

Macaristan'da Rita Ocskay ve diğ., tarafından Avrupa İzleme ve Değerlendirme Program çerçevesinde yapılan araştırmada yazın kırsal bölgede toplanan aerosol örneklerinde suda çözünür inorganik iyonlar iyon kromatografi ile belirlenmiştir. Suda çözünür inorganik iyonların toplam ince ve kaba partikül içindeki kütlesi % 44 ve % 16, ince partiküllerde ana iyonik bileşenler $\text{NO}_3^- = 0,270 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{2-} = 3,400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{NH}_4^+ = 1,630 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kaba partiküllerde ana iyonik bileşenler $\text{NO}_3^- = 0,560 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{2-} = 0,310 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{Ca}^{+2} = 0,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir. İnce boyut fraksiyonda ana iyonik bileşenlerin partikül kütlesini yaklaşık %90'ını oluşturduğu bulunmuştur (Ocskay ve diğ., 2006).

Çin'de Şangay ve Beijing şehirlerinde 0.4 l/dk akış hızı ile haftalık olarak toplam PM_{2,5}'in iyon konsantrasyonları belirlenmiştir. İyonların konsantrasyonları $\text{Na}^+ = 0,6-0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 6,2 - 6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{K}^+ = 0,3 - 2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{+2} = 0,3-0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{2-} = 15,9-18,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 6,8-10,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Cl}^- = 0,8-1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Şanghay'da toplam iyonların % 46'sını SO_4^{2-} , % 18'ini NO_3^- ve %17'nı NH_4^+ , Beijing şehrinde ise % 44'nü SO_4^{2-} , % 25'ni NO_3^- ve % 16'nı NH_4^+ iyonlarının oluşturduğu tespit edilmiştir (Yao ve diğ., 2002).

Taiwan'da Tainan şehride Ying Tsai ve diğ., tarafından yapılmış araştırmada kışın toplanan PM_{2.5} örneklerinde suda çözünür inorganik iyonlar incelenmiştir. Analiz edilen iyonların konsantrasyonları $\text{Na}^+ = 0,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{K}^+ = 1,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{+2} = 1,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{-2} = 0,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 6,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Cl}^- = 1,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir (Tsaia ve Chen., 2006).

Çin'de Guangzhou şehride Jihua ve ark., tarafından yapılmış çalışmada kışın toplanan 50 adet PM_{2.5} örneğinde elementel, organik karbon ve suda çözünür iyonların konsantrasyonları belirlenmiştir. Suda çözünür inorganik iyonların ortalama konsantrasyonları $\text{Na}^+ = 2,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 18,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{K}^+ = 341 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{+2} = 6,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{-2} = 33,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 30,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{Cl}^- = 8,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Kirleticilerin özellikle antropojenik kökenli olduğu belirtilmiştir (Jihua ve diğ., 2008).

ABD Texas'ta yapılan bir çalışmada yaz döneminde toplanan PM_{2.5} örneklerinin iyonik kompozisyonu belirlenmiştir. Suda çözünür iyonların konsantrasyonları $\text{Na}^+ = 0,063 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 0,651 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{K}^+ = 0,018 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{+2} = 0,082 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{-2} = 2,391 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 0,159 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{Cl}^- = 0,033 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur (Lee ve diğ., 1999).

Yunanistan Crete Ada'sında toplanan kaba PM örneklerinde suda çözünür iyonların konsantrasyonları yaz döneminde $\text{Na}^+ = 2,027 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 2,370 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{K}^+ = 0,303 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Mn}^{+2} = 0,294 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{2+} = 1,510 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{-2} = 6,877 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 2,750 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{Cl}^- = 2,278 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve kış döneminde $\text{Na}^+ = 1,199 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 7,706 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{K}^+ = 0,163 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{2+} = 0,156 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{-2} = 2,363 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 1,528 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{Cl}^- = 2,056 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir (Bardoukia ve diğ., 2003).

Taiwan Kaohsiung'ta yapılan çalışmada PM_{2.5} and PM₁₀ örneklerinin suda çözünür iyon konsantrasyonları incelenmiştir. PM_{2.5} içiniyonik konsantrasyonlar $\text{Na}^+ = 0,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{+2} = 4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{-2} = 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 10,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{Cl}^- = 0,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve PM₁₀ için $\text{Na}^+ = 1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 11,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{2+} = 1,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{-2} = 19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 15,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{Cl}^- = 1,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak saptanmıştır (Lin ve diğ., 2002).

Meksika’da Mexico şehrinde Vegaa ve ark., tarafından yapılmış çalışmada teflon filtreler üzerinde toplanmış $PM_{2.5}$ ve PM_{10} örneklerinin suda çözünür iyonik bileşenlerin konsantrasyonları incelenmiştir. $PM_{2.5}$ için iyonik konsantrasyonları $Na^+ = 0,14 \mu g/m^3$, $NH_4^+ = 0,16 \mu g/m^3$, $K^+ = 0,11 \mu g/m^3$, $SO_4^{-2} = 0,23 \mu g/m^3$ ve $Cl^- = 0,06 \mu g/m^3$ ve PM_{10} ’in $Na^+ = 0,49 \mu g/m^3$, $NH_4^+ = 0,08 \mu g/m^3$, $K^+ = 0,23 \mu g/m^3$, $SO_4^{-2} = 0,67 \mu g/m^3$, $NO_3^- = 0,07 \mu g/m^3$ ve $Cl^- = 0,51 \mu g/m^3$ olarak belirlenmiştir (Vegaa ve diğ., 2001).

İspanya Campisabalo’da Salvadora ve Artinanoa tarafından yapılmış çalışmada PM_{10} ve APM örnekleri 1 yıl süre ile toplanmıştır. Örneklerin çözünebilir iyonlarının konsantrasyonları İyon Kromatografisi ile belirlenmiştir. PM_{10} ’un iyonik konsantrasyonları $NO_3^- = 0,68 \mu g/m^3$, ve APM için $NH_4^+ = 0,36 \mu g/m^3$, $SO_4^{2-} = 2,07 \mu g/m^3$, $NO_3^- = 1,11 \mu g/m^3$ olarak saptanmıştır (Salvadora ve diğ., 2005).

Güney Kore Chongju şehrinde yapılan bir çalışmada $PM_{2.5}$ örneklerinin suda çözünür iyonik konsantrasyonlarına bakılmış, güz döneminde $NH_4^+ = 2,65 \mu g/m^3$, $SO_4^{-2} = 7,56 \mu g/m^3$, $NO_3^- = 4,36 \mu g/m^3$; kışın $NH_4^+ = 3,2 \mu g/m^3$, $SO_4^{-2} = 5,81 \mu g/m^3$, $NO_3^- = 5,05 \mu g/m^3$; bahar döneminde $NH_4^+ = 2,42 \mu g/m^3$, $SO_4^{-2} = 9,85 \mu g/m^3$, $NO_3^- = 3,65 \mu g/m^3$ ve yazın $NH_4^+ = 3,13 \mu g/m^3$, $SO_4^{-2} = 9,87 \mu g/m^3$, $NO_3^- = 1,11 \mu g/m^3$ olarak tespit edilmiştir (Lee ve diğ., 2001).

Bolu’da Abant İzzet Baysal Üniversitesinin kampüsünde Özlü ve Karakaş tarafından yapılan çalışmada kış ve yaz dönemi $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ örneklerinde metal, toplam karbon ve iyon konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla analiz yapılmıştır. Toplanmış $PM_{2.5}$ örneklerinin toplam suda çözünür iyonlarının konsantrasyonları yaz döneminde $Na^+ = 0,7 \mu g/m^3$, $NH_4^+ = 1,3 \mu g/m^3$, $K^+ = 0,08 \mu g/m^3$, $Ca^{+2} = 0,09 \mu g/m^3$, $SO_4^{-2} = 2,4 \mu g/m^3$, $F^- = 0,04 \mu g/m^3$; kış döneminde $Na^+ = 1,4 \mu g/m^3$, $NH_4^+ = 1,9 \mu g/m^3$, $K^+ = 0,13 \mu g/m^3$, $Ca^{+2} = 1,2 \mu g/m^3$, $SO_4^{-2} = 3,7 \mu g/m^3$, $NO_3^- = 0,4 \mu g/m^3$, $Cl^- = 1,5 \mu g/m^3$ olarak tespit edilmiştir. $PM_{2.5-10}$ örneklerin toplam suda çözünür iyonların konsantrasyonları yaz döneminde $Na^+ = 0,6 \mu g/m^3$, $NH_4^+ = 0,45 \mu g/m^3$, $K^+ = 0,06 \mu g/m^3$, $Ca^{+2} = 1,25 \mu g/m^3$, $SO_4^{-2} = 0,6 \mu g/m^3$, $NO_3^- = 0,48 \mu g/m^3$, $Cl^- = 0,6 \mu g/m^3$ ve $F^- = 0,13 \mu g/m^3$; kış döneminde $Na^+ = 0,55 \mu g/m^3$, $NH_4^+ = 0,8 \mu g/m^3$, $K^+ = 0,13 \mu g/m^3$, $Ca^{+2} = 1 \mu g/m^3$, $SO_4^{-2} = 1,6 \mu g/m^3$, $NO_3^- = 0,4 \mu g/m^3$, $Cl^- = 1,3 \mu g/m^3$ ve $F^- = 0,5 \mu g/m^3$ olarak saptanmıştır (Özlü ve diğ., 2011).

Türkiye’de Kırklareli’nde yapılan bir çalışmada Bulgaristan sınırına çok yakın kırsal bir alanda toplanan TPM’nin kütle ve iyon (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{+2} ve Ca^{+2}) derişimleri belirlenmiştir. Toplam iyon konsantrasyonları $\text{Na}^+ = 0,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{K}^+ = 0,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{+2} = 0,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{2-} = 5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Cl}^- = 0,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{F}^- = 0,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Ölçülen iyonların TPM’nin % 32’sini oluşturduğu bulunmuştur. Anyon ve katyonların konsantrasyonların derişimleri şu sırayı izlemiştir: $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ ve $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2}$. Ayrıca iyonların mevsimsel değişimi incelenmiştir. Yerkabuğu kaynaklı Ca^{+2} , Mg^{+2} ve K^+ ’un yaz mevsiminde yüksek, kış mevsiminde düşük seviyelerde olduğu bulunmuştur. Deniz kaynaklı Na^+ ve Cl^- ’in ise yazın düşük, kışın yüksek derişimlerde olduğu gözlenmiştir. NH_4^+ iyonu yaz aylarında yüksek, NO_3^- ’in kış aylarında yüksek olduğu tespit edilmiştir. SO_4^{2-} iyonunda, diğer iyonlarda gibi gözlenen belirgin mevsimsel değişim gözlenmemiştir (Tokgöz, 2008).

Bursa - Uludağ’da yapılan bir çalışmada PM_{10} örneklerinin toplam suda çözünebilen iyonlarının konsantrasyonları $\text{Na}^+ = 0,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NH}_4^+ = 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{K}^+ = 0,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Mg}^{+2} = 0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Ca}^{+2} = 1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_4^{2-} = 2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_3^- = 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{Cl}^- = 0,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $\text{F}^- = 0,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Ölçülen kimyasal parametreler arasında ortalama $1,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’lük yüksek bir derişimle Ca^{+2} dışında tüm parametreler diğer kırsal alanlardaki verilerde benzer düzeyde oluşmuştur. İyon dengesinde, asit yapıcı anyonlar olan SO_4^{2-} ve NO_3^- ’in, katyonlara kıyasla kütle olarak ortalama % 30 daha düşük oldukları görülmüştür. (Karakaş ve diğ., 1996).

Tablo 2.4: Önceden Yapılmış Çalışmalar

Çalışma	Örneklem noktası	Örneklem periyodu	Partikül boyutu	Katyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				Anyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
				Na^+	NH_4^+	K^+	Ca^+	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	F^-
Turoczi, B., ve diğ., 2011 (Veszprem Macaristan)	1. şehir, yol kenarı	Güz	PM_{1-10}	5		1,06	18,1	30,7	0,06	0,31	
	2. şehir, yol kenarı			0,23		0,64	11,9	8,03	0,06	0,7	
	3. şehir, yol kenarı			0,18		0,95	12,2	3,13	0,32	0,31	
Shen, Z., ve diğ., 2009, (Xi, Çin)	şehir	Kış	PM_1	6	6,8	1,8	5,2	27,2	12,7	7	0,9

Vercauteren, J., ve diğ., 2007, (Flanders, Belçika)	şehir	1 yıl	PM ₁₀	0,88	2,14	0,54	0,27	3,84	1,07	6,83	
Ocskay, R., ve diğ., 2003 (Macaristan)	kırsal bölge	Yaz	PM _{2,5}		1,63			3,4	0,27		
			PM _{2,5-10}		0,1		0,56	0,51	0,46		
Yaoa, X., ve diğ., 2002 (Shanghai ve Beijing, Çin)	Hainan yolu	1 yıl	PM _{2,5}	0,6	6,6	0,3	0,6	15,9	6,8	1,8	
	Tongji Univ.			0,6	6,6	2	0,3	15,2	6,5	1,7	
	Chegong zh uang, şehir içi			0,7	6,2	2,2	0,7	18,4	10,3	1,6	
	Tsinghua , şehir dışı										
Tsaia, Y. I., ve diğ., 2006 (Tainan, Taiwan)	Şehir	Kış	PM _{2,5} şehir içi	0,89	5,1	1,42	1,34	0,21	6,08	1,37	
			PM _{2,5} şehir dışı	0,82	3,91	1	0,93	1,31	1,19	3,48	
Jihua, T., ve diğ., 2008(Guangzho u, Çin)	Şehir	1 yıl	PM _{2,5} şehir dışı	2,99	18,1	3,41	6,06	33	30,4	8,37	0,8 8
Özlü, E., ve diğ., 2011 (Bolu, Türkiye)	Şehir	Yazın	PM _{2,5}	0,7	1,3	0,08	0,9	2,4	1		0
			PM _{2,5-10}	0,6	0,45	0,06	1,25	0,6	0,48	0,6	0,1
		Kışın	PM _{2,5}	1,4	1,9	0,13	1,2	3,7	0,4	1,5	
			PM _{2,5-10}	0,55	0,8	0,13	1	1,6	0,4	1,3	0,5
Tokgöz, ve diğ., 2008 (Kırklareli ili, Türkiye)	kırsal bölge	2006-2008	TPM	0,35	2	0,16	0,71	5,8	2,9	0,58	
Karakaş, ve diğ., 1996 (Uludağ, Türkiye)	Şehir	güz-bahar	PM ₁₀	0,67	1	0	0,22	2,2	1	0,47	
Lee,T., ve diğ.,1999 (Texas, ABD)	Şehir	yaz – güz	PM _{2,5}	0,06	0,65	0,02	0,82	2,39	0,16	0,03	
Bardoukia,H., ve diğ., 2002 (Crete adası, Yunanistan)	kıyı bölgesi	yaz,	Coarse PM	2,02	2,37	0,29	1,51	6,87	2,75	2,27	
		Kış		1,19	7,70	0,16	0,15	2,36	1,52	2,05	
Hueglina, C., ve diğ., 2001 (İşveç)	Bern, şehir	1 yıl	PM _{2,5}	94	1,6	180	132	2,8	3	102	
			PM ₁₀	612	1,4	197	1526	3,3	3,5	769	
			Coarse PM	746		48	1420	0,7	0,1	1012	
	Zurich, şehir		PM _{2,5}	76	2,6	183	66	3,5	3,5	72	
			PM ₁₀	181	2,1	190	320	3,6	3,4	97	
			Coarse PM	106	0,2	28	209	0,4	0,6	42	
	Basel, şehir		PM _{2,5}	111	2	218	71	4,1	3,1	145	
			PM ₁₀	243	1,9	221	391	3,9	3,2	212	
			Coarse PM	128	0,1	28	279	0,1	0,7	111	
	Payerne, kırsal bölge		PM ₁₀	118	1	89	288	2,2	1,1	82	
	Chaumon t, kırsal bölge		PM _{2,5}	71	0,8	53	67	2,3	0,6	48	
			PM ₁₀	138	0,8	61	233	2	0,8	61	
Coarse PM		65		11	139		0,3	16			

