

**ATMOSFERİK PARTİKÜLLERDE
İYON ANALİZİ VE
İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME**

Tuğba AYVAZ_KAHRAMANTEKİN
Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Aralık - 2006

**“Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No:050222”**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Tuğba Ayvaz Kahramantekin'in "Atmosferik Partiküllerde İyon Analizi ve İstatiksel Değerlendirme " başlıklı **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalındaki Yüksek Lisans Tezi 01/11/2006 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı – Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı):	Yard. Doç. Dr. EFTADE GAGA
Üye	: Prof. Dr. SERAP KARA
Üye	: Doç. Dr. TUNCAY DÖĞEROĞLU
Üye	: Doç. Dr. SERPİL YENİSOY KARAKAŞ
Üye	: Yard. Doç. Dr. MÜFİDE BANAR

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATMOSFERİK PARTİKÜLLERDE İYON ANALİZİ VE İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME

Tuğba AYVAZ KAHRAMANTEKİN

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Yard. Doç. Dr. Eftade GAGA
2006, 88 sayfa**

Bu çalışmada, 2006 yılının Şubat ve Ağustos aylarında Eskişehir kent merkezinde toplanan partikül madde örneklerinde kütle ve iyon (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) derişimleri belirlenmiştir. Partikül madde örnekleri 24 saatlik zaman aralığında düşük hacimli bir örnekleyici kullanılarak toplanmıştır. İyon derişimleri kaba ve ince olmak üzere iki farklı fraksiyonda iyon kromatografisi kullanılarak belirlenmiştir. Şubat ve Ağustos aylarına ait ortalama ince partikül kütle derişimleri $9,12 \mu g/m^3$ ve $6,35 \mu g/m^3$ iken kaba partikül kütle derişimleri $86,80 \mu g/m^3$ ve $51,20 \mu g/m^3$ olarak tesbit edilmiştir. Mg^{2+} ve Ca^{2+} dışındaki iyonların tümünün derişimleri Şubat ayında her iki fraksiyonda da artmıştır. Eskişehir'deki iyon derişimlerinin meteorolojik parametre derişimlerine olan etkisini araştırmak için rüzgar sektör analizi yapılmıştır. Rüzgar sektör analizi sonucunda Şubat ayında gözlemlenen iyon derişimlerine kentin doğusundaki kaynakların, Ağustos ayındaki derişimlere ise kentin batısındaki kaynakların katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Korelasyon analizi ve rüzgar sektör analizi sonucunda özellikle kaba partiküllerdeki NH_4^+ , SO_4^{2-} ve NO_3^- derişimlerinin şubat ayında kentin batısında yapılan tarımsal aktivitelerle ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Öte yandan Şubat ayı için evsel ısınmanın da önemli bir kirletici kaynağı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : PM 2,5, PM 10, Anyon, Katyon, İyon Kromatografisi

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DETERMINATION OF IONIC COMPONENTS IN ATMOSPHERIC PARTICULATE MATTER AND STATISTICAL EVALUATION OF THE DATA

Tuğba AYVAZ KAHRAMANTEKİN

Anadolu University
Graduate School of Sciences
Environmental Engineering Program

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Eftade GAGA
2006, 88 pages

In this study, mass and ionic (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) concentrations were determined in particulate samples which were collected in Eskişehir city center in February and August. Twenty four hours particulate matter samples were collected using low volume air sampler. Ionic concentrations were determined both in fine and coarse fractions using Ion Chromatography. The mean mass concentrations of fine particulate matter was found as $9.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $6.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for February and August correspondingly. However, corresponding mean concentrations was $86.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $51.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for coarse particulate matter. Concentrations of all the ions except for Mg^{2+} ve Ca^{2+} were found to increase in both fractions in February. Wind sector analysis was performed to investigate the affect of winds on particulate matter ion concentrations. It was found that, in February, sources in the east part of the city makes contribution to ionic concentrations while in August pollutants were carried from west sector by prevailing winds. Based on wind sector and correlation analysis, it was found that especially for the coarse particles, concentrations of NH_4^+ , SO_4^{2-} and NO_3^- in February were related with the agricultural activities taking place in west part of the city. Besides that heating activities were found to be another source of pollution in February.

Keywords: PM 2,5, PM 10, Anions, Cations, Ion Chromotography

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yöneten, çalışma süresince her türlü bilgi ve yardımlarını esirgmeden çalışmama büyük katkı sağlayan, manevi yönden hep yanımda hissettiğim, sıkıntılarımı paylaştığım, danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Eftade GAGA' ya,

Gerek manevi açıdan, gerekse değerli önerilerinden dolayı hep yanımda olduğunu hissettiğim hocalarım Sn. Prof.Dr. Serap KARA'ya ve Sn. Doç. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU'na,

Çalışmada kullanılan iyon kromatografi cihazının kullanmasını öğreten; çalışma boyunca her türlü desteklerini esirgemeyen, sıkıntılarımı paylaştığım dostum güzel insan Araş. Gör. Özlem ÖZDEN'e

Çalışmamda kullandığım filtreleri hazır hale getiren ve altı ay boyunca yaz kış demeden haftanın her günü örnekleme alanına götürülen ve her türlü isteğimi anında gerçekleştiren sıkıntılarımı çeken, hep yanımda olan Akif ARI 'ya

Değerli katkılarından dolayı Çevre Mühendisliği Bölümü'ne

Çalışmamız için finansal destek sağlayan TÜBİTAK ve Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesine,

Bugüne kadar çalışmamda bir fiil yanımda olan maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen CANİM EŞİM'e,

Tüm yaşantım boyunca hep yanımda hissettiğim manevi desteklerini esirgemeyen anneme ve arkadaşlarıma,

Çalışmamı sürdürmem için bana gerekli imkanları sağlayan patronum Sn.Mustafa SAKALLI ve iş yeri çalışma arkadaşlarıma,

Her şey için içtenliğimle teşekkür ediyorum.

Hazırlamış olduğum çalışmanın konu ile ilgilenen herkese faydalı olması dileğiyle.....