Lin, J. J., ve diğ., 2002 (Kaohsiung, Taiwan)	kıyı bölgesi	güz- bahar	PM _{2,5}	0,91	6,7		0,42	14	10,5	0.78	
			PM ₁₀	1,8	11,1		1,72	19,2	15,6	1.54	
Salvadora, P., ve diğ., 2005 (Campisabalo, İspanya)	Şehir	1 yıl	PM ₁₀						1,68		
			TSP		0,36			2,07	1,11		

3.MATERYAL VE METOD

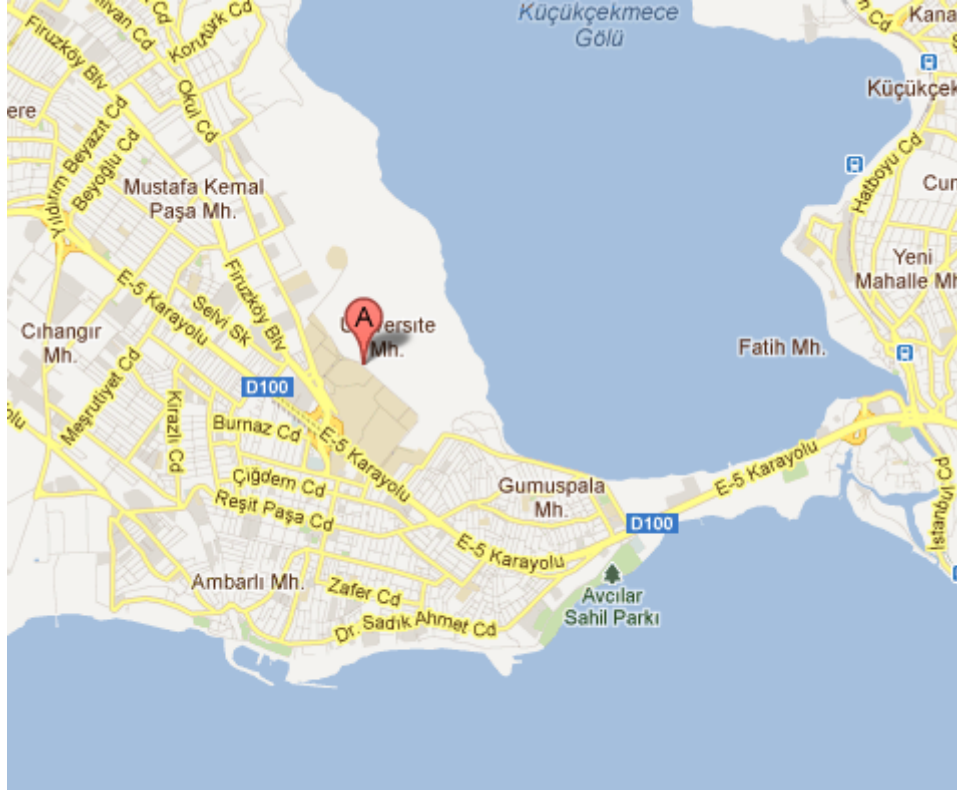
3.1. ÖRNEKLEME BÖLGESİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

3.1. 1. Çalışma Bölgesinin Coğrafi Durumu

PM'in morfolojisi, kompozisyonu ve fiziksel özellikleri, coğrafi durumuna göre değişiklik göstermektedir. İstanbul, Avrupa ile Asya kıtaları arasında köprü görevi gören, bunların birbirine en çok yaklaştığı iki uç üzerinde kurulmuş bir şehirdir. Bu uçlar Avrupa kıtasında Çatalca, Asya kıyasında ise Kocaeli; güneyinde Marmara ve Bursa, güneybatısında Tekirdağ ve kuzeybatısında Kırklareli ile çevrilidir. Marmara denizi'ndeki Adalar da İstanbul iline dahildir. İstanbul il toprakları toplam 5.512 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. İstanbul 26 km uzunluğuyla Boğaziçi kanalı ile Avrupa ve Anadolu'yu birleştirir, boğaz kıyı uzunluğu ise 32 km olup 9 adet adası bulunmaktadır. Şehirde en yüksek tepelerden birisi 537 m'lik rakımıyla Aydos Tepesi'dir (www.istanbuldahava.com).

3.1.2. Örneklemenin Yapıldığı İstasyonun Tanımı

Bu çalışmada PM'lerin örnekleme İstanbul Üniversitesi Avcılar yerleşkesi bahçesinde yapılmıştır (Şekil 3.1). Örnekleme alanınının kuzey-batısında Avcılar, Esenyurt, Hadımköy ve Büyükçekmece'deki endüstriyel ve evsel yerleşim bölgeleri; kuzey-doğusunda Küçükçekmece gölü ve Küçükçekmece endüstriyel ve evsel yerleşim bölgeleri, güneyinde ise evsel yerleşim bölgeleri ve Marmara Denizi yer almaktadır. Ayrıca örnekleme noktasının yakınında D-100 otoyolu yer almaktadır. Bu sebeple örneklemenin yapıldığı alanda hava kirliliği emisyonlarının çok çeşitli kaynaklardan oluştuğu söylenebilir.



Şekil 3.1: Çalışma Bölgesi ve Örnekleme noktası (<http://maps.google.com/?q=istanbul>)

3.1.3. Meteorolojik Şartların Değerlendirilmesi

İstanbul'un iklimi, Karadeniz iklimi ile Akdeniz iklimi arasında geçiş özelliği gösteren bir iklimdir, dolayısıyla İstanbul'un iklimi ılımandır. İstanbul'un yazları sıcak ve nemli; kışları soğuk, yağışlı ve bazen karlıdır. Yıllık ortalama yağmur yağışı 687 mm'dir. Kış aylarında genelde yağmur ve karla karışık yağmur da görülür. En sıcak ay Temmuz (Ort. Sıcaklık: 23.5 °C), en soğuk ay da Ocak (Ort. Sıcaklık: 5.4 °C) ayıdır. Şehir biraz rüzgarlıdır; rüzgarın ortalama hızı saatte 17 km'dir. İstanbul'da yıl boyunca üç hava tipi egemendir. Bunlar kuzeyden ve güneyden gelen hava tipleri ile sahin hava tipidir. Doğu ve batı yönlü rüzgarlara bağlı olan hava tipleri ise önemsizdir. Üç hava tipi arasında, en yüksek frekansı (en çok esme sayısını) göstereni, kuzey rüzgarlarının egemen olduğu sırada görülen hava tipidir.

İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğü (İMBM)'ne ait İstanbul genelinde 19 adet ölçüm istasyonu mevcuttur. Çalışmada örnekleme noktasına en yakın konumda bulunan Atatürk Havalimanı (Yenibosna) meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık, yer seviyesi

basıncı, yağış, rüzgar yönü, rüzgar hızı ve bağıl nem gibi meteorolojik parametrelerin saatlik ortalama değerleri temin edilmiştir.

3.2. ÖRNEKLEMEDE KULLANILAN CİHAZLAR

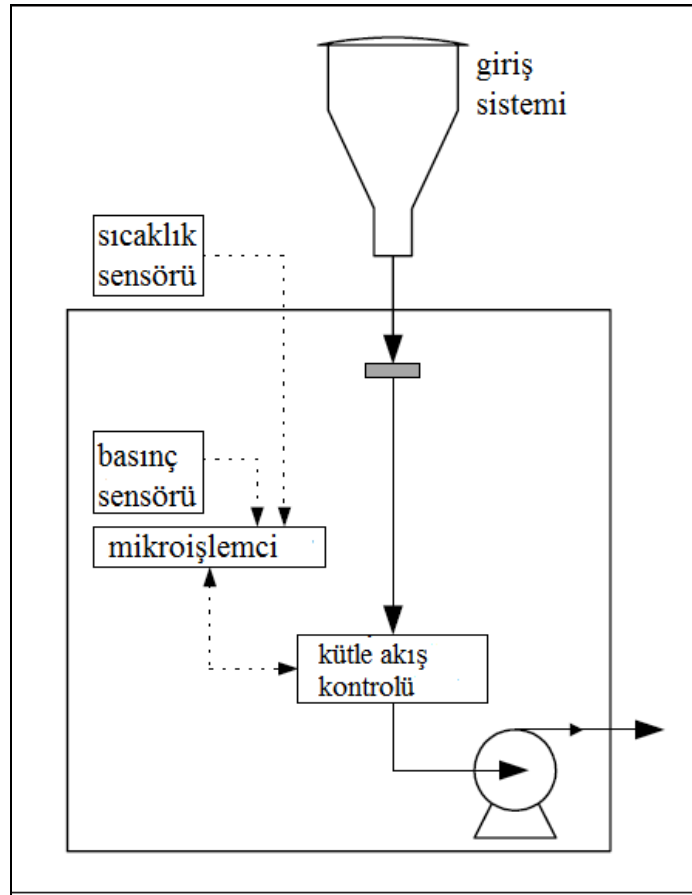
PM_{2.5} ve PM₁₀ örneklemeleri referans yönteme (US EPA RFPS-048-117) göre çalışan PARTISOL-FRM MODEL 2000 AIRSAMPLER cihazı (Şekil 3.2) ile yapılmıştır. Cihaz 16,7 lt/dk'lık akış hızında çalıştırılmıştır. Cihazda PM_{2.5} ve PM₁₀ örneklemeleri için farklı başlıklar kullanılmaktadır (Şekil 3.3). Cihazda örnekleme süresi 24 saattir. Cihaz güvenlik amacıyla çelik ayaklar üzerinde beton zemin üzerine sabitlenmiştir. Cihazın çelik ayaklarının yerden yüksekliği yaklaşık 1 metre, örnekleme başlığının yerden yüksekliği ise yaklaşık 2 metre'dir. Örnekleme sisteminin genel şeması Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.2: Partisol-FRM MODEL 2000 AIRSAMPLER cihazı



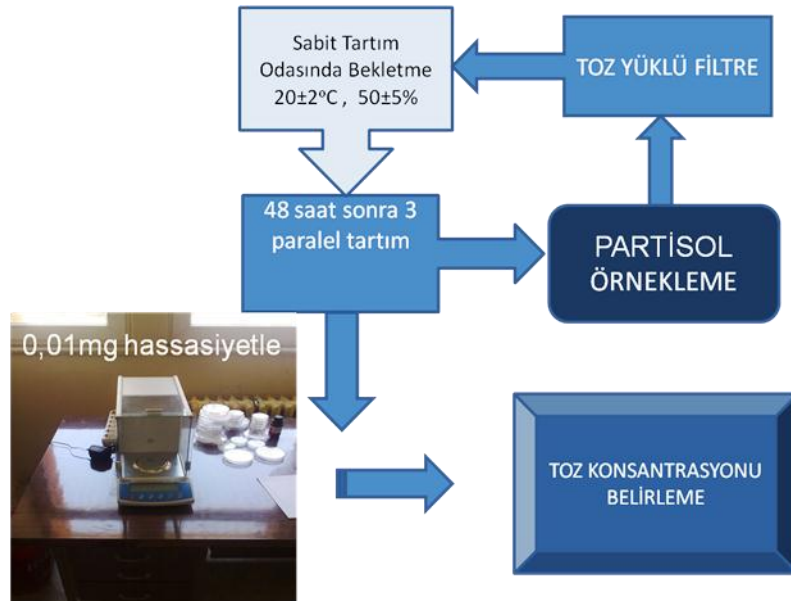
Şekil 3.3: Cihazda PM_{10} ve $PM_{2.5}$ örneklemeleri için kullanılan başlıklar



Şekil 3.4: Partikül Madde örnekleme sistemi şeması

3.3. ÖRNEKLEME METODOLOJİSİ

Bu çalışmada PM örneklemeleri 29 Ekim 2010 ve 30 Ocak 2012 tarihleri arasında yapılmıştır. Çalışmada Cam yünü (Glass Fiber-Whatman) ve Polytetrafluoroethylene (PTFE- Whatman) filtreler kullanılmıştır. Cihazda metal plaka üzerine yerleştirilen filtreler üzerinde 24 saat süre ile örnekleme yapıldıktan sonra toz yüklü filtreler cımbız ile temiz petri kaplarına alınmış ve laboratuara getirilmiştir. Filtre cihazdan alındıktan sonra gerekli temizlik yapıldıktan sonra yeni filtre yerleştirilerek cihaz çalıştırılmıştır. Filtreler RADWAG marka hassasiyetli terazi ile filtre boşken ve örnekleme sonrasında dolu iken tartılmıştır. Filtrelerin örnekleme için hazırlanması ve örnekleme sonrası aynı koşullarda şartlandırılması yapılmıştır. Toz konsantrasyonunun belirlenmesi Şekil 3.5'te şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.5: Toz Konsantrasyonunun belirlenmesi

3.4. ÖRNEKLERİN ANALİZİ

Örnekleme süresince toplanan PM_{2.5} ve PM₁₀ örnekleri kütleli konsantrasyon tayini için gravimetrik analize, iyon kompozisyonlarının belirlenmesi için iyon kromatografi analizine tabi tutulmuştur.

3.4.1. Kütleli Konsantrasyonun Belirlenmesi

Filtreler üzerinde toplanan toz miktarı, PM konsantrasyonunu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) hesaplamak amacıyla kullanılmaktadır. PM örneklemeğinde kullanılan kütle ölçümleri en yaygın ölçüm yöntemidir. Bu yöntemde filtrenin ilk ve son ağırlığı belirlenerek tutulan partiküllerin kütle konsantrasyonu bulunur ve geçen hava hacmine bölünerek konsantrasyon birimine çevrilir. Örnekleme sürecinin en önemli aşaması filtrelerin örnekleme için hazırlanması ve örnekleme sonrası aynı koşullarda şartlandırılmasıdır. Bir filtre üzerinde net PM kütlesi standart sıcaklık ve bağıl nemin belli aralıklarda tutulması çözünabilir türlerin sıvı su etkileşimini ve uçucu türlerin kayıplarını minimize etmek için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada filtreler örnekleme öncesinde ve sonrasında sabit sıcaklık ve nem koşullarının ($20\pm 2^\circ\text{C}$ ve $\%50\pm 5$) sağlandığı bir şartlandırma odasında 48 saat süre ile şartlandırılmıştır. Şartlandırma işleminden sonra filtreler 3 kez tartılmış ve ortalama değer kayıt edilmiştir.

3.4.2. İyon Kompozisyonunun Belirlenmesi

Bu çalışmada toplanan PM₁₀ örneklerinin iyonik kompozisyonu belirlenmiştir. Örnekleme filtreleri dörde bölünmüştür ve çeyreği cam erlenlere konularak üzerine 10 mL saf su (Milli-Q) eklenerek İNCUBATOR SHAKER (ZHWHY 2118) cihazda 60 dakika ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon sonrasında örnekler 0.45 μm filtreden şırıngadan süzülüp ve analize kadar buzdolabında bekletilmiştir. Örnekleme PM₁₀ içinde iyonik kompozisyonu belirlemek amacıyla DIONEX-ICS 1100 İyon Kromatografisi kullanılmıştır. İyon Kromatografisi cihazının teknik özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmiştir. Çalışmada PM₁₀ örneklerinin suda çözünabilir kısmının anyon (Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , F^- , Br^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) ve katyon (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{+2} ve Ca^{+2}) derişimleri belirlenmiştir.

Tablo 3.1: Anyon analizlerinde kullanılan İyon kromatografi cihazının teknik özellikleri

Ana Bileşenler	Özellik
Kolon	AS9*HC(250*4 mm)
Ön Kolon	AS9*HC(50*4 mm)
Suppressor	ASAS 3000 (su ile suprasyon modunda çalışan suppressor)
Suppressor akımı	55 mA
Eluent	10 mM Na_2CO_3 (Sodyum Karbonat)
Akış hızı	1.0 mL/dak
Fırın sıcaklığı	30 ⁰ C

Tablo 3.2: Katyon analizlerinde kullanılan İyon kromatografi cihazının teknik özellikleri

Ana Bileşenler	Özellik
Kolon	AS9*HC(250*4 mm)
Ön Kolon	AS9*HC(50*4 mm)
Suppressor	ASES 300 (su ile suprasyon modunda çalışan suppressor)
Suppressor akımı	100 mA
Eluent	20 mM $\text{CH}_4\text{O}_3\text{S}$ (Metan Sulfonik Asit)
Akış hızı	1.0 mL/dak
Fırın sıcaklığı	30 ⁰ C

4. BULGULAR

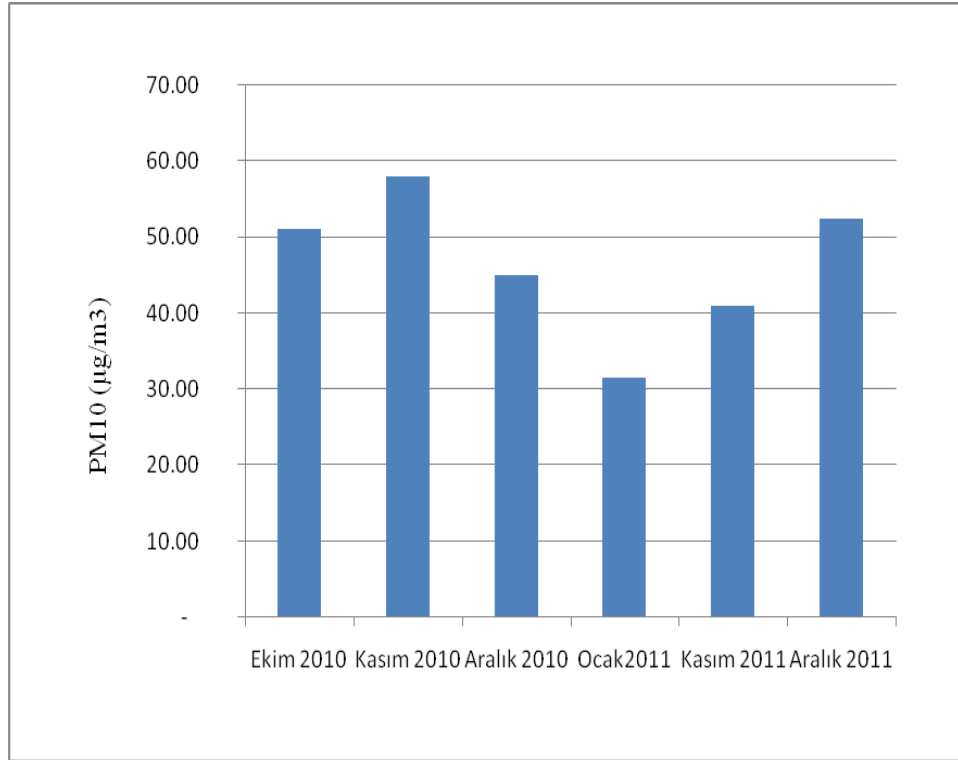
4.1. PARTİKÜL MADDE KÜTLESEL KONSANTRASYONU

Bu çalışmada Ekim 2010–Ocak 2012 tarihleri arasında ısınma olan dönemde (Ekim-Mart) İstanbul Üniversitesi Avcılar yerleşkesinde toplanan PM_{2.5} ve PM₁₀ örneklerinin kütle konsantrasyonları gravimetrik olarak tayin edilmiştir. Çalışma periyodu boyunca 101 örnek (23 adet PM_{2.5} ve 78 adet PM₁₀ örneği) toplanmıştır. Örneklerin konsantrasyon değişimlerine ait istatistiksel değerler Tablo 4.1’de verilmiştir, örnekleme süresince ölçülen PM₁₀’nun aylık ortalama konsantrasyonları Şekil 4.1, PM_{2.5}’un aylık ortalama konsantrasyonları ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Örnekleme süresince PM₁₀ konsantrasyonlarının zamansal değişimi Şekil 4.3’te, PM_{2.5} konsantrasyonlarının zamansal değişimi ise Şekil 4.4’te verilmiştir.

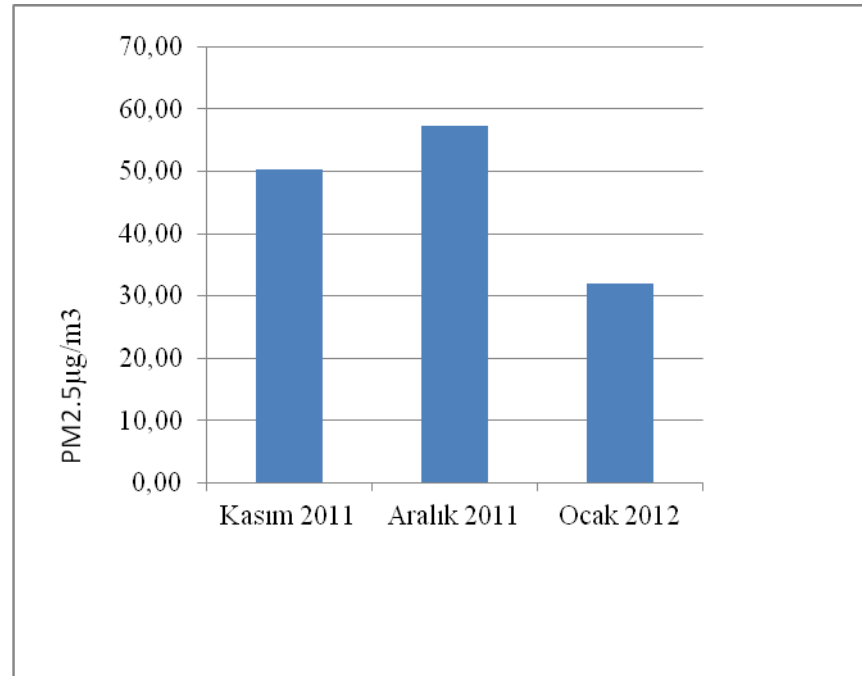
Tablo 4.1: PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonlarına ait İstatistiksel Değerler (µg/m³)

PM	Örnek Sayısı	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum	Ortanca
PM _{2.5}	23	39.8	25.7	101.0	11.6	32
PM ₁₀	78	43.0	30	126.4	3.7	38.4

Avcılar istasyonunda PM₁₀’a ait veriler incelendiğinde en yüksek konsantrasyon 126.41 µg/m³, en düşük konsantrasyon ise 3.74 µg/m³ olduğu gözlenmiştir. PM_{2.5}’a ait verilerde ise en yüksek konsantrasyon değeri 101.05 µg/m³, en düşük konsantrasyon 11.64 µg/m³ olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.1).



Şekil 4.1: PM₁₀'un aylara göre ortalama konsantrasyonları

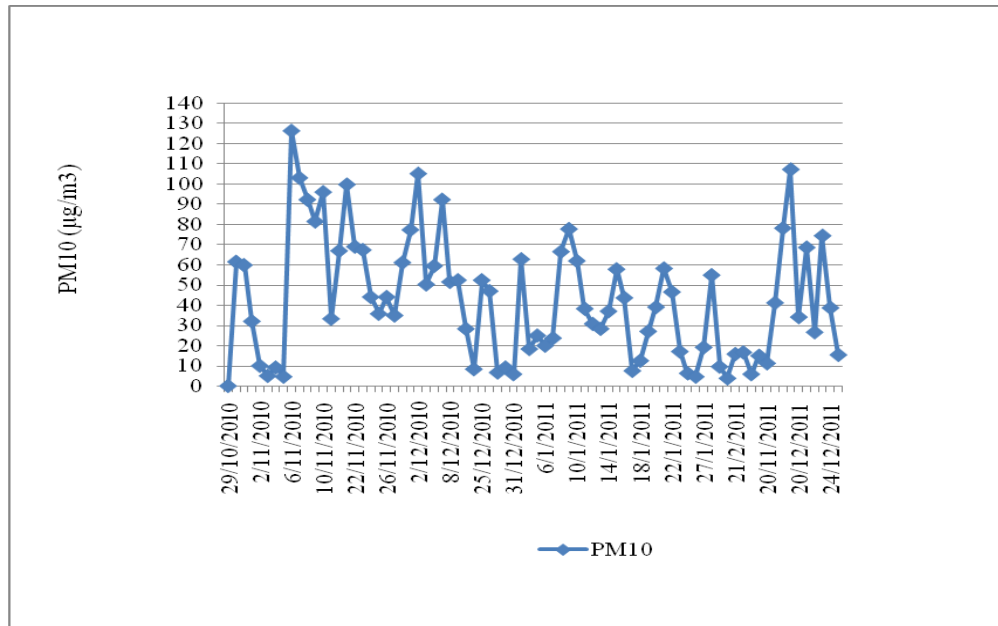


Şekil 4.2: PM_{2.5}'un aylara göre ortalama konsantrasyonları

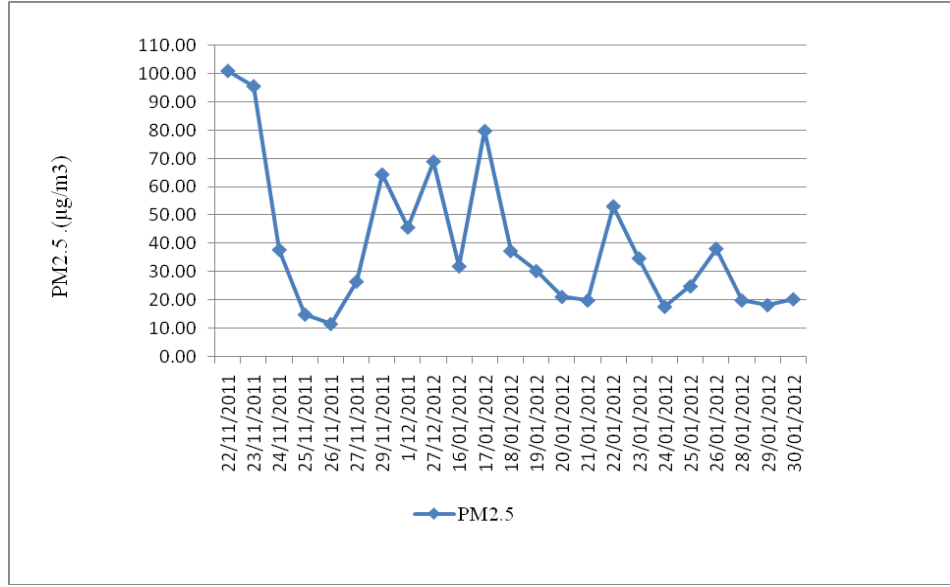
Şekil 4.1’de Ekim - Ocak 2010 ve Kasım - Aralık 2011 tarihleri arasında örneklenen PM_{10} ’nun aylık ortalama konsantrasyonları verilmiştir. Aylık en yüksek ortalama konsantrasyon $58.09 \mu g/m^3$ Kasım 2010’da, en düşük ortalama konsantrasyon ise $31.51 \mu g/m^3$ olarak Ocak 2010’da ölçülmüştür.

Şekil 4.2’de Kasım-Aralık 2011 ve Ocak 2012 tarihlerinde örneklenen $PM_{2.5}$ ’un aylık ortalama konsantrasyonları verilmiştir. Aylık en yüksek ortalama konsantrasyon $57.39 \mu g/m^3$ olarak Aralık 2011’de, en düşük ise $32.03 \mu g/m^3$ olarak Ocak 2012’de gözlenmiştir.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Genel olarak $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyon sonuçlarına bakıldığında $PM_{2.5}$ (ince partikül) konsantrasyonlarının PM_{10} konsantrasyon değerlerine yakın değerler aldığı görülmüştür. Örneklemeler farklı günlerde yapıldığından kesin bir partikül fraksiyon oranı verilmesi mümkün değildir. Ancak örnekleme noktasının endüstriyel, trafik ve evsel ısınma gibi antropojenik kaynaklı emisyonların yoğun olduğu bir bölgede olması nedeniyle ince partikül madde konsantrasyonlarının yüksek değerler aldığı söylenebilir.



Şekil 4.3: İstasyonda örneklenen PM_{10} konsantrasyonlarının zamansal değişimi



Şekil 4.4: İstasyonda örneklenen PM_{2.5} konsantrasyonlarının zamansal değişimi

Şekil 4.3. ve Şekil 4.4’de PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de görüldüğü gibi 24 saatlik konsantrasyonlar zaman içinde değişkenlik göstermektedir. PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonlarına meteorolojik koşulların etkisi rüzgar hızı, rüzgar yönü, yağış, sıcaklık ve basınç gibi meteorolojik parametreler dikkate alınarak Bölüm 4.3’te tartışılmıştır.

4.2. PM KONSANTRASYONLARININ STANDARTLARLA

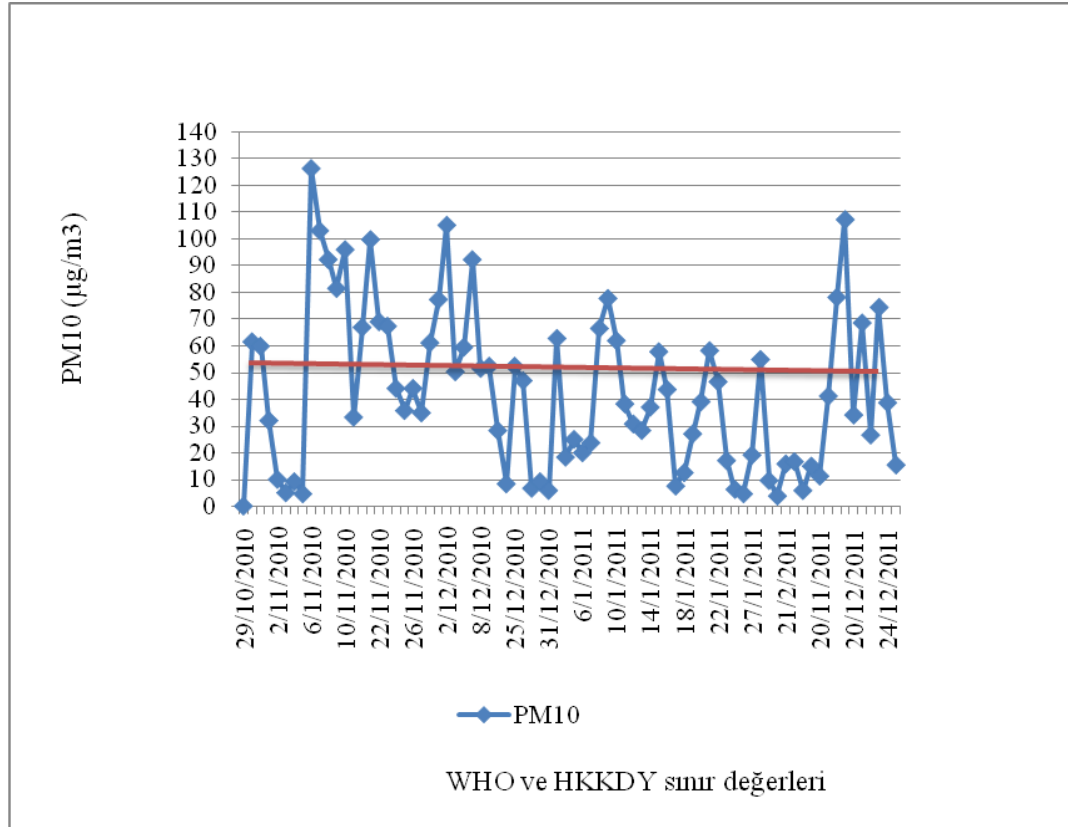
KARŞILAŞTIRILMASI

PM_{2.5} ve PM₁₀ örneklerin 24 saatlik konsantrasyonları Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO - *World Health Organization*) ve Amerika Çevre Koruma Örgütü (US EPA – *Environmental Protection Agency*) tarafından belirtilen standartlarla karşılaştırması Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da görülmektedir.