Tuğba AYVAZ KAHRAMANTEKİN

Aralık – 2006

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
2. ATMOSFERİK HAVA KİRLETİCİLERE GENEL BAKIŞ	3
2.1.Kükürt Dioksit (SO ₂)	3
2.2. Azot Oksitler (NO _x)	3
2.3. Karbon Monoksit (CO)	3
2.4. Kurşun (Pb)	4
2.5. Ozon (O ₃).....	5
2.6.Partikül Madde (PM).....	6
2.7.Diğer Dış Ortam Hava Kirleticileri	7
3.DIŞ ORTAM HAVA KALİTESİ ÖLÇME TEKNİKLERİ	8
3.1.Aktif Örnekleme Metodu	7
3.2.Pasif Örnekleme Metodu	7
3.3.Otomatik Örnekleme Metodu	7
4. ATMOSFERİK PARTİKÜLER MADDE	10
4.1.Partikül Madde Tanımı	11
4.2.Partikül Maddelerin Boyutları ve Oluşumu	12
4.3.Büyükliklerine ve Partikül Modlarına Göre Partikül Maddelerin Sınıflandırılması.....	14
4.4.Partikül Maddelerin Kaynakları.....	15
4.5.Atmosferik Partikül Maddelerin Kimyasal Yapısı	19
4.6.Partikül Maddelerin Çökmesi	20

4.7. Partikül Maddelerin Filtre Üzerinde Toplanarak Ölçümü İçin Kullanılan Hava Kalitesi Örnekleme Metodları	21
4.8. Partikül Maddelerin Hava Kalitesi İndeksi	22
4.9. Atmosferik Partiküllerin Etkileri	24
4.9.1.Partikül maddelerin atmosferik olaylara etkisi	24
4.9.2.Partikül maddelerin insan sağlığına etkileri	25
4.9.3.Partikül maddelerin bitkiler üzerine etkileri	27
4.9.4.Partikül maddelerin eşyalar üzerine etkileri	38
4.10.Partikül Madde Sınır Değerleri	29
5.KONUyla İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	30
6.MATERYAL VE METOT	36
6.1. Örnekleme	36
6.1.1.Örnekleme bölgesi hakkında genel bilgiler	36
6.1.2.Örnekleme alanı hakkında genel bilgiler	37
6.2. Örneklemede Kullanılan Örnekleyci	39
6.3. Örnekleme Metodolojisi	43
6.4. Örneklerin Analizi	44
6.4.1. Kütleli konsantrasyonların belirlenmesi	44
6.4.2. İyon kompozisyonunun belirlenmesi	45
6.4.3. Dedeksiyon Limiti.....	48
7 . BULGULAR	50
7.1. PM 2,5 ve PM 10 Kütle Derişimleri	50
7.2. İyon Veri Setinin Değerlendirilmesi.....	62
7.2.1. Örneklerdeki iyon derişimleri ve korelasyon analizi.....	62
7.2.2. Anyon katyon kütle denklği.....	65
7.3. İyon Derişimlerinin Zamansal Değişimi.....	67
7.4. İyonik Derişimlerin Meteorolojik Parametrelerle İlişkilendirilmesi.....	73
8. SONUÇ	82
KAYNAKLAR	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

4.1. Partikül Maddelerin Atmosferdeki Oluşum Evrimi ve Büyüklük Dağılımı.	13
6.1. Eskişehir Haritasında Örnekleme Alanının Yeri	37
6.2. Örnekleme Noktası Arkadan Görünüşü	38
6.3. Örnekleme Noktası Önden Görünüşü	39
6.4. Dichotomous PM 10/ 2,5 Örnekleme Noktası	39
6.5. Tipik Bir Dichotomous Örnekleme Noktası	40
6.6. Örnekleme Noktası Seçici Giriş Yapısı	41
6.7. Örnekleme Noktası Çalışma Prensipleri	42
6.8. Örnekleme Noktası Kontrol Paneli	43
6.9. 10 ppm'lik Standard Kromatogramı	47
6.10.5 ppm'lik Standard Kromatogramı.....	50
7.1. PM 2,5 için Frekans Eğrisi	51
7.2. PM 10 için Frekans Eğrisi	51
7.3. Ca ²⁺ için Frekans Eğrisi	52
7.4. K ⁺ için Frekans Eğrisi	52
7.5. Mg ²⁺ için Frekans Eğrisi	53
7.6. NH ₄ ⁺ için Frekans Eğrisi	53
7.7. Cl için Frekans Eğrisi	54
7.8. NO ₃ ⁻ için Frekans Eğrisi.....	54
7.9. SO ₄ ²⁻ için Frekans Eğrisi	55
7.10.Na ⁺ için Frekans Eğrisi	55
7.11.PM 2,5 Zamansal Değişimi.....	56
7.12.PM 2,5-10 Zamansal Değişimi.....	57
7.13.Kaba Partikül ve Bazı Meteorolojik Parametreler(Şubat 2006)	61
7.14.İnce Partikül ve Bazı Meteorolojik Parametreler(Şubat 2006)	61
7.15.Kaba Partikül ve Bazı Meteorolojik Parametreler(Ağustos 2006)	61
7.16.İnce Partikül ve Bazı Meteorolojik Parametreler(Ağustos 2006)	62
7.17.Kaba Fraksiyondaki Kütle Paylaşımı.....	67
7.18.İnce Fraksiyondaki Kütle Paylaşımı.. ..	67
7.19.PM 2,5'da Ölçülen Anyon Derişimleri.....	68
7.20.PM 2,5'da Ölçülen Katyon Derişimleri.....	69
7.21.PM 2,5-10'da Ölçülen Anyon Derişimleri.....	70

7.22. PM _{2,5-10} 'da Ölçülen Katyon Derişimleri.....	71
7.23. İnce Fraksiyondaki Yaz ve Kış İyon Derişimleri Oranı	72
7.24. Kaba Fraksiyondaki Yaz ve Kış İyon Derişimleri Oranı	72
7.25. Örnekleme Günlerine Ait Rüzgar Gülleri	74
7.26. Farklı Rüzgar Yönlerinden Yüzde Katkı (İnce Partikül, Ağustos ayı).....	80
7.27. Farklı Rüzgar Yönlerinden Yüzde Katkı (İnce Partikül, Şubat Ayı).....	80
7.28. Farklı Rüzgar Yönlerinden Yüzde Katkı (Kaba Partikül, Ağustos Ayı)....	81
7.29. Farklı Rüzgar Yönlerinden Yüzde Katkı (Kaba Partikül, Şubat Ayı).....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

4.1. Doğal Kaynaklardan ve Antropojenik Kaynaklardan Yılda Atmosfere Karışan Partikül Madde Miktarları	17
4.2. Atmosferde Gözlenen Partikül Maddelerin Elementel Özellikleri	18
4.3. Bir Çöp Yakma Tesisinde Ortaya Çıkan Emisyonlardaki Kimyasal Elementler.....	19
4.4. Partikül Madde ile ilgili HKİ için Kirletici- Spesifik Uyarı Açıklamaları ve Kirletici-Spesifik Sağlık Etkileri Açıklaması	23
4.5. Havadaki Askıdaki Partiküllerin Etkileri	29
4.6. Dünyanın Çeşitli Ülkelerinde Kullanılan PM 10 ve PM 2.5 Standartları.....	31
6.1. Anyon Analizlerinde Kullanılan İyon Kromotografi Cihazının Teknik Özellikleri	45
6.2. Katyon Analizlerinde Kullanılan İyon Kromotografi Cihazının Teknik Özellikleri.....	46
6.3. Anyonlara Ait CRM 408 ve CRM 409 Analizi Verileri.....	47
6.4. Katyonlara Ait CRM 408 ve CRM 409 Analizi Verileri.....	48
6.5. İyonik Bileşenler İçin Dedeksiyon Limitleri	49
7.1. Örnekleme Periyodunda Ölçülen İnce ve Kaba Partikül Kütle Derişimleri.....	58
7.2. Şubat Ayına Ait Meteorolojik Parametreler ve Partikül Madde Derişimleri	59
7.3. Ağustos Ayına Ait Meteorolojik Parametreler ve Partikül Madde Derişimleri.....	60
7.4. Şubat ve Ağustos Aylarına Ait İnce ve Kaba Partiküllerdeki İyon Derişimleri.....	63
7.5. Kaba Partikül Korelasyon Matrisi(Şubat Ve Ağustos Ayları).....	64
7.6. Kaba Partikül Korelasyon Matrisi(Şubat).....	64
7.7. İnce Partikül Korelasyon Matrisi(Şubat ve Ağustos Ayları).....	65
7.8. İnce ve Kaba Partiküllerde Kütle Denkliği.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAS	Atomik Absorbsiyon Spektrometresi
DL	Dedeksiyon Limit
EC	Elemental Karbon
HKİ	Hava Kalitesi İndeksi
IC	İyon Kromotografi
ICP-AES	İndüktif Kuplajlı Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi
ICP-MS	İndüktif Kuplajlı Plazma Kütle Spektrometresi
KVS	Kısa Vadeli Sınır Değerler
NAA	Nötron Aktivasyon Analizi
OC	Organik Karbon
PAHs	Çok Halkalı Aromatik Bileşikler
PARTISOL	Ardışık Örnekleme
PCBs	Çok Klorlanmış Bifeniller
PIXE	Partikül İndüktif X-ışını Emisyonu
PM 1	Aerodinamik çapı 1 mikrometrenin altında olan partikül maddeler
PM 10	Aerodinamik çapı 10 mikrometre olan partikül maddeler
PM 2.5	Aerodinamik çapı 2.5 mikrometrenin altında olan partikül maddeler
PM	Partikül Madde
PUF	Poliüretan Köpük Örnekleyicisi
TEOM	Sürekli Monitörleme
TSP	Toplam Askıda Katı Madde
USEPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
UVS	Uzun Vadeli Sınır Değerler
VOC	Uçucu Organik Karbonlar
XRF	X – ışını Floresans Tekniği
NSSS	Denizden Gelmeyen Sülfat

1.GİRİŞ

Soluduğumuz hava, insan kaynaklı ve doğal aktivite sonucu oluşan pek çok bileşeni içermektedir. Özellikle kentsel ve endüstriyel bölgelerde havaya salınan gaz ve partikül fazındaki kirleticiler başta insan olmak üzere tüm canlıları olumsuz yönde etkilemektedir. Kirletici bileşenler, kaynaklarından ortama atıldıktan sonra meteorolojik olayların etkisiyle çok uzak bölgelere de taşınabilmektedir.

Epidemiyolojik çalışmalardan elde edilen sonuçlar, partikül maddenin insan vücuduna solunum yolu ile alınmasının pek çok sağlık sorunu ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu nedenle son yıllarda partikül boyutu 2,5 mikrometreden küçük olan parçacıklar için halk sağlığını korumaya yönelik standart değer oluşturulmaya çalışılmıştır. Boyutu 2,5 mikrometreden küçük olan partiküller solunum yolu ile akciğerlere kadar nüfuz edebilmektedirler. Bu yüzden de özellikle küçük boyutlu partiküllerin sadece kütleli derişiminin bilinmesi bile bir kentte yaşayan insanların sağlığının korunması açısından kritiktir.

Çeşitli insansal ve doğal aktivite sonucunda oluşan ve yapısında pek çok kirletici bileşeni bulunduran partikül maddenin kompozisyonunun belirlenmesi kirletici kaynaklarının tespit edilmesi ve kontrol önlemlerinin alınması açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada 2006 yılının Şubat ve Ağustos aylarında Eskişehir kent merkezinde Dichotomous örnekleyici ile toplanan boyutu 2,5 µm'den küçük olan ve boyutu 2,5 ve 10 µm arasında olan partikül maddelerin kütleli derişimleri belirlenmiştir. Teflon filtre üzerinde toplanan örnekler ikiye bölünerek yarısı iyon analizleri için diğer yarısı ise metal analizleri için kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında suda çözünür iyonların derişimleri belirlenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Eskişehir'de ilk kez gerçekleştirilen bu kapsamdaki bir çalışmada;

- PM 2,5 ve PM 2,5-PM 10 fraksiyonundaki partikül madde derişimlerinin ayrı ayrı belirlenmesi,
- Eskişehir kent merkezinde toplanan partikül madde örneklerinin suda çözünür iyon derişimlerinin ölçülmesi,

- İyon kirleticilerinin kaynaklarının tespit edilmesi,
- Kirletici derişimlerinin meteorolojik parametrelerle ilişkisinin incelenmesi ve söz konusu kirleticilerin hava kalitesine yaptıkları katkılar açısından irdelenmesi hedeflenmiştir.

2.ATMOSFERİK HAVA KİRLETİCİLERİNE GENEL BAKIŞ

Hava kirleticileri pek çok aktivite sonucu çevreye atılırlar. Örneğin volkanik patlamalar sonucu yoğun miktarda kül, yanmamış hidrokarbon, karbon monoksit, karbon dioksit açığa çıkmaktadır. Kent ortamlarındaki en önemli kirletici kaynağı ise motorlu taşıt emisyonları ve evsel ısınmadır. Her gün caddelerimizde dolaşan motorlu taşıtlardan, başta CO (karbon monoksit) ve NO_x (azot oksitler) olmak üzere pek çok kirletici madde soluduğumuz havaya karışmaktadır. Görüldüğü gibi kirleticiler, volkan patlamaları, şimşekler gibi doğal aktiviteler sonucu oluşabildiği gibi trafik, endüstri gibi insan yapısı kaynaklar tarafından da atmosfere salınabilmektedir. Bu mantıkla kirletici kaynaklarını *doğal kaynaklar* ve *antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklar* olarak ikiye ayırmak mümkündür. En önemli doğal kaynaklar arasında volkan patlamaları, orman ve çalı yangınları, yıldırımlar, okyanuslar, toz fırtınaları, ağaçlar, bitkiler sayılabilir. Endüstriyel aktiviteler, motorlu taşıtlar, evsel ısınma ise antropojenik kaynaklara örnek olarak gösterilebilir (Finlayson-Pitts ve Pitts 2000).