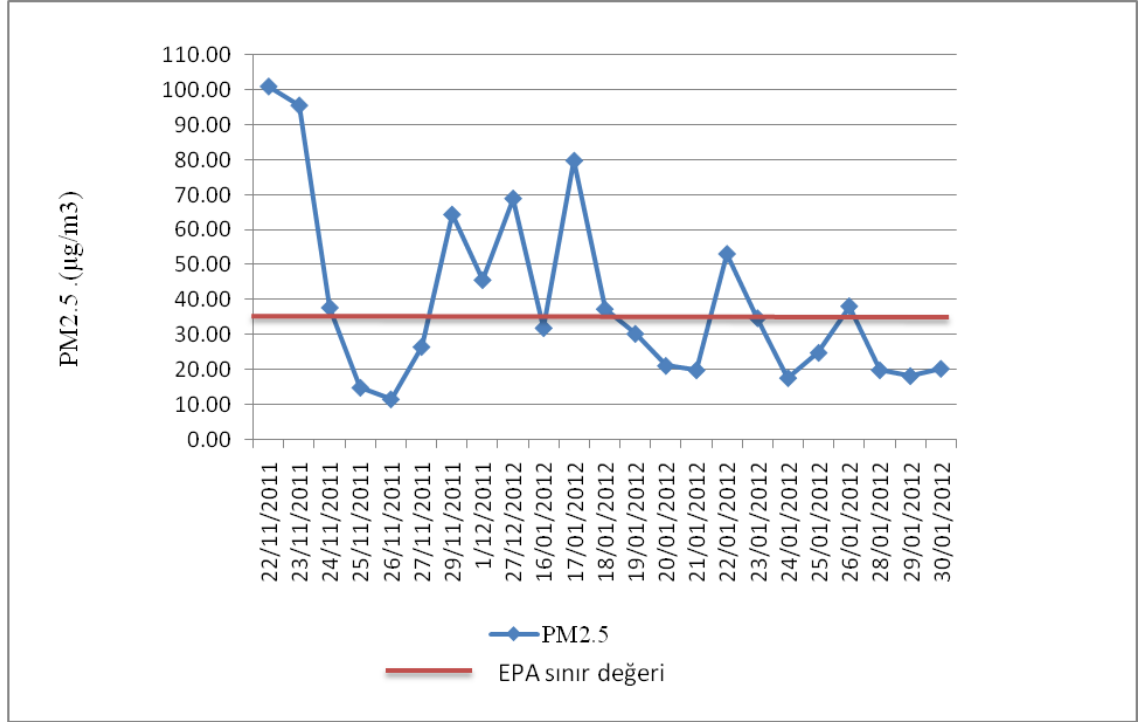
Şekil 4.5’e bakıldığında 24 saatlik PM₁₀ örneklerinin %29’unun WHO’da önerilen ve ülkemizde 1 Ocak 2019’a kadar ulaşılması gereken 50 µg/m³ ‘lük 24 saatlik sınır

değerini aştığı görülmüştür. *EPA* tarafından belirtilen PM_{10} sınır değerini ($150 \mu g/m^3$) ise hiç bir ayda geçmediği görülmektedir.

Ülkemizde $PM_{2.5}$ için henüz ilgili yönetmelikte bir sınır değeri bulunmamaktadır. Şekil 4.6'e bakıldığında 24 saatlik $PM_{2.5}$ örneklerinin %39'unun *EPA*'da belirtilen sınır değerini ($35 \mu g/m^3$) aştığı, %60'ının ise WHO'da önerilen $25 \mu g/m^3$ 'lük sınır değerini aştığı görülmüştür.



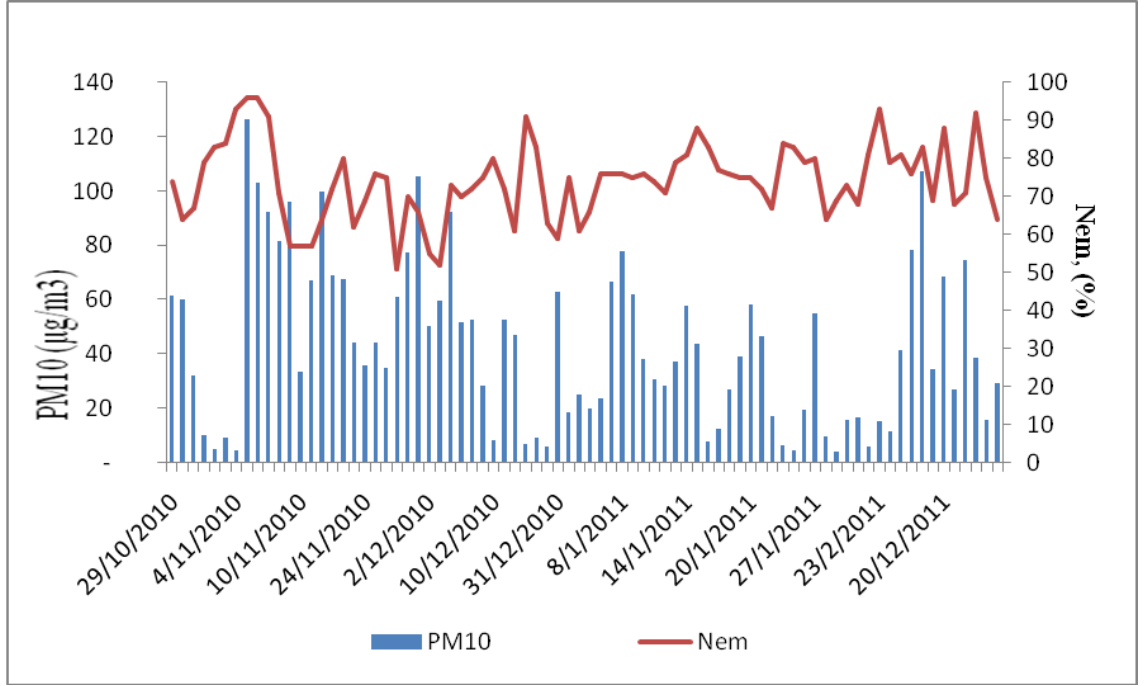
Şekil 4.5: 24 saatlik PM_{10} konsantrasyonunun WHO ve HKKDY sınır değerleri ile karşılaştırması



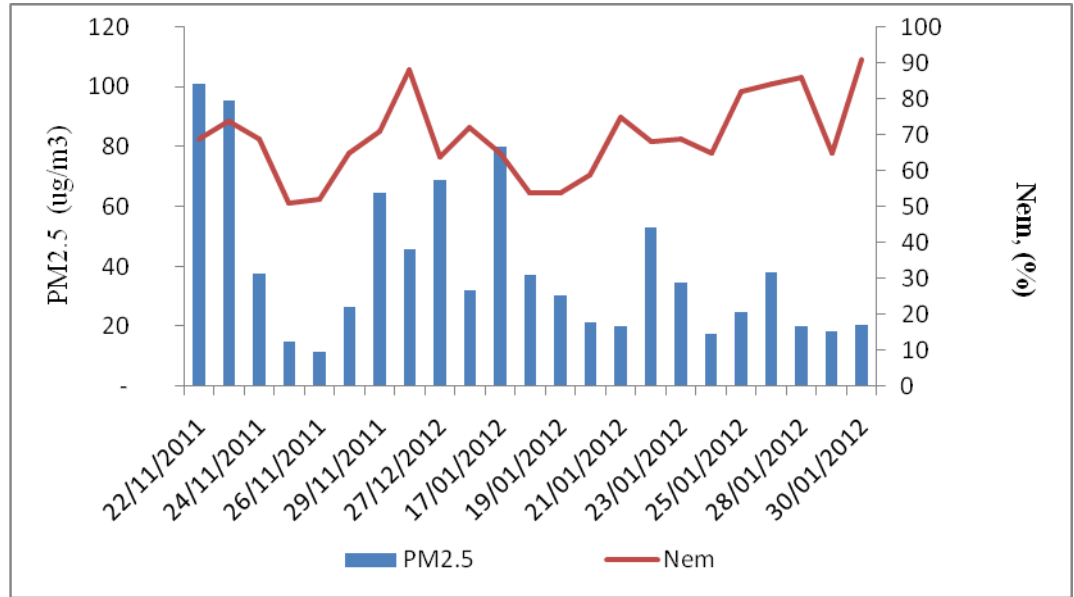
Şekil 4.6: 24 saatlik PM_{2.5} konsantrasyonunun EPA sınır değerleri ile karşılaştırması.

4.3. METEOROLOJİNİN ETKİSİ

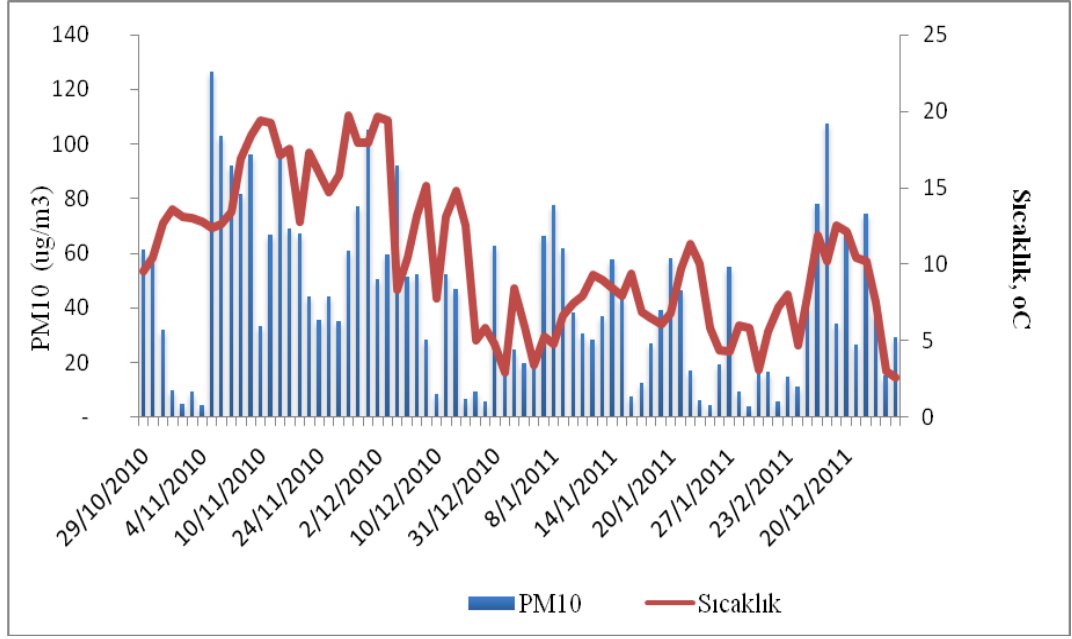
Bu bölümde, örnekleme süresince PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyon değişiminin meteorolojik parametreler ile ilişkisi (bağıl nem, sıcaklık, basınç, rüzgar hızı) incelenmiştir. İstasyonda toplanan PM₁₀ ve PM_{2.5}'in nem ile arasındaki ilişkileri Şekil 4.7 ve 4.8'de, sıcaklık arasındaki ilişkileri Şekil 4.9 ve 4.10'da, basınç arasındaki ilişkileri Şekil 4.11 ve 4.12'de, yağış arasındaki ilişkileri Şekil 4.13 ve 4.14'de sırayla verilmiştir. Şekil 4.15'te PM₁₀ konsantrasyonunun rüzgar hızı ile ilişkisi verilmiştir. Örnekleme bölgedeki örnekleme süreçlere ait hakim rüzgar yönleri PM₁₀ ve PM_{2.5} için Şekil 4.16 ve 4.17'te sırayla verilmiştir.



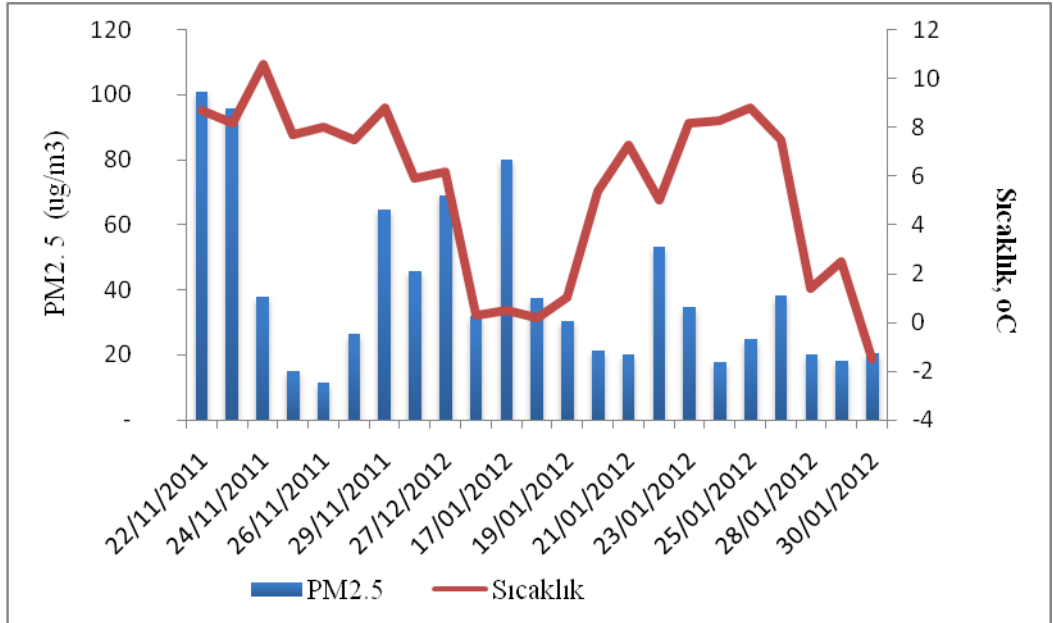
Şekil 4.7: PM₁₀ konsantrasyonu ile nem arasındaki ilişki



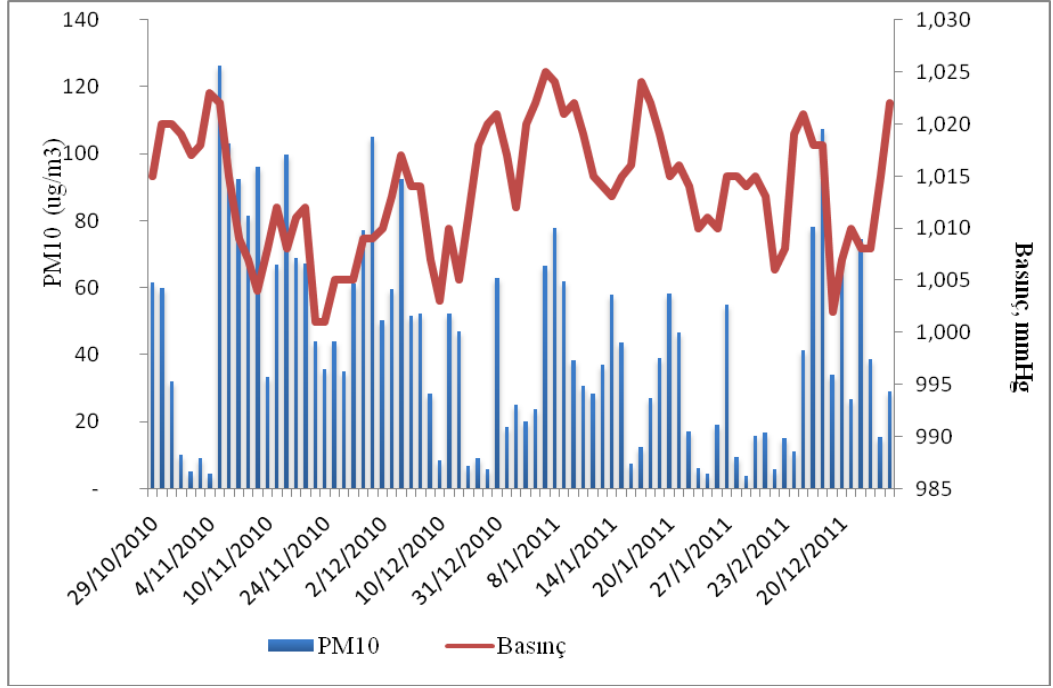
Şekil 4.8: PM_{2.5} konsantrasyonu ile nem arasındaki ilişki