Doğal ve antropojenik kaynaklardan atmosfere atılan kirleticiler oldukça çeşitlilik göstermektedir. İnsan sağlığına ve refahına olan olumsuz etkilerinden dolayı bazı kirleticiler yönetmelikler çerçevesinde kriter kirleticiler sınıfına alınarak derişimleri sürekli izlenmektedir. Bu kirleticiler kükürt dioksit, azot oksitler, karbon monoksit, kurşun, ozon ve partikül maddedir (Finlayson-Pitts ve Pitts 2000). Kuşkusuz havadaki kirleticiler bu bileşenlerle sınırlı değildir. Fakat pratik anlamda adı anılan bileşenlerin derişimlerindeki değişiklikler, diğer pek çok kirleticinin derişimlerinin değişimi hakkında da fikir verebilir.

2.1.Kükürt Dioksit (SO₂)

Kükürt dioksit (SO₂) ve kükürt trioksit (SO₃) atmosferde bolca bulunan kükürt oksitleridir. Kükürt dioksit, kirletici, boğucu, renksiz ve asidik bir gazdır. Atmosferik SO₂'nin yarısı doğal emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Kükürt dioksit, atmosfere atıldıktan sonra kısmen kükürt trioksit ve sülfürik asite

dönüşmektedir. Kükürt oksitler, partikül madde ve nem eşliğinde atmosferik hava kirliliğine önemli derecede katkıda bulunmaktadır.

İnsansal aktiviteler sonucu oluşan SO₂, kömür ve fuel-oil'in doğal olarak yapısında bulunan kükürt bileşiklerinin yanması ile açığa çıkmaktadır. Dünya çapındaki temel kaynakları, endüstriyel prosesler, ısınma amaçlı kullanılan evsel yakıtlar, termik santraller ve az miktarı ise dizel yakıtlı taşıtlardır (Wark ve ark. 1998; Müezzinoğlu 2000; Godish T. 2004).

2.2. Azot Oksitler (NO_x)

Dış ortam havasında azotun yedi farklı oksidi bulunmaktadır. Fakat azot oksitler (NO_x) denildiğinde azot monoksit ve azot dioksit anlaşılmaktadır. Azot oksitler doğal kaynaklardan ve insan aktiviteleri sonucunda atmosfere atılırlar. NO₂ yüksek oranda toksik özellikte olup, solunum yollarında tahriş edici bir etkiye sahiptir. Ayrıca, fotokimyasal duman, asit yağmurları, ikincil formdaki partiküllerin oluşumunda önemli rolü bulunmaktadır. Kentsel alanlardaki NO₂'nin kaynakları arasında elektrik üretimi, fabrikaların ısıtılması, endüstriyel prosesler, yüksek sıcaklıkta fosil yakıtların yanması sayılabilir. Genel olarak azot oksitler toprakta doğal bir şekilde bakteriler tarafından oluşturulurlar ve bitkilerin büyümesinde önemli rol oynarlar.

Azot oksitler yanmamış hidrokarbonlar ile birlikte güneş ışığı varlığında fotokimyasal sis oluşumuna neden olurlar (Müezzinoğlu 2000; Wark ve ark. 1998; Godish T.2004; Finlayson-Pitts ve Pitts 2000).

2.3. Karbon Monoksit (CO)

Karbon monoksit, fosil yakıt veya organik maddelerin eksik yanması sonucu oluşur. Kuzey yarımkürede karbon monoksit emisyonlarının % 25 - 30'u yanma, endüstriyel prosesler ve metan dışı hidrokarbonların fotolitik oksidasyonu sonucunda oluşmaktadır.

Kentsel ortamlarda karbon monoksitin mekansal dağılımı trafiğe bağlıdır. Konsantrasyonlar yola yakın bölgelerde en yüksek düzeyde olup yoldan

uzaklaştıkça hızla azalır (Yeşilyurt ve Akcan 2001; Müezzinoğlu 2000; Godish T., 2004).

Karbon monoksitin kandaki oksijen taşıyan hemoglobinin üzerinde kuvvetli etkisi vardır. Baş ağrısına, kalp rahatsızlıklarına, merkezi sinir sistemi rahatsızlıklarına ve uzun süre yüksek CO derişimlerine maruz kalınması ise ölüme sebep olur.

2.4. Kurşun (Pb)

Kurşunsuz benzinin kullanılmaya başlamasından önce atmosferik kurşunun en önemli kaynağı motorlu taşıtlardı. Fakat kurşunsuz benzinin yaygın olarak kullanılmasından sonra özellikle son 20 yıldır atmosferik kurşun derişimlerinde ciddi düşüşler gözlenmiştir. Dolayısıyla özellikle gelişmiş ülkelerde motorlu taşıtlar kurşun için en önemli kaynak olmaktan çıkmıştır. Son yıllarda kurşun için en önemli kaynak artık metal prosesleridir (Finlayson-Pitts ve Pitts 2000).

Kurşun insan vücudunda (kemiklerde, dişlerde, saçta) birikim gösteren toksik bir metaldir. Merkezi sinir sistemini etkileyerek pek çok nörolojik bozukluklara neden olmaktadır (Khandekar ve ark. 1987).

2.5. Ozon (O₃)

Güneş ışığının varlığında, azot oksitleri ile uçucu organik bileşikler arasındaki atmosferik reaksiyonlar sonucu troposferde oluşan ikincil bir kirleticidir ve ozonun atmosferik derişim seviyesi günün saatleri boyunca değişir.

Ozonun mekansal dağılımı, diğer kentsel hava kirleticilerden farklıdır. Azot oksitler ve karbon monoksit gibi birincil kirletici konsantrasyonlarının çok yüksek olduğu yerlerdeki kentsel ozon konsantrasyonlarının düşük olması beklenir.

Ozon akciğer dokusuna zarar verir, ciğerlerin fonksiyonlarını azaltır ve ciğerleri diğer kirleticilere karşı hassaslaştırır. Bilimsel bulgular ozonun sadece astım hastaları gibi hassas kimselere değil sağlıklı bireylere de zarar verdiğini

göstermiştir. Bu etkiler göğüs ağrısı, öksürük ve hapşırma gibi problemleri de beraberinde getirir.

Yer seviyesinde yüksek miktarda ozon, ağaçlar ve ekinler de dahil olmak üzere bitkilere zarar verir. Boyalar, elastomerler ve kauçuk malzemeler üzerine etkileri vardır. Asit yağmurlarının oluşumuna neden olur ve atmosferde sera gazı olarak hareket eder (Yeşilyurt ve Akcan 2001; Müezzinoğlu 2000).

2.6.Partikül Madde (PM)

İlerleyen bölümlerde daha detaylı irdelenecek olan partikül madde, hava kalitesi izleme istasyonlarının vazgeçilmez bileşenidir. İnsan sağlığına olan olumsuz etkilerinden dolayı Avrupa ve Amerika'da aerodinamik çapı 10 mikrondan (kaba partiküller) ve 2,5 mikrondan küçük partiküllerin (ince partiküller) kütlece derişimleri belirlenmekte ve kimyasal kompozisyon analizleri rutin olarak yapılmaktadır. Partikül madde doğal ve antropojenik kaynaklardan atılan ve yerçekimi kuvvetinin etkisiyle çökemeyen, 0,002–100 mikron çap aralığındaki katı ve sıvı parçacıklardır (Finlayson-Pitts ve Pitts 2000).

Pek çok epidemiyolojik çalışma ince partiküllerin fotokimyasal duman oluşumunda, küresel iklim değişikliğinde, asit yağışlarında ve ozon incelmesinde, metan olmayan uçucu organik bileşikler, azot oksitler ve hidroksil radikaller ile olan heterojen fotokimyasal reaksiyonlar yoluyla etkili olduklarını göstermiştir (Xiu ve ark. 2004; Hering ve ark. 1997; Harrison ve Yin 2000).

Doğal ve antropojenik olmak üzere kaynağına göre iki sınıfta incelenebilen partikül maddeyi birincil (primer) ve ikincil (sekonder) partiküller olarak sınıflandırmak da mümkündür. Birincil partiküller; kaynaklarından atmosfere doğrudan salınan kirleticilerdir. İkincil partiküller ise atmosferde kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan partiküllerdir (Finlayson-Pitts ve Pitts 2000).

Partikül maddenin kentsel ortamlardaki en büyük kaynağı taşıt emisyonları ve yanma aktiviteleridir. Doğal kaynakları arasında havada asılı kalabilen yol tozları ve kıyı kentleri için deniz spreyidir.

2.7.Diğer Dış Ortam Hava Kirleticileri

Daha önce de bahsedildiği gibi atmosferde bulunan kirleticiler oldukça çeşitlilik göstermektedir. Örneğin, ağır metaller gibi inorganik kirleticiler dışında organik kirleticiler de pek çok kaynaktan atmosfere salınmaktadır. Özellikle son yıllarda organik kirleticiler konusunda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Organik kirleticileri uçucu ve yarı uçucu organik kirleticiler olarak sınıflandırmak mümkündür. Uçucu organik bileşenler (VOC) grubuna giren 150'den fazla kirletici bulunmaktadır. Yarı uçucu organik bileşikler kapsamına giren bileşikler arasında Çok Klorlanmış Bifeniller (PCBs), Çok Halkalı Aromatik Hidrokarbonlar (PAHs), Dioksin, Furanlar ve Pestisitler sayılabilir (Seinfeld ve Pandis 1998).

3.DIŞ ORTAM HAVA KALİTESİ ÖLÇME TEKNİKLERİ

Havadaki kirletici bileşenlerin derişimlerinin belirlenebilmesi için öncelikle dış ortamdan belirli hacimde örneğin toplanması gerekmektedir. Genellikle ölçüm metodolojilerine bakıldığında örnekleycileri kendi arasında 3 ana grupta değerlendirmek mümkündür. Bu metodolojiler

- Aktif Örnekleyciler,
- Pasif Örnekleyciler ve
- Otomatik Örnekleyciler olarak gruplandırılabilir.

Aktif örnekleme pasif örneklemeden ayıran en önemli özellik, aktif örneklemede dış ortam havasının bir pompa yardımıyla belirli bir debide örnekleyciye çekilmesidir. Aktif örnekleycilerde genellikle dış ortam havası bir filtre, çözelti ya da adsorban bir yüzey üzerine yönlendirilmektedir. Hem gaz hem de partikül faz kirleticilerin örneklenmesi durumunda hem filtre hem de adsorban yüzeyin kullanıldığı da olur. Örneğin havadaki partikül ve gaz fazında yarı uçucu organik bileşiklerin belirlenmesi için kullanılan yüksek hacimli örnekleycilerde dış ortamdan pompa aracılığıyla belirli bir debide çekilen hava ilk önce cam fiber filtreden geçerek partiküllerin filtre üzerinde tutulmaları sağlanmakta daha sonra dış ortam havası poliüretan köpük kartuştan geçirilerek gaz fazı bileşenlerin tutulması sağlanmaktadır. Aktif örnekleycileri kendi arasında yüksek hacimli, orta hacimli ve düşük hacimli örnekleyciler olarak sınıflandırmak da mümkündür.

Pasif örnekleycilerde ise dış ortam havasındaki bileşenlerin örnekleme ortamına alınmaları difüzyon ile olmaktadır. Genellikle dış ortam havasında derişimi belirlenmek istenen bileşenler için aktif bir yüzey oluşturulmakta ve belirli bir örnekleme periyodundan sonra aktif yüzey üzerinde toplanan bileşenler ekstraktif teknikler kullanılarak belirlenmektedir.

Pasif örnekleycilerde bir dış bileşen (pompa) yardımıyla hava çekilmediğinden kantitatif sonuçlar elde edebilmek için örnekleme zamanının bileşene ve dış ortam derişimlerine bağlı olarak birkaç günden birkaç haftaya kadar uzadığı durumlar görülebilir. Öte yandan maliyet ve insan gücü açısından karşılaştırıldığında aktif örnekleycilere göre avantajlıdırlar.

Otomatik analizörler her ne kadar üçüncü bir grup olarak değerlendirilse de aslında aktif örnekleyiciler grubunda ele alınabilir. Özellikle hava izleme istasyonlarında kullanılan NO_x, CO, SO_x analizörleri bu tür örnekleyicilere örnek gösterilebilir. Bu grup analizörlerin diğerlerinden ayrı olarak değerlendirilmesinin nedeni dış ortam kirlenici derişimlerinin otomatik olarak istenen zaman aralıklarında (dakikalık, saatli) cihaz tarafından belirleniyor oluşudur. Genellikle spektrometrik tekniklere dayalı olarak derişimin belirlendiği bu tip analizörler bileşen spesifik olarak tasarlanmışlardır. Hava kalitesi izleme istasyonlarında tercih edilmelerinin en önemli nedeni otomatik olduklarından dolayı insansız çalışabilmeleridir. Belirli zaman aralıklarında kalibrasyonları yapıp kontrol edildiği sürece sorunsuz çalışmaktadırlar (Wight 1996; Boubel ve ark. 1994).