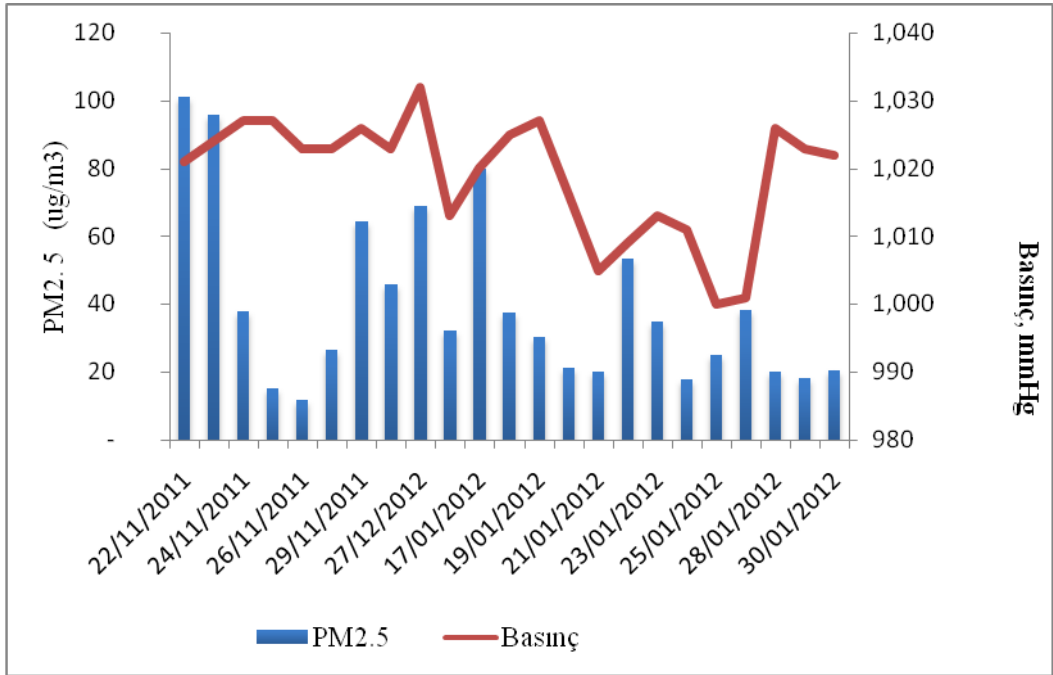
Şekil 4.9: PM₁₀ konsantrasyonu ile sıcaklık arasındaki ilişki



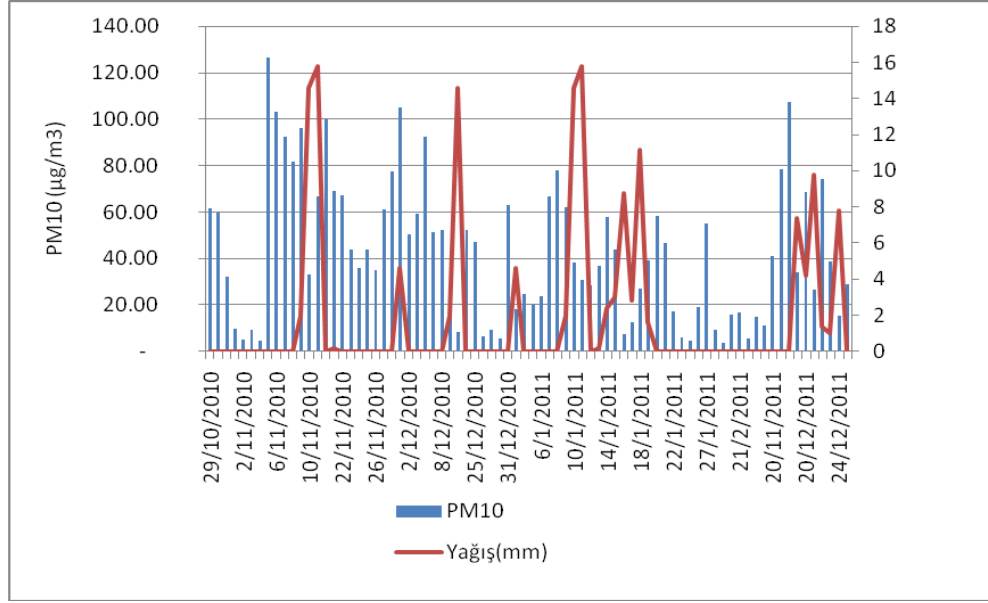
Şekil 4.10: PM_{2.5} konsantrasyonu ile sıcaklık arasındaki ilişki



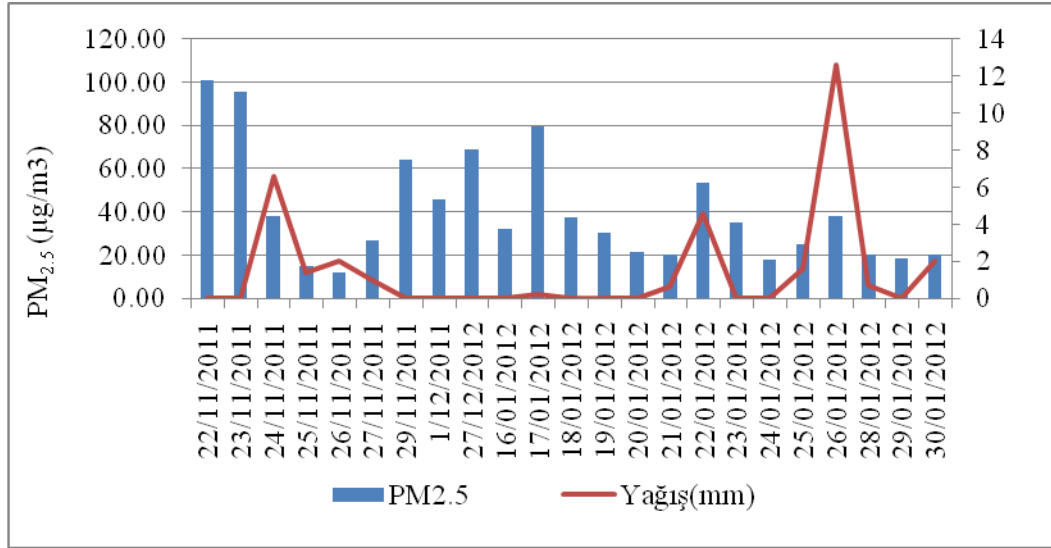
Şekil 4.11: PM₁₀ konsantrasyonu ile basınç arasındaki ilişki



Şekil 4.12: PM_{2.5} konsantrasyonu ile basınç arasındaki ilişki



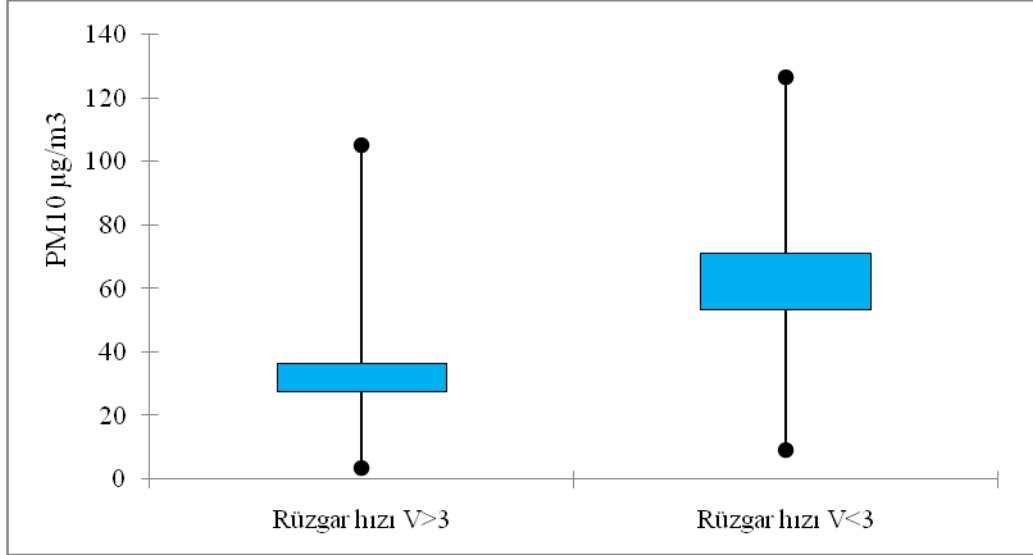
Şekil 4.13: PM₁₀ konsantrasyonu ile yağış arasındaki ilişki



Şekil 4.14: PM_{2.5} konsantrasyonu ile yağış arasındaki ilişki

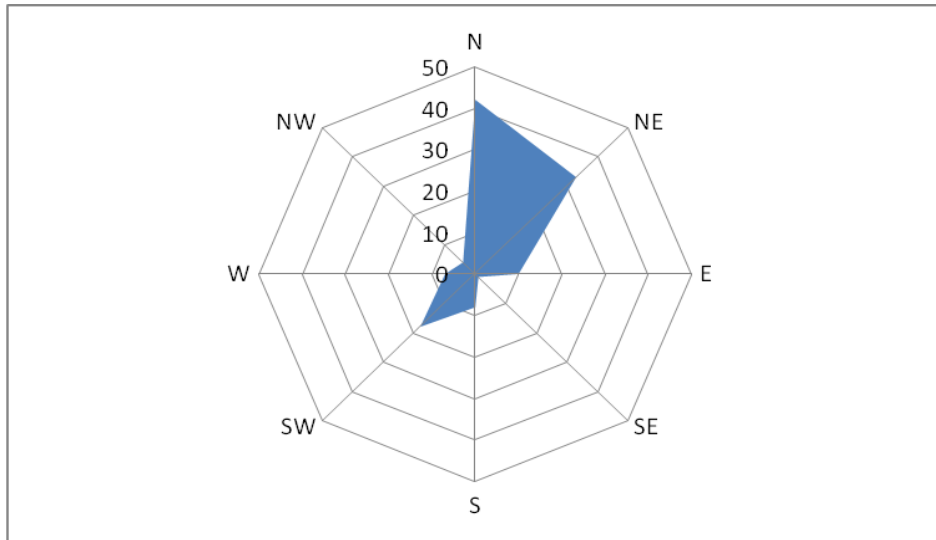
Yağış olduğu günlerde PM₁₀'da gözlenen günlük konsantrasyonların 7.49 - 105.21 µg/m³ arasında, yağış olmayan günde ise 3.74-126 µg/m³ arasında olduğu gözlenmiştir. PM_{2.5}'ta ise yağış olduğu günlerde gözlenen günlük konsantrasyonlar 11.64 - 79.84 µg/m³ arasında, yağış olmayan günde ise 17.72 - 101,05 µg/m³ arasında değişmiştir. PM_{2.5} maksimum konsantrasyonu olan 101,05 µg/m³ değeri yağış olmayan günde ölçülmüştür. PM_{2.5} ve PM₁₀'un en düşük konsantrasyonları Ocak 2011 ve Ocak

2012’de gözlenmiştir. Meteorolojik parametreler incelendiğinde bu dönemde özellikle yağışların çok olduğu tespit edilmiştir.

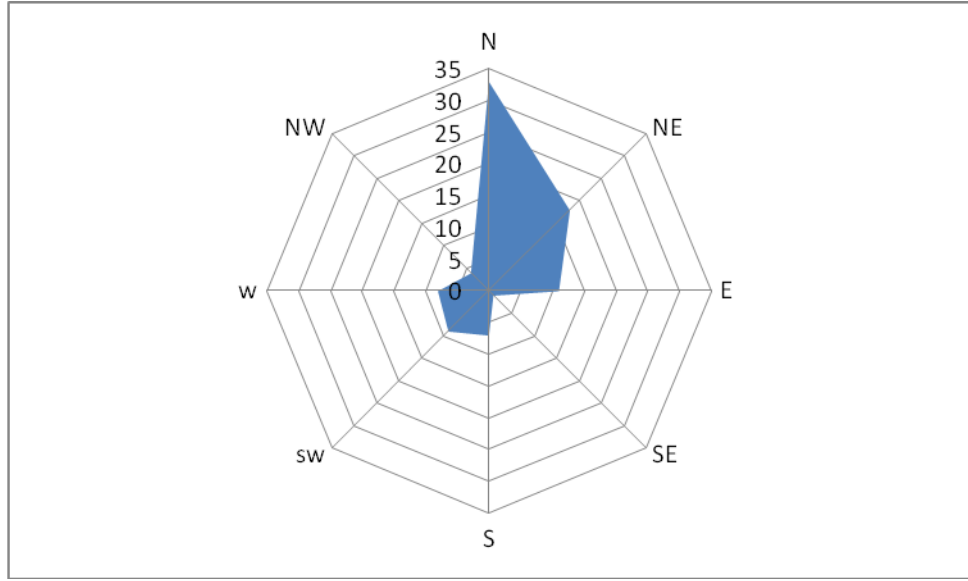


Şekil 4.15: PM₁₀ konsantrasyonu ile rüzgar hızı arasındaki ilişki

Rüzgar hızının şiddeti arttıkça hava kirleticilerinin derişimlerinin azaldığı görülmektedir. Rüzgar hızının yüksek olduğunda ortalama PM₁₀ konsantrasyonu ve standart sapmaları $3,74 \pm 105,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, düşük rüzgar hızlarında ise $9,15 \pm 126,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak gözlenmiştir, yüksek konsantrasyonlar rüzgar hızının düşük olduğu günlerde oluşmuştur.