4. ATMOSFERİK PARTİKÜLER MADDE

Partikül madde çok çeşitli kaynaktan açığa çıkan ve çok sayıda kimyasal maddeyi içeren kompleks bir yapı arz etmektedir. Partikül maddenin kompozisyonu, morfolojisi, fiziksel ve termodinamik özellikleri zamansal ve bölgesel farklılıklar göstermektedir (Finlayson-Pitts ve Pitts 1986; Seinfeld ve Pandis 1998). Atmosferik partiküllerin en önemli özelliği, onlarca mikrometreden nanometre boyutuna kadar değişebilen büyüklüğüdür (Covert ve ark.1992). Partiküllerin büyüklüğü, kirleticilerin kaynaklarının belirlenmesi, sağlık etkilerinin, iklim üzerindeki etkilerinin, atmosferdeki kalış sürelerinin ve atmosferden süpürülme mekanizmalarının anlaşılması yönünden çok önemlidir. Örneğin, yanma kaynaklı partiküllerin boyutları 0.003–1 mikrometre arasında değişirken, polen ve toprak kaynaklı partiküllerin boyutları genellikle 2 mikrometrenin üstündedir (Seinfeld ve Pandis 1998). Sağlık etkileri açısından düşünüldüğünde ise 2,5 mikrometre ve daha küçük çaptaki partikül maddeler solunum yoluyla direkt olarak insan vücuduna alındığından insan sağlığı açısından oldukça önem arz etmektedirler.

Atmosferik partiküller küresel radyasyon dengesini, gelen ışığı dağıtarak ya da absorplayarak etkilemektedirler. Radyasyonun küçük çaptaki partiküller tarafından absorplanması ısınmaya neden olurken, dağıtılması soğumaya neden olmaktadır. Dolaylı olarak ise bulut mikro yapısını etkileyerek benzer şekilde küresel radyasyon dengesini etkilemektedir. Her iki şekilde de partikül kimyasal yapısı önem kazanmaktadır (Kleefeld ve ark. 2002; Kuhlbusch ve ark. 1998). Bu nedenle aerosol kimyasal yapısının belirlenmesi oldukça önemlidir. Atmosferik aerosollerin karbon fraksiyonu, elemental karbon (siyah karbon) ve organik karbondan oluşmaktadır. Aerosolde grafit yapısında olan elemental karbon, büyük oranda tamamlanmamış yanma sonucunda açığa çıkmaktadır. Bu açıdan antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklar önem taşımaktadır (Li ve ark. 2002; Kleefeld ve ark. 2002; Andrea ve ark. 1997).

Partikül maddenin toksik etkilerinin anlaşılması ile birlikte hava kalitesi standartları da değişmeye başlamıştır. Örneğin 70'li yıllarda TSP (toplam askıda katı madde) için bir standarttan bahsedilirken, 1987 yılında USEPA (Amerika

Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı) 10 mikrometre ve daha küçük partiküller (PM 10) için standart değer belirlemiştir (Berico ve ark., 1997). 2000'li yılların başında ise 2,5 mikrometre ve daha küçük partiküllerin toksik etkilerinin 10 mikrometre boyutundaki partiküllerin etkilerine kıyasla daha fazla olduğunun anlaşılması nedeniyle bu defa PM 2,5 için standart hava kalitesi değerleri oluşmaya başlamıştır.

Son 20 yıldır 10 mikrometreden küçük partiküllerin kompozisyonları ve kaynakları ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır (Al-Momani ve ark. 2005; Thomaidis ve ark.2003; McMurry 2000; Chan ve ark.2005; Karthikeyan ve Balasubramanian 2006; Xiu ve ark. 2004). Son 10 yıldır ise partikül boyutunun öneminin anlaşılmasıyla çalışmalar 10 mikrometreden daha küçük boyuttaki partiküller üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat partikül kompozisyonunun incelenmesinde daha çok metaller ve iyonlar araştırılmıştır (Louie ve ark. 2004; Thomaidis ve ark. 2003; Al-Momani ve ark. 2005; Yatın ve ark. 2000; Hopke ve ark. 1976). Son birkaç yıldır ise partikül madde yapısında inorganik yapı dışında organik yapının da önemli bir oranda yer aldığı anlaşılmış ve organik bileşikler de listeye eklenmiştir. Yarı uçucu özelliklerinden ve kanserojenik etkilerinden dolayı Çok Halkalı Aromatik Bileşikler (PAHs), Çok Klorlanmış Bifeniller (PCBs), pestisitler ve dioksinler en çok araştırılan organik kirleticiler olmuştur (Cotham ve ark. 1996; Tsakapis ve ark.2005; Odabasi ve ark. 1999) .

4.1.Partikül Madde Tanımı

Ortalama gaz molekül büyüklüğü 0,0002–0,0003 μm çaptan büyük, 100 μm çaptan küçük havada bir süre askıda (süspanse halde) kalabilen katı veya sıvı fazda birbirlerinden ayrı bulunan taneciklere partikül madde (PM) denilmektedir (Finlayson-Pitts ve Pitts 2000).

Partikül maddelerin çok ince olup da havada kolloidal süspansiyon oluşturanlarına aerosol (50 μm 'den daha küçük çaplı partiküller) denir. Doğal sis ve yapay sis (smog) olaylarında asıl etken bu aerosollerdir. Hava ortamında askıda duran partikül halindeki maddeler, iriliklerine ve yoğunluklarına bağlı olarak

ancak belirli bir süre için bu hali sürdürebilirler. Bu sürenin sonunda yere çökerek atmosferden uzaklaşırlar (Bayraktar 2006).

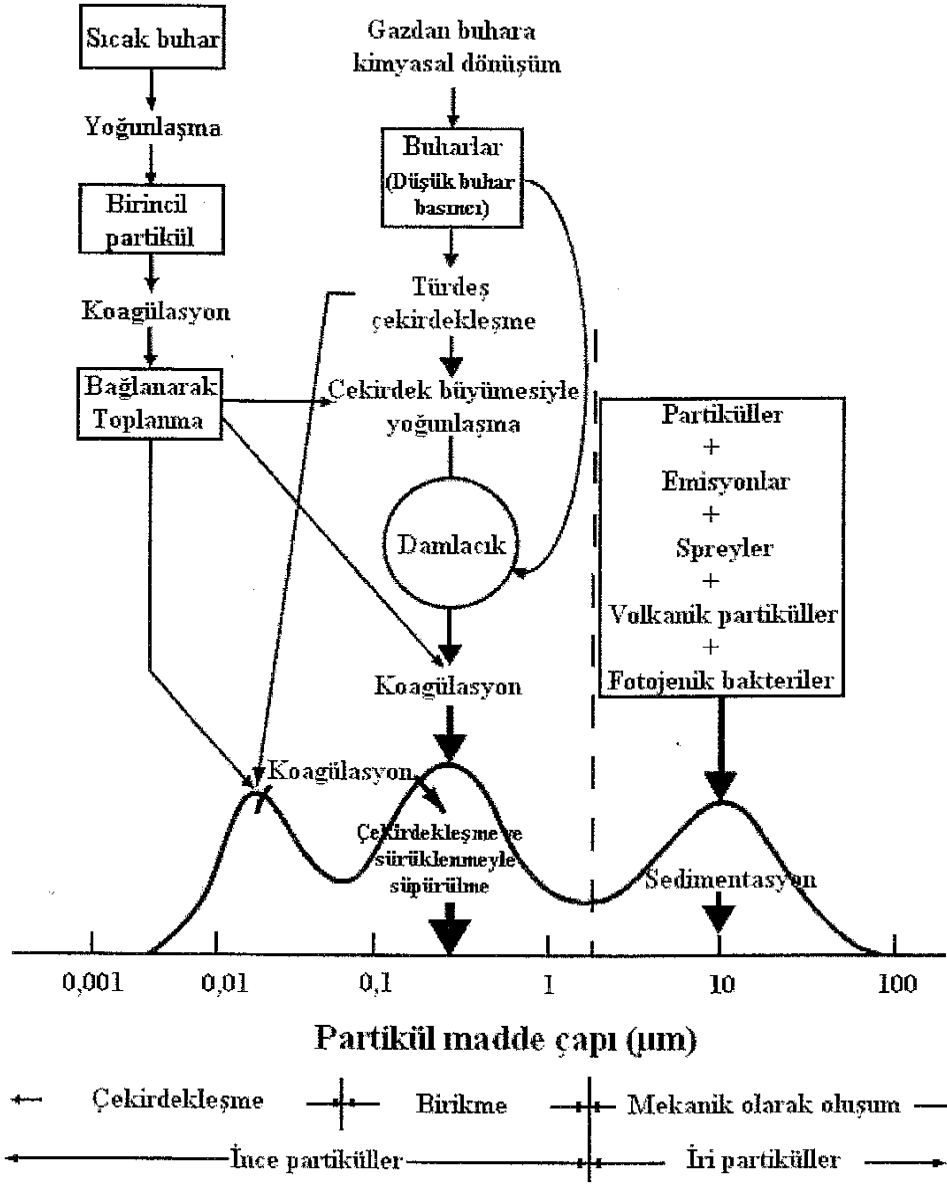
4.2.Partikül Maddelerin Boyutları ve Oluşumu

Atmosferik partikül maddelerin en önemli özelliği, onlarca mikrometre (μm)’den nanometre boyutuna kadar değişebilen büyüklükleridir. Hava kirlenmesinde önemli yer tutan partikül madde boyutları 0,01–100 μm arasında değişmektedir (Seinfeld ve Pandis, 1998).

Partikül madde konsantrasyonu genellikle “ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ”, büyüklüğü “ μm ”, iyonik aerosollerin konsantrasyonu ise “ppb” olarak ifade edilmektedir (Tünay ve Alp 1996; Müezzinoğlu 2000).

Partikül maddelerin bir kısmı atmosfere direkt olarak doğal veya antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklardan salınırken, bir kısmı da kimyasal reaksiyonlar ve belirli gaz ve buharların yoğunlaşmasıyla oluşurlar. Şekil 4.1’de partikül maddelerin atmosferdeki oluşum evrimi ve büyüklük dağılımı gösterilmektedir.

Görüldüğü üzere atmosferdeki ince partiküller (0,005–0,1 μm) volkanik aktiviteler, odun veya fosil yakıt yanması ve diğer yüksek ısı prosesleri oluşturduğu sıcak buharların yoğunlaşmasıyla atmosfere girerler; atmosferde birkaç saat içinde moleküllerin yaptığı serbest brownian hareketlerine benzer hareketler yaparak veya gaz ortamındaki kinetik enerji etkisiyle birbirleriyle çarpışıp yapışma yoluyla büyürler. İnce partiküllerin (0,1–1 μm) bir kısmı atmosferdeki taneciklerin bağlanması; bir kısmı da kimyasal dönüşümle (gaz ve buharların kimyasal olarak partiküle dönüşümü) meydana gelir. Yeteri kadar büyüyen bu partiküller, bulutlardaki damlacıklar tarafından veya yere düşen yağmur damlaları tarafından yakalanarak atmosferden ayrılırlar. 2–100 μm arasındaki iri partiküller genelde doğal kaynaklıdır. Bazen endüstriyel kaynaklarından da atmosfere ulaşabilmektedir. Bu partiküller çoğunlukla yerçekimi kuvvetiyle atmosferden ayrılırlar. Bu partiküllerin çökmesinde bazen bulut ve yağmur aktiviteleri de etkili olmaktadır (Baumbach 1996).



Şekil 4.1.Partikül Maddelerin Atmosferdeki Oluşum Evrimi ve Büyüklük Dağılımı (Baumbach 1996)

4.3.Büyükliklerine ve Partikül Modlarına Göre Partikül Maddelerin Sınıflandırılması

Partikül maddenin toksik etkilerinin anlaşılması ile birlikte hava kalitesi standartları da değişime uğramış, günümüzde 2,5 µm'dan daha küçük çaptaki partiküller için hava kalitesi standartları oluşturulmuştur.

Partikül maddeler ağırlıklı olarak beş büyüklük altında değerlendirilmektedir. Bunlar TSP, PM 10, PM 10-2,5, PM 2,5, PM1'dir.

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

PM 10: 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.

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

Modlarına göre partikül maddeler;

Kaba partiküller: Ögütme, rüzgar, erozyon gibi mekanik işlemler sonucu üretilirler. Öte yandan biyolojik partiküllerin pek çoğu da (sporlar, polenler) kaba partikül aralığındadır. Mekanik işlemlerin hepsi kaba partikül üretmezler. Örneğin Kuzeydoğu Atlantik'deki 0,05 mikrondan büyük olan partiküllerin ana bileşeni deniz tuzudur (Finlayson-Pitts ve Pitts 2000).

Genellikle 1 ve 3 µm'den daha büyük çaplı partiküller olup PM kütesinin en büyük kısmını oluşturmaktadır. Bu partiküller genellikle metal oksitleri (Si, Al, Mg, Ti, Fe), kalsiyum karbonatı (CaCO₃) ve tuzları (NaCl) içermektedir. Kaba partiküller çok hızlı bir şekilde atmosferden uzaklaşabildiği için atmosferde en fazla birkaç saat kalabilmektedir. Diğer yandan kaynaklarından en fazla onlarca kilometre uzağa taşınabilmektedir (Finlayson-Pitts ve Pitts 2000; Bayraktar 2006).

Öte yandan kaba partiküller büyüklüklerinden dolayı yerçekimi ile çökelmekle birlikte Sahra toz taşınımı gibi episodik durumlarda, büyük ölçekli transport mekanizmaları ile uzak mesafelere taşınabilmektedirler (Finlayson-Pitts ve Pitts, 2000; Seinfeld ve Pandis 1998).