Şekil 4.16: PM₁₀ örnekleme süresince bölgedeki hakim rüzgar yönleri

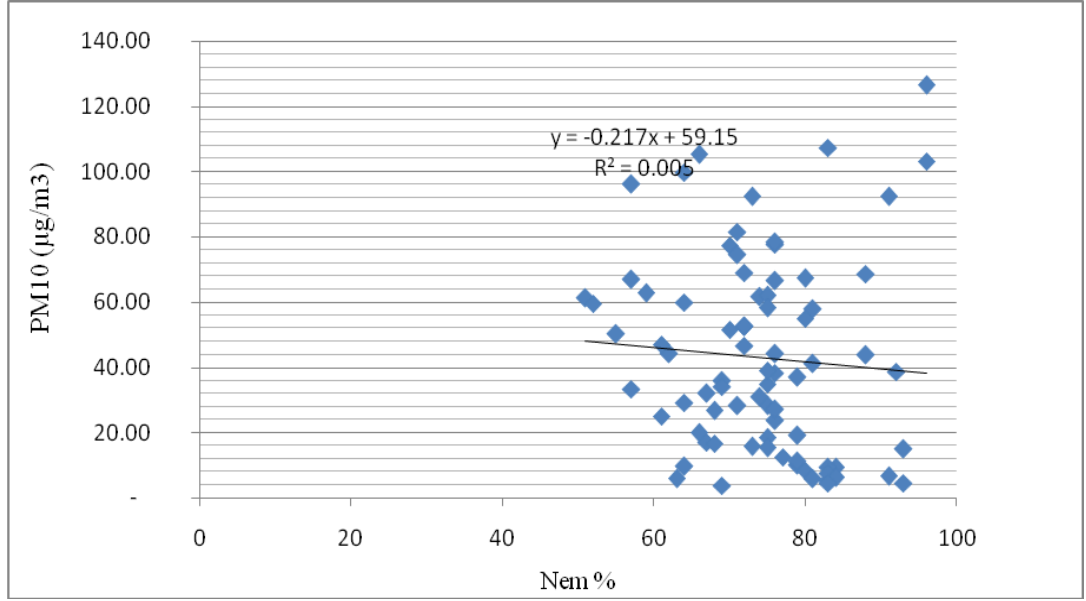


Şekil 4.17: PM_{2.5} örnekleme süresince bölgedeki hakim rüzgar yönleri

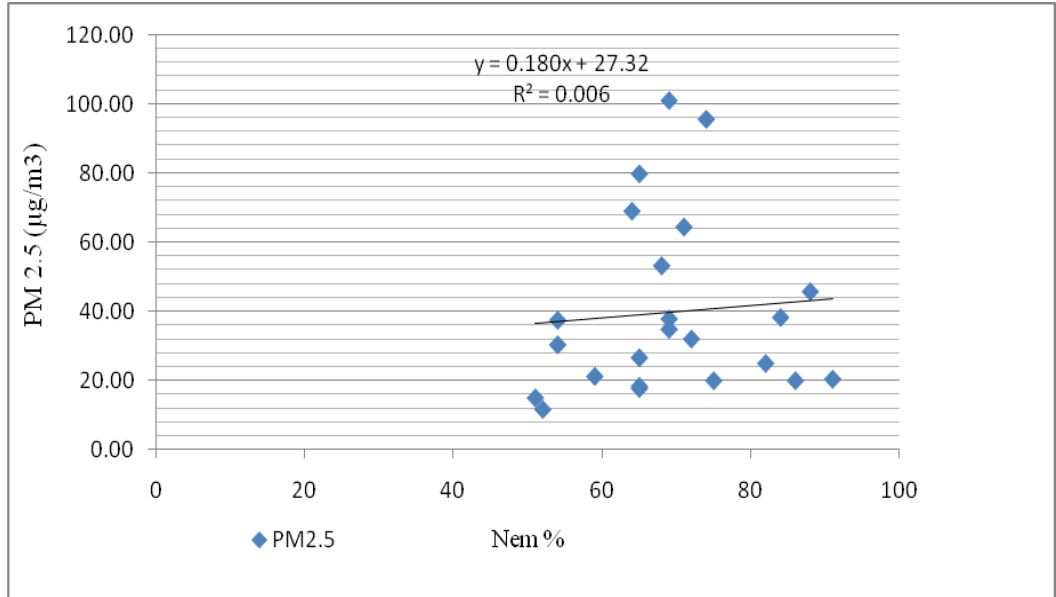
Her ay için hakim rüzgar yönü ay içerisinde rüzgarın en çok estiği yön hakim rüzgar yönü olarak kabul edilmiştir. Şekil 4.16'ya bakıldığında PM₁₀ örnekleme periyodu süresince genellikle Kuzey (N), Kuzeydoğu (NE) ve Güneybatı (SW) rüzgar esme yönleri gözlenmiştir. Şekil 4.17'te ise PM_{2.5} örnekleme periyodu süresince genellikle Kuzey (N), Kuzeydoğu (NE), Doğu (E) ve Güneybatı (SW) rüzgar esme yönleri gözlenmiştir.

4.4. PM KONSANTRASYONLARININ METEOROLOJİK PARAMETRELER İLE KORELASYONU

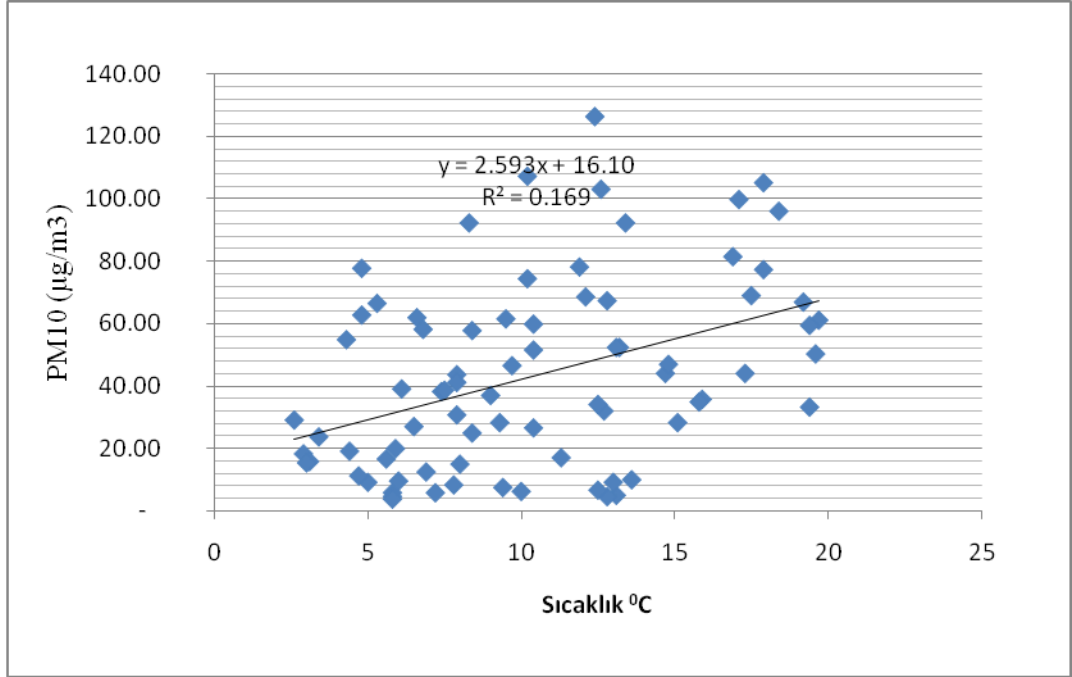
Bu bölümde meteorolojik parametreler (bağıl nem, sıcaklık, basınç, yağış ve rüzgar hızı) ile örnekleme süresince PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonların değişimleri arasındaki korelasyon Şekil 4.18-4.25'te verilmiştir. Korelasyon değerleri (R) incelendiğinde PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonların değişimi ile nem, sıcak, basınç ve yağış arasında anlamlı ilişki gözlenememiştir.



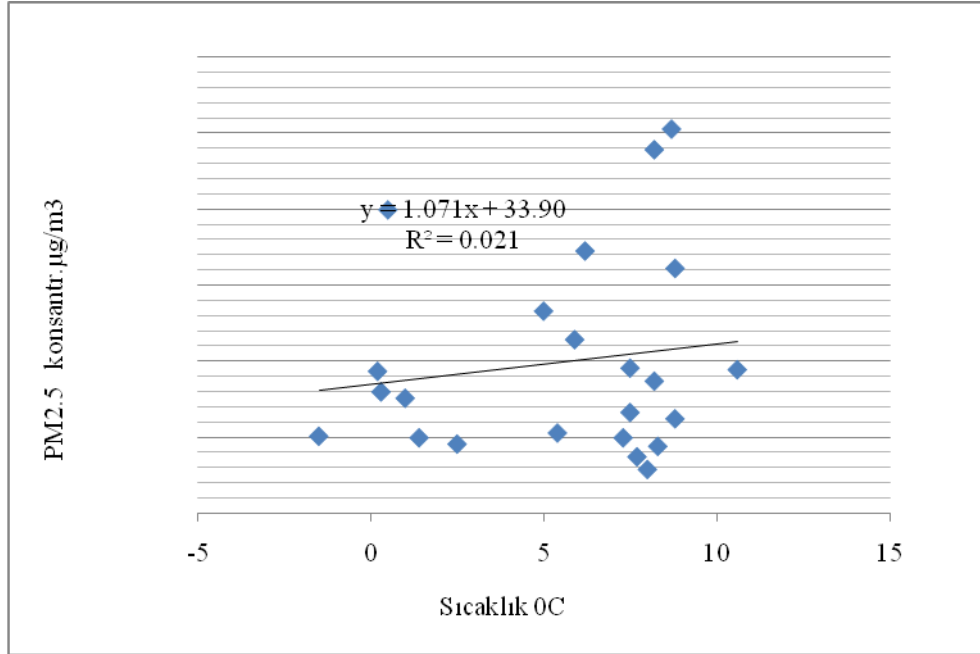
Şekil 4.18: PM₁₀ konsantrasyonları ve nem arasındaki korelasyon



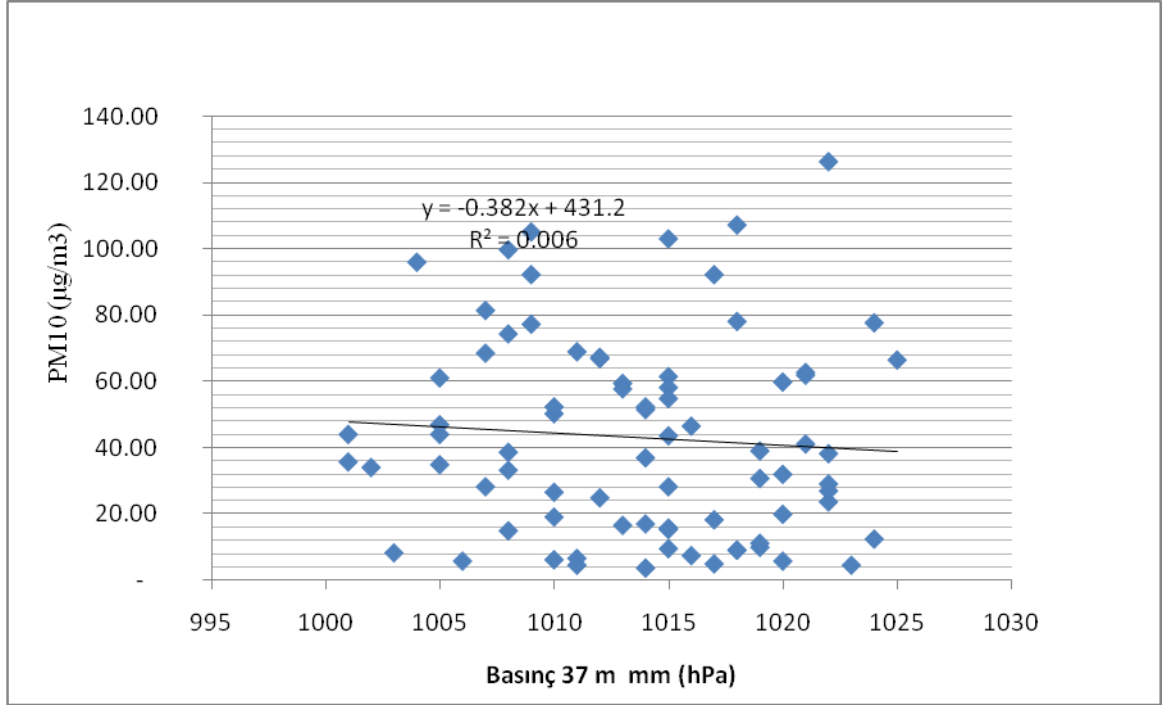
Şekil 4.19: PM_{2,5} konsantrasyonları ve nem arasındaki korelasyon



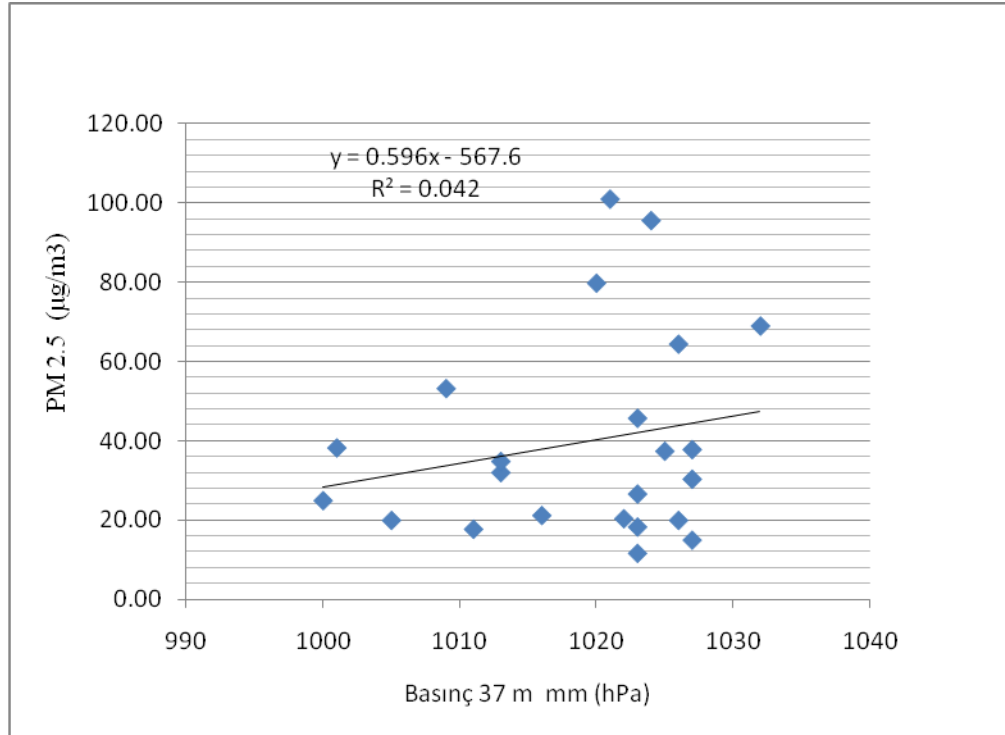
Şekil 4.20: PM₁₀ konsantrasyonları ve sıcaklık arasındaki korelasyon



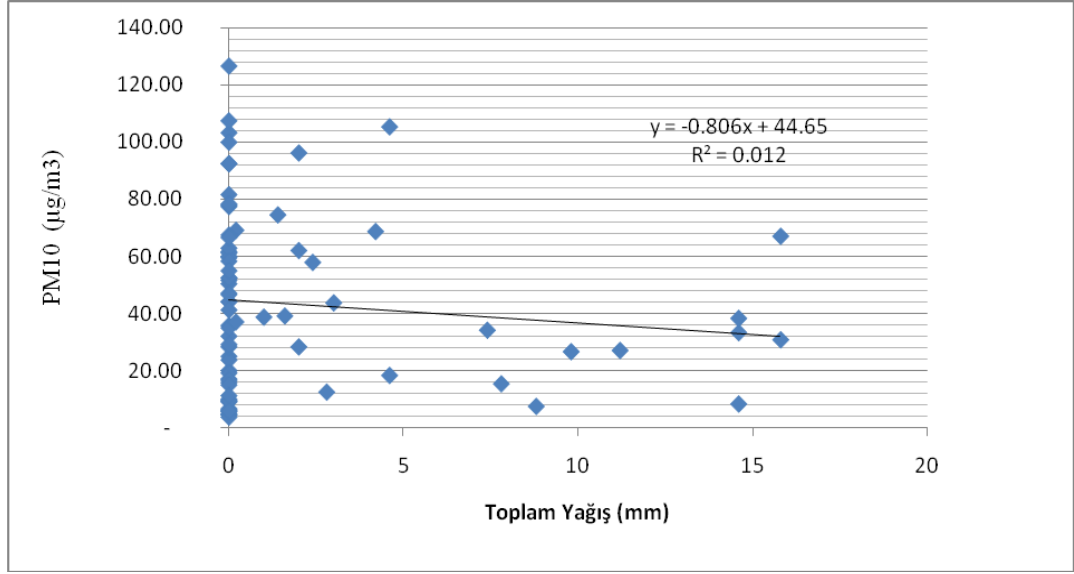
Şekil 4.21: PM_{2.5} konsantrasyonları ve sıcaklık arasındaki korelasyon



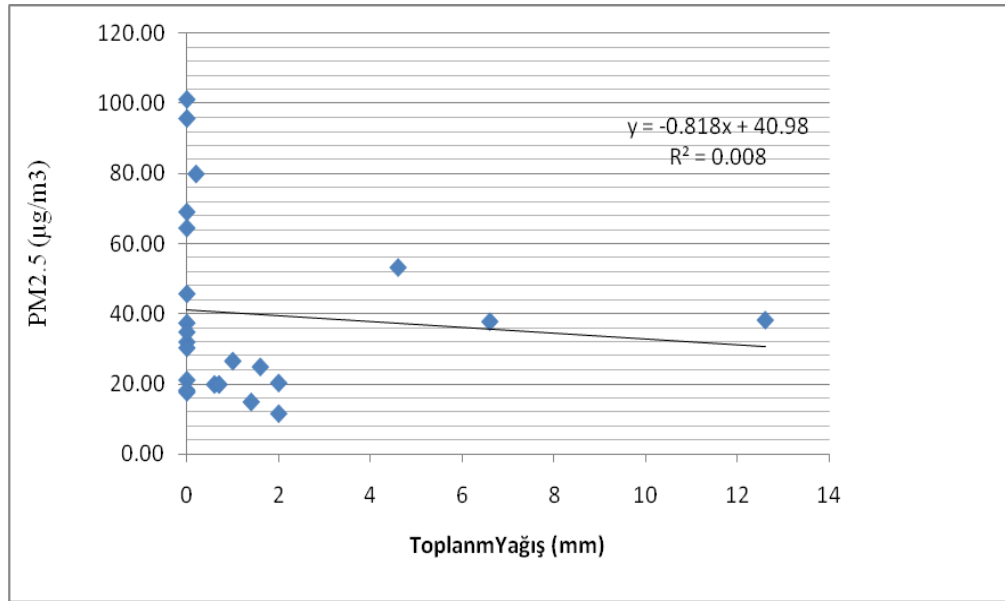
Şekil 4.22: PM₁₀ konsantrasyonları ve basınç arasındaki korelasyon