İnce partiküller: Genellikle 1 ve 3 μm 'den daha küçük çaplı partiküller olup diğer alt grup modlar olan birikme modu, çekirdekleşme ve ultra ince partikülleri de içermektedir. İnce (fine) partiküller, ultra ince partiküllerin koagülasyonu ile veya gaz fazdan partiküle dönüşüm prosesleri ile oluşabilmektedir. Endüstrileşmiş bölgelerde ince partiküller, iz metal, organik karbon, elemental karbon, NH_4NO_3 ve SO_4^{2-} 'den meydana gelme eğilimindedirler. İnce partiküllerin kuru çökellemeyle atmosferden uzaklaştırılması son derece yavaş olduğundan atmosferik ortamda uzun süre kalabilmektedir. Ancak bu ince partiküller çok kolayca koagüle olabildiğinden kaynaklarından binlerce km uzaklarda da gözlenebilmektedir.

Birikme modu partiküller, yaklaşık 0,1 μm 'den büyük çaplı ince partiküllerin oluşturduğu bir alt grup olup ultra ince partiküllerin koagülasyon ve yoğunlaşmayla büyümesi ile oluşurlar. Birikme modundaki partiküller en büyük yüzey alanına sahiptirler. Kaynaklarından dolayı birikme modu partiküller kaba partiküllerden daha fazla organik madde ve NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} gibi çözünen inorganikler içerirler.

Çekirdekleşme partiküller, çapları 0,01 μm 'den küçük 0,08 μm 'den büyük partiküllerdir. Ortam sıcaklığında, gaz partikül dönüşümü sonucunda oluşabildikleri gibi yanma prosesleri sonucunda da oluşabilmektedir. Bu partiküller düşük buhar basınçlı gaz partiküllerin yoğunlaşması için çekirdek teşkil ederler. Bu aralıktaki partiküller toplam partiküllerin sayıca büyük bir kısmını oluştururken boyutları nedeniyle kütlece az bir paya sahiptirler.

Ultra ince partiküller, yaklaşık 0,1 μm 'den küçük çaplı ince partiküllerin oluşturduğu bir alt grup olup çekirdekleşme modu partiküllerini de içermektedir (Bayraktar 2006; Finlayson-Pitts ve Pitts 2000).

4.4.Partikül Maddelerin Kaynakları

Atmosferdeki partikül maddelerin bir kısmı doğal kaynaklardan, bir kısmı ise antropojenik (insan kaynaklı) kaynaklardan ortama atılmaktadırlar.

Partikül maddeler için doğal kaynaklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Rüzgarlarla savrulan toprak partikülleri ve çöl kumları
- Dalgalar vasıtasıyla deniz tuzu partiküllerinin atmosfere girişi

- Volkanik aktiviteler
- Yangınlar
- Protozoa, bakteriler, virüsler, mantarlar, sporlar, algler ve polenler
- Bitki örtüsü tarafından atmosfere salınan uçucu organik bileşikler
- Ekosistemler tarafından yayımlanan gazlar

Partikül maddeler için antropojenik kaynaklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Kömür, kül ve çimento gibi maddelerin imal edilmesi, taşınması veya kullanılması
- Kömür ve petrol türevlerinin yanması sonucu oluşan metal buharları ve uçucu küller
- Tarımsal aktivitelerle atmosfere karışan partiküller
- Hafriyat (Kazı) çalışmalarıyla oluşan tozlar
- İnşaat çalışmaları
- Un değirmenleri
- Metal endüstrisi ve enerji tesisleri
- Mekanik atölyeleri (hızır tozları gibi)
- Kum yıkama ve püskürtme tesislerinden işletme esnasında oluşan partiküller
- Çöp yakma işlemleri
- Egzoz emisyonları
- Maden arama çalışmaları

Çizelge 4.1'de küresel ölçekte doğal kaynaklardan ve antropojenik kaynaklardan yılda atmosfere karışan partikül madde miktarı, Çizelge 4.2'de ise atmosferde gözlenen partikül maddelerin elemental özellikleri verilmektedir (Morawska ve Zhang 2002).

Çizelge 4.1.Doğal Kaynaklardan ve Antropojenik Kaynaklardan Yılda Atmosfere Karışan Partikül Madde Miktarları (Bayraktar 2006)

Kaynak	Emisyon Hızları (Milyon ton / yıl)			Partikül Büyüklüğü
	Düşük	Yüksek	Ortalama	
DOĞAL				
Birincil Kaynaklardan				
Toprak Kökenli Tozlar	1000	3000	1500	İri Mod
Deniz Tuzları	1000	10000	1300	İri Mod
Volkanik Tozlar	4	10000	30	İri Mod
Biyolojik Süreçlerden	26	80	50	İri Mod
İkincil Kaynaklardan				
Biyolojik gazlardan Sülfatlar	80	150	130	İnce Mod
Volkanik SO ₂ 'den Sülfatlar	5	60	20	İnce Mod
Biyolojik VOC'lerden organikler	40	200	60	İnce Mod
NO _x 'den nitratlar	15	50	30	İnce İri Mod
Toplam Doğal Kaynaklardan	2200	23500	3100	
ANTROPOJENİK				
Birincil Kaynaklardan				
Endüstriyel tozlar vb.(İs hariç)	40	130	100	İnce İriMod
İs	5	20	10	İnce Mod
İkincil Kaynaklardan				
SO ₂ 'den sülfatlar	170	250	190	İnce Mod
Biyokütle yanması	60	150	90	İnce Mod
NO _x den Nitrat oluşumu	25	65	50	İri Mod
Antropejenik VOC'lerden organikler	5	25	10	İnce Mod
Toplam Antropojenik Kaynaklardan	300	650	450	
TOPLAM	2500	24000	3600	

Doğal birincil kaynaklardan atmosfere karışan partikül maddelerin % 46'sını volkanik tozlar ve deniz tuzları oluştururken, doğal ikincil kaynaklardan atmosfere karışan partikül maddelerin %79'unu biyolojik kökenli sülfatlar ve uçucu organik bileşikler (VOC) oluşturmaktadır.

Antropojenik birincil kaynaklardan atmosfere karışan partikül maddeler, endüstriyel kaynaklı tozlardan ve isten oluşmaktadır. Antropojenik ikincil kaynaklardan atmosfere karışan partikül maddeler ise sülfatlardan ve biyokütle yanması sonucu oluşan partiküllerden meydana gelmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.2 Atmosferde Gözlenen Partikül Maddelerin Elemental Özellikleri (Morawska ve Zhang 2002)

Emisyon Kaynağı	Salınan Partiküler Elementler
Kara yolu taşımacılığı	
Egsozdan çıkan emisyonlar	Br, Pb, Ba, Mn, Cl, Zn, V, Ni, Se, Sb, As
Motor Aşınmaları	Fe, Al
Lastik