Şekil 4.23: PM_{2.5} konsantrasyonları ve basınç arasındaki korelasyon



Şekil 4.24: PM₁₀ konsantrasyonları ve yağış arasındaki korelasyon



Şekil 4.25: PM_{2.5} konsantrasyonları ve yağış arasındaki korelasyon

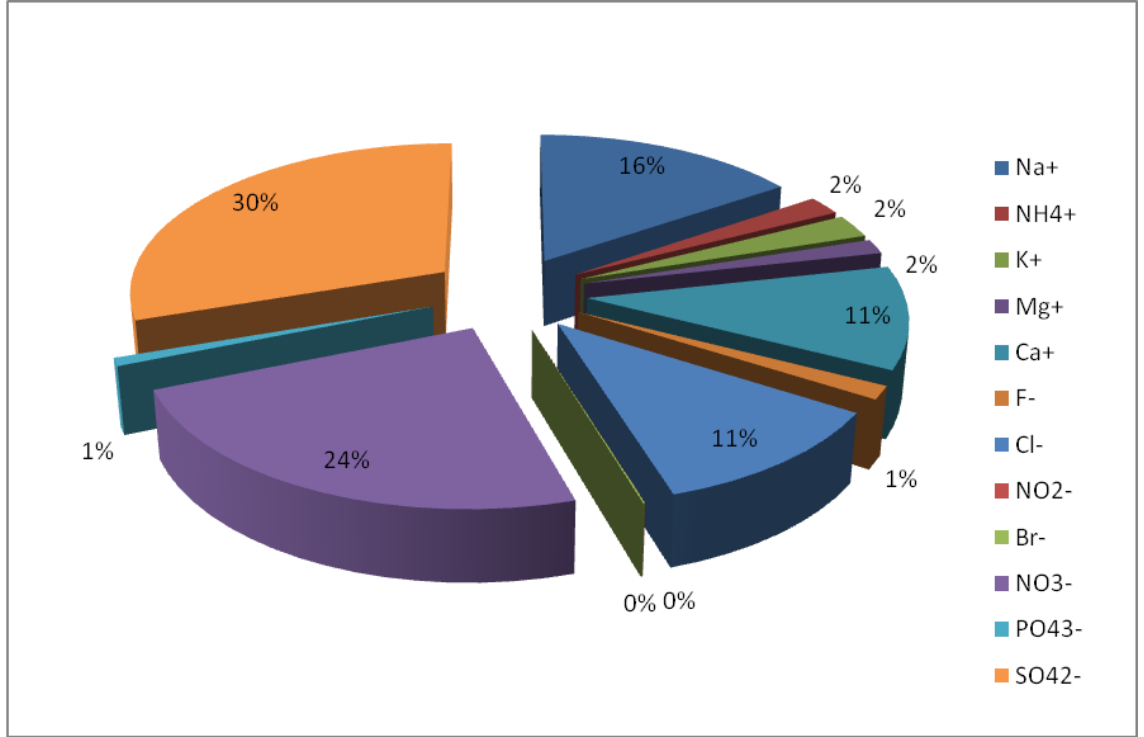
4.5 İYON VERİLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ

4.5.1 İyon Derişimlerinin Belirlenmesi

Çalışmada Ekim 2010 - Aralık 2011 ve Kasım 2011 - Ocak 2012 dönemlerinde toplanan 78 adet PM_{10} örneğinden 70 tanesinde iyonik derişimler belirlenmiştir. Tablo 4.3’de anyon (Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , F^- , Br^- , PO_4^{-3} , SO_4^{-2}) ve katyon (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} ve Ca^{+2}) derişimlerinin ortalama ve standart sapmaları verilmiştir. Şekil 4.26’da PM_{10} ’nun iyonik derişimlerinin oranı gösterilmiştir. SO_4^{-2} ve NO_3^- ortalama derişimleri sırasıyla $4,274 \mu g/m^3$ ve $3,336 \mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. Na^+ , Ca^{+2} ve Cl^- ortalama derişimleri ise sırasıyla $2,193 \mu g/m^3$, $1,541 \mu g/m^3$ ve $1,602 \mu g/m^3$ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.2: PM_{10} iyon derişimlerinin istatistiksel değerleri ($\mu g/m^3$)

	Min	Max	Ortalama	Standart Sapma
Na^+	0,180	8,592	2,193	1,692
NH_4^+	0,008	1,036	0,285	0,318
K^+	0,136	0,789	0,349	0,151
Mg^+	0,009	0,846	0,221	0,180
Ca^{+2}	0,013	6,296	1,541	1,541
F^-	0,023	0,648	0,199	0,125
Cl^-	0,09	11,98	1,602	2,061
NO_2^-	0	0,014	0	0,001
Br^-	0	0,693	0,011	0,086
NO_3^-	0,025	23,962	3,336	4,238
PO_4^{-3}	0,004	0,627	0,12	0,137
SO_4^{-2}	0,478	19,727	4,274	3,042



Şekil 4.26: PM₁₀'da anyon ve katyonların oranı

Şekil 4.26 değerlendirildiğinde SO_4^{2-} (%30) ve NO_3^- (%24) iyonlarının fazla olduğu görülmektedir. İnce partiküllerde görülen SO_4^{2-} ve NO_3^- parçacıkları genellikle partiküllerin yanma kaynaklı, kaba partiküllerde görülen nitrat sülfat parçacıkları ise genellikle partiküllerin toprak kaynaklı olduğunu göstermektedir (Tsiouridou ve ark. 2003; Yatın ve ark. 2000). Atmosferdeki SO_2 ve NO_x 'leri ikincil aerosol olarak temsil eden bileşikler nitrat ve sülfat iyonlarıdır. Bu çalışmada ısınma olmayan dönemde örnek toplanmadığı için ısınma olan dönem ile ısınma olmayan dönem arasında karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak ince partikülleri temsil eden $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonlarının yüksek olması sebebiyle ısınma olan dönemde nitrat ve sülfat parçacıklarının yanma kaynaklı olduğu söylenebilir. PM_{10} içindeki diğer iyonlar; Na^+ %16, Cl^- %11 ve Ca^{+2} %11 olarak bulunmuştur. NO_2^- , F^- , Br^- , PO_4^{3-} , K^+ , NH_4^+ , Mg^{+2} ise düşük derişimlerde (<%2) bulunmuştur.

4.5.2. Anyon katyon kütle denklği

PM yapısındaki suda çözünür bileşenler belirlendiğinde anyon ve katyon derişimleri eşdeğer derişimlere dönüştürüldüğünde, anyon eşdeğer derişimlerinin katyon eşdeğer derişimlere eşit olması beklenir. Bu çalışmada elde edilen $\mu\text{g}/\text{m}^3$ derişim değerleri

$\mu\text{mol}/\text{m}^3$ 'e dönüştürülmüş ve daha sonra kütle denkliği hesaplanmıştır. Kullanılan eşitlik aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$\Sigma \text{ anyon (eşdeğer derişim)} = \Sigma \text{ kation (eşdeğer derişim)} \quad (5.1)$$

Tüm örneklerdeki anyon ve kationlar için eşdeğer (eşd) kütleler aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$(\mu\text{moleşd } \text{Cl}^- + \mu\text{moleşd } \text{NO}_2^- + \mu\text{moleşd } \text{NO}_3^- + \mu\text{moleşd } \text{SO}_4^{-2} + \mu\text{moleşd } \text{PO}_4^{-3}, \\ + \mu\text{moleşd } \text{F}^- + \mu\text{moleşd } \text{Br}^-) = (\mu\text{moleşd } \text{Na}^+ + \mu\text{moleşd } \text{K}^+ + \mu\text{moleşd } \text{NH}_4^+ + \mu\text{moleşd } \text{Mg}^{+2} + \mu\text{moleşd } \text{Ca}^{+2}) \quad (2)$$

PM₁₀ Kütle Denkliği hesaplama şu şekilde yapılmaktadır:

$$\Sigma \text{ Anyon } \mu\text{moleşd} / \Sigma \text{ Kation } \mu\text{molşd} \quad (5.2)$$

Yapılan hesaplamada anyon ve kation kütleleri birbirine esit çıkmaktadır ($\Sigma \text{ Anyon } \mu\text{moleşd} / \Sigma \text{ Kation } \mu\text{molşd} = 1.01$) (Ayvaz Kahramantekin, 2006).

İyonik derişimlerin değışiminin daha iyi anlaşılabilmesi için korelasyon analizi yapılarak Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. (Tablo 4.4). Korelasyon matrisi incelendiğinde PM₁₀, Ca⁺² ve Mg⁺² arasında güçlü ilişki olduğu görülmüştür. Ca⁺² ve Mg⁺² toprak kaynaklı iyonlardır ve PM₁₀ ile de ilişkisi de dikkate alındığında örnekleme noktasında yerden havalanan cadde tozunun etkili olduğu söylenebilir. Cl⁻ iyonu ise genellikle kömür yakılması ile ilişkilidir (Tan et al, 2006) ve Mg⁺² ile anlamlı bir korelasyon göstermiştir. NO₃⁻ ve SO₄⁻² arasındaki güçlü korelasyon yakma kaynaklı emisyonların etkin olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.3: PM₁₀ KorelasyonMatrisi

[illegible]

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Ekim 2010 – Ocak 2012 tarihleri arasında İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi'nde iki farklı fraksiyonda (PM_{10} ve $PM_{2.5}$) örneklenen partikül maddenin kütle konsantrasyonları ve iyon derişimleri belirlenmiştir.

Çalışma periyodu boyunca 101 örnek alınmıştır. Örneklerin konsantrasyon değışimlerine ait istatistiksel değerler verilmiş, PM_{10} fraksiyonunda en yüksek konsantrasyon $126.41 \mu g/m^3$, en düşük konsantrasyon ise $3.74 \mu g/m^3$ $PM_{2.5}$ fraksiyonunda ise en yüksek konsantrasyon değeri $101.05 \mu g/m^3$, en düşük konsantrasyon $11.64 \mu g/m^3$ olarak bulunmuştur.

24 saat süre ile örneklenen PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları WHO ve EPA kılavuz ve sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ölçülen PM_{10} konsantrasyonları EPA tarafından belirlenen günlük sınır değerini ($150 \mu g/m^3$) aşmamış, WHO tarafından önerilen PM_{10} kılavuz değerin ($50 \mu g/m^3$) Kasım 2010 ve Aralık 2011'de üzerine çıkmıştır. $PM_{2.5}$ 'un ortalama konsantrasyonları EPA tarafından belirlenen sınır değeri ($35 \mu g/m^3$) sadece Ocak ayında geçmediği görülmüştür, WHO – tarafından ise önerilen $PM_{2.5}$ kılavuz değerin ($25 \mu g/m^3$) ölçümlerin çoğunda geçtiği görülmüştür. Ülkemizde 6 Haziran 2008'de uygulamaya başlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (HKDYY) insan sağlığının korunması için 24 saatlik ortalama PM_{10} sınır değeri $50 \mu g/m^3$ (bir yılda 35 defadan fazla aşılmaz, limit değere ulaşılacak tarih 2019) olarak tanımlanmıştır, $PM_{2.5}$ için ise HKDYY'de sınır değeri bulunmamaktadır. Bu çalışmada tespit edilen PM_{10} değerleri HKDYY'de belirtilen PM_{10} sınır değeri 29 kere aşmıştır.

Çalışmada İstanbul Büyükşehir Atatürk Hava Limanı (Yenibosna) Meteoroloji İstasyonuna ait ölçüm sonuçları kullanarak ölçülen PM konsantrasyonlarının meteorolojik verileri ile ilişkisi incelenmiştir. PM_{10} konsantrasyonları Ocak 2011'de diğer aylara göre daha düşüktür, özellikle bu günlerine ait meteorolojik olaylarına

bakıldığında yağışlı günlerin fazla olması bu dönemde PM konsantrasyonunun düşük çıkmasına neden olmuştur. PM_{10} 'nun maksimum konsantrasyonu yağış olmayan günde $126 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2.5}$ 'nin maksimum konsantrasyonu ise yine yağış olmayan günde $101,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak gözlenmiştir.

Rüzgar hızının PM konsantrasyonlarını önemli oranda etkilediği görülmüştür. Rüzgar hızı PM'lerin karışım yüksekliğine ve kaynaklardan uzaklara taşınmasına önemli etkilere sahiptir. Rüzgar hızı yüksek olduğunda ($> 3\text{m/sn}$) PM_{10} ortalama konsantrasyonu $3,74 \pm 105,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, düşük rüzgar hızlarında ($< 3 \text{ m/sn}$) ise $9,15 \pm 126,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak gözlenmiştir, PM_{10} 'nun yüksek konsantrasyonları rüzgar hızı düşük olduğu günlerde ve yağış olmayan günlerde gözlenmiştir.

Hakim rüzgar yönü ay içerisinde rüzgarın en çok estiği yön hakim rüzgar yönü olarak kabul edilmiştir. Örneklem bölgesindeki hakim rüzgar yönlerine bakıldığında, örneklem periyodu süresince PM_{10} için genellikle Kuzey (N), Kuzeydoğu (NE) ve Güneybatı (SW) rüzgar esme yönleri gözlenmiştir, $PM_{2.5}$ ise Kuzey (N), Kuzeydoğu (NE), Doğu (E) ve Güneybatı (SW) rüzgar esme yönleri gözlenmiştir. N rüzgarları durumunda şehirde yer alan sanayi tesislerden kaynaklanan PM, NE ve E rüzgarları durumunda Küçükçekmece gölü tarafından gelen PM, SW rüzgarları durumunda ise şehrin evsel ve motorlu taşıtlı kaynaklanan PM ölçüm istasyonuna doğru taşınmaktadır.

Bazı meteorolojik parametreler ile PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonları arasındaki korelasyon belirlenmiş, ancak çok anlamlı bir korelasyon gözlenmemiştir Yağış parametresi ile PM_{10} ve $PM_{2.5}$, ikisi de anlamlı fakat düşük düzeyde pozitif yönde korelasyon göstermiştir, yağış şiddeti arttıkça hava kirleticilerinin konsantrasyonların azaldığı görülmüştür. Genel olarak hesaplanmış düşük korelasyon değerleri PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının değişiminde meteorolojik parametrelerin tek etkin bir parametre olmadığını düşündürmektedir, çünkü konsantrasyon değişimini etki eden çok parametre vardır.

PM_{10} iyon derişimlerinin istatistiksel değerleri ve suda çözülebilen iyonların oranı hesaplanmıştır. SO_4^{-2} (%30), NO_3^{-} (%24), Na^{+} (%16), Cl^{-} (%11) ve Ca^{+2} (%11)

iyonlarının PM_{10} fraksiyonda fazla olması gözlenmiştir. NO_2^- , F^- , Br^- , PO_4^{-3} , K^+ , NH_4^+ , Mg^{+2} ise düşük derişimlerde bulunmuştur.

Anyon ve katyon derişimleri için kütle denklikleri oluşturulmuş, PM_{10} için anyon/katyon oranı 1,01 olarak hesaplanmıştır.

Korelasyon analizi sonuçlarına göre PM_{10} , Ca^{+2} ve Mg^{+2} arasında güçlü ilişki olduğu görülmüş ve örnekleme noktasında yerden havalanan cadde tozunun etkili olduğu anlaşılmıştır. Cl^- ve Mg^{+2} arasında ve NO_3^- ve SO_4^{-2} arasındaki anlamlı korelasyonlar yakma kaynaklı emisyonların etkin olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

AFROZ, R., HASSAN, M.N., IBRAHIM, N.M., 2003, Review of air pollution and health impacts in Malaysia, *Environmental Research*, 92, 71–77.

AYVAZ KAHRAMANTEKİN, T., 2006, Atmosferik partiküllerde iyon analizi ve istatistiksel değerlendirme, Yüksek Lisans, Anadolu Üniversitesi.

BULUT, H., 2007, Konutlarda İç Hava Kalitesi İle İlgili Ölçüm Sonuçlarının Analizi, Teskon 2007 VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, İzmir, 415-427.

BARDOUKIA, H., LIAKAKOUA, H., ECONOMOUA C., SCIAREB, J., SMOLIKC, J., ZDIIMALC, V., ELEFThERiADiSD, K., LAZRiDiSE, M. DYEF, C., MIHALOPOULOSA, N., 2003, Chemical composition of size-resolved atmospheric aerosols in the Eastern Mediterranean during summer and winter, *Atmospheric Environment*, 37, 195–208.

BOOTH, M., MARRIOTT, J. M., RIVERS, K.J., 1993, Diesel fuel quality in an environmentally conscious world, *Institution Mechanical Engineers, second seminar, MEP*, 45-56.

CAN, A., ERYENER, D., 1997, Sanayi ve şehir kaynaklı hava kirliliği ve önlemleri, *Ekoloji-Çevre dergisi*, 24, 7.

CAPANNELLI, G., CASTELLO, E., COMITE, A., COSTA, C., MAMOLINI, G., 2011, Electron microscopy characterization of airborne micro- and nanoparticulate matter, *Journal of Electron Microscopy*, 60(2), 117–131.

CHARLSON, R.J., SCHWARTZ, S.E., HALES, J.M., CESS, R.D., COAKLEY, J.A., HANSE, J.E., HOFMANN, D.J., 1992, “Climate forcing by anthropogenic aerosols”, *Sciences*, 255, 423.

ÇALISKAN, V., SARIS, F., 2008, Investigation of Environmental Factors Which Are Effected General Health State of Higher Education Students in Çanakkale, *Firat University Journal of Social Science*, 18, 43-70.

DAVIS, R.E., GAY,D.A., 1993, An assesment of air quality variations in the southwestern USA using an upper air synoptic climatology, *International Journal of Climatology*, 13, 755-781.

DIN, S.A., POOLEY, F.D., 2011, The Effects of Fine (PM_{2.5}) and Ultra-Fine (PM₁₀) Particulates towards Human Health, *2nd International Conference on Air Pollution and Control*, Abstrakt Book, September 19-23, Antalya, Turkey, Yayınevi, 103.

GANOR, E., LEVIN, Z., GRIEKEN, V.R., 1998, Composition Of Individual Aerosol Particles Above The Israelian Mediterranean Coast During the Summer Time, *Atmospheric Environment*, 9, 1631-1642.

GROSSI, C.M., ve BRIMBLECOMBE, P., 2002, The effect of atmospheric pollution on building materials. *Journal de Physique*, 12, 197–210.

GÜLLÜ H.G, ÖLMEZ, Y., TUNCEL G., 2000, Temporal variability of atmospheric trace element concentrations over the eastern Mediterranean Sea., *Spectrochimica*, 55, 1135-1150.

HANG, T., NGUYEN, C.H., KANG, C., MA, J., KUM, C.C, 2009, Evidence of Long-Range Transport of Pollutants from the Size-Fractionated Ionic Composition of Aerosols in the Jeju Island of Korea, *Water Air Soil Pollut*, 196, 225–243.

HUEGLINA, C., GEHRIGA, R., BALTENSPERGER, U., GYSEL, M., MONN, C., VONMONTA, H., 2005, Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland, *Atmospheric Environment*, 39, 637–651.

JIHUA, T, JINGCHUN, D., KEBIN, H., YONGLIANG, M., FENGKUI, D., YUAN, C., JIAMO, F., 2008, Chemical characteristics of PM_{2.5} during a typical haze episode in Guangzhou, *Journal of Environmental Sciences* 21, 774–781.

KARACA, F., ALAGHA, O., ERTÜRK, F., 2005, “Statistical characterization of atmospheric PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at a non-impacted suburban site of İstanbul, Turkey”, *Chemosphere*. 59, 1183-1190.

KARAKAŞ S., TUNCEL G., 1996, Uludağ Milli Parkında Aerosol Kimyası, *Türk Kimya Dergisi*, 20, 1-10.

KLEEMAN, M.J., SCHAUER, J.J., CASS, G.R., 1999, “Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from wood burning, meat charbroiling, and cigarettes”, *Environmental Science and Technology*, 33, 3516.

KLEEFELD, S., HOFFER, A., KRIVACSY, Z., JENNINGS, S.G., 2002, Importance of organic and black carbon in atmospheric aerosols at Mace Head, on the West Coast of Ireland, *Atmospheric Environment*, 36, 4479-4490.

KUHLBUSCH, TAJ., HERTLEIN, AM., SCHUTZ, LW., 1998, Sources, determination, monitoring and transport of carbonaceous aerosols in Mainz, Germany, *Atmospheric Environment*, 32, 1097–110.

LEE, T., KREIDENWEIS, S.M., COLLETT, J.L., 1999, Aerosol Ion Characteristics During the Big Bend Regional Aerosol and Visibility Observational Study, *Air & Waste Management Association*, 54, 585–592.

LEE, H.S., KANG, B.K., 2001, Chemical characteristics of principal PM_{2.5} species in Chongju, South Korea, *Atmospheric Environment*, 35, 739–746.

LIN, J.J., 2002, Characterization of water-soluble ion species in urban ambient particles, *Environment International*, 28, 55–61.

LIPKEA, W.H., JOHNSON, J.H., VUK, C.T., 1979, “The Physical and Chemical Character of Diesel Particulate Emissions Measurement Techniques and Fundamental Considerations”, *Society of Automotive Engineers*, 791–702.

NGUYEN, H.T., KANG, C.H., MA, C.J., CHOI, K.C., KIM, J.S., LEE, J.H., KIM, K.H., 2009, Evidence of Long-Range Transport of Pollutants from the Size-Fractionated Ionic Composition of Aerosols in the Jeju Island of Korea, *Water Air Soil Pollut*, 196, 225–243.

OCSKAY, R., SALMA, I., WANG, W., MAENHAUT, W.W., 2006, Characterization and diurnal variation of size-resolved inorganic water-soluble ions at a rural background site, *Journal of Environmental Monitoring*, 8, 300–306.

ÖZDEMİR, H., BORUCU, G., DEMİR, G., YİĞİT, S., AK, N., 2010, İstanbul'daki Çocuk Oyun Parklarında Partikül Madde (PM_{2.5} ve PM₁₀) Kirliliğinin İncelenmesi, *Ekoloji*, 19, 72–79.

ÖZTÜRK, M., 2008, Şehir İçi Bölgelerde Havadaki Partikül Maddelerin İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları, Ankara.

ÖZLÜ, E., YENİSOY-KARAKAŞ, S., 2011, Investigation of Chemical Composition and Seasonal Variation of Aerosols in Bolu Atmosphere, *2nd International Conference on Air Pollution and Control*, Abstrakt Book, September 19–23, 2011 Antalya, Turkey, 72.

ORALTAY, R.G., ÇELİK, B., YOLLU, B., ISGUVEN, S., 2011, Seasonal Variation of the Size and Concentration of the Urban Particles: Goztepe Field Study, *2nd International Conference on Air Pollution and Control*, Abstrakt Book, September 19–23, Antalya, Turkey, 58.

OGREN, J.A., CHARLSON, R.J., 1992, “Implications for models and measurements of chemical inhomogeneities among cloud droplets”, *Tellus*, 44, 489.

PARKER, A., 1978, *Coal carbonization for production of solid smokeless fuel, gas and by products*, Air pollution and plants and farm animals, Industrial air pollution handbook, ed. A. Parker, Mc Graw-Hill Book company, London, p. 658.

PEKER, I., 1993, Toz Tutma Sistemleri, *Çevre Dergisi*, 8, 45–49.

PERRINO, C., CANEPARI S., CATRAMBONE, M., DALLA TORRE, S., RANTICA, E., SARGOLINI, T., 2009, Influence of natural events on the concentration and composition of atmospheric particulate matter, *Atmospheric Environment*, 43, 4766–4779.

RİMAROVA, K., 2011, Effect of Environmental Pollution and Social Factors on Respiratory Disease among Children in Slovakia, *2nd International Conference on Air Pollution and Control*, Abstrakt Book, September 19-23, Antalya, Turkey, 60

SALVADORA, P., ARTINANO, B., QUEROL, X., ALASTUEY, A., 2008, A combined analysis of backward trajectories and aerosol chemistry to characterise long-range transport episodes of particulate matter: The Madrid air basin, a case study, *Science of the Total Environment*, 390, 495 – 506.

SHAKA, H., SALIBA, N.A. , 2004, Concentration measurements and chemical composition of PM_{10-2.5} and PM_{2.5} at a coastal site in Beirut, Lebanon, *Atmospheric Environment*, 38, 523–531.

SILVA, A. V., ALMEIDA, S. M., SARMENTO, S.M., CRUZ, A. J., VERBURG, T., MIRANDA, A. Í., 2011, Air pollution and Hospital Admission for Cardiorespiratory Diseases in Setubal, Portugal, *2nd International Conference on Air Pollution and Control (CAPAC-II)*, September 19-23 2011 Antalya, Turkey,13.

SCHWARTZ, J., DOCKERY, D.W., NEAS, L.M., 1996, “Is daily mortality associated specifically with fine particles?”, *Journal of Air Waste Management Association*, 46, 927.

SOBANSKA, A., COEUR, G., MAENHAUT, W., ADAMS, F., 2003, SEM-EDX Characterisation of Tropospheric Aerosols in the Negev Desert (Israel), *Journal of Atmospheric Chemistry*, 44, 299–322.

SPALL, B.C., 1978, *Inorganic chemical industries*, Industrial air pollution handbook, - Hill Book company, London, 650.

SRIVASTAVA, A., JAIN, V. K., SRIVASTAVA, A., 2009, SEM-EDX analysis of various sizes aerosols in Delhi India, *Environ Monit Assess*, 150, 405–416.

SWIETLICKI, E., ZHOU, J., BERG, O.H., MARTINSSON, B.G., FRANK, G., CEDERFELT, S.I., DUSEK, U., BERNER, A., BIRMILI, W., WIEDENSOHLER, A., YUSKIEWICZ, B., BOWER, K.N., 1999, “A closure study of sub-micrometer aerosol particle hygroscopic behavior”, *Atmospheric Research*, 50, 205.

SHEN, Z., CAO, J., TONG, Z., LIU, S., REDDY, L.S., HAN, Y., ZHANG, T., ZHOU, J., 2009, Chemical Characteristics of Submicron Particles in Winter in Xi'an, China, *Aerosol and Air Quality Research*, 1, 80-93.

TAŞDEMİR, Y., ERBAŞLAR, T., GÜNEZ, H., 2004, Atmosferik Partikül Maddelerin Kuru Çökeltme Akıllarının Ölçümü: Bergerhoff Metodunun Uygulanması, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 1, 64-72.

- TECER, L.H., 2011, Hava Kirliliği ve Sağlığımız, *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim*, 135, 15-29.
- TRAVERSI, D., SCHILIRO, T., DEGAN, R., PIGNATA, C., ALESSANDRIA, L., GILLI, G., 2011, Involvement of Nitro-Compounds in the Mutagenicity of Urban PM_{2.5} and PM₁₀ in Turin, *Mutation Research*, 726, 54– 59.
- TOKGÖZ, D.D., TUNCEL, G., 2007, Türkiye'nin Kuzeybatısındaki Toplam Partiküller Madde Kompozisyonu İçeriği, *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Yaşam Çevre Teknoloji, 24-27 Ekim 2007, İzmir, 120-125.
- TOKGÖZ, D.D., TUNCEL, G., 2008, Türkiye'nin Kuzeybatısında Ölçülen Aerosollerin İyonik Kompozisyonu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.
- TSAI, Y., CHEN C.L., 2006, Characterization of Asian dust storm and non-Asian dust storm PM_{2.5} aerosol in southern Taiwan, *Atmospheric Environment*, 40, 4734–4750.
- TÜNAY, O., ALP, K., 1996, Hava Kirlenmesi Kontrolü, İstanbul Ticaret Odası, 1996, 36.
- VEGAA, E., MUGICAB, V., REYESA, E., SLANCHEZA, S., CHOWC, J.C., WATSONC J.G., 2001, Chemical composition of fugitive dust emitters in Mexico City, *Atmospheric Environment*, 35, 4033–4039.
- VERCAUTEREN, J., MATHEEUSSEN, C., WAUTERS, E., ROEKENS, E., GRIEKEN, R., KRATA, A., MAKAROVSKA, Y., MAENHAUT, W., CHI, X., GEYPENS, B., 2011, An extensive look at the local differences in chemical composition of PM₁₀ in Flanders, Belgium, *Atmospheric Environment*, 45, 108-116.
- XIE, R.K., SEIP, H.M., LEINUM, J.R., WINJE, T., XIAO, J.S., 2005, Chemical characterization of individual particles (PM₁₀) from ambient air in Guiyang City, China, *Science of the Total Environment*, 343, 261– 272.
- XIE, R.K., SEIP, H.M., LIU, L., ZHANG, D.S., 2009, Characterization of individual airborne particles in Taiyuan City, China, *Air Qual Atmos Health*, 2, 123–131.
- YATKIN, S., BAYRAM A., 2007, İzmir Havasında Partikül Madde Kirliliği: Ölçüm Ve Değerlendirme, *DEÜ FEN ve Mühendislik Dergisi*, 2, 15-27.
- YAMASOE, M.A., ARTAXO, P., MIGUEL, A. H., ALLEN, A. G., 2000, Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements, *Atmospheric Environment*, 34, 1641-1653.
- YAOA, X., CHANB, C.K., FANGA, M., CADLEC, S., CHANC, T., MULAWAC, P., HED, K., YEE, B., 2002, The water-soluble ionic composition of PM_{2.5} in Shanghai and Beijing, China, *Atmospheric Environment*, 36, 4223–4234.

YATIN, M., TUNCEL, S., ARAS, N.K., OLMEZ, I., AYGUN S., TUNCEL, G., 2000, Atmospheric trace elements in Ankara, Turkey: 1.factors affecting chemical composition of fine particle, *Atmospheric Environment*, 34, 1305-1318.

WEB Sayfaları:

URL 1. AKÇAY, O., 2005. Trafik ve Çevre Kirliliği (Traffic and Environmental Pollution). Polis ve Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 3, Sayı 1, <http://www.gapmyo.edu.tr/dergi3/7%20trafik.pdf>. [Ziyaret Tarihi: 2 Mayıs 2011]

URL 2. www.epa.gov [Ziyaret Tarihi: 9 Ekim 2011]

URL 3. www.cevreorman.gov.tr [Ziyaret Tarihi: 18 Ekim 2011]

URL 4. www.istanbuldahava.com [Ziyaret Tarihi: 3 Ocak 2012]

URL 5. www.maps.google.com [Ziyaret Tarihi: 24 Kasım 2011]

ÖZGEÇMİŞ

Rimma SADENOVA1986 yılında Kazakistanda'da Öskemen'de doğdu. 2008 yılında Doğu Kazakistan Devlet Teknik Üniversitesi İş Sağlığı, İş Güvenliği ve Ekoloji Bölümünde Lisans öğrenimine başladı ve 2008 yılında mezun oldu. 2008 – 2009 Ankara Üniversitesi TÖMER'de okudu. 2009 yılında İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Öğrenimine başladı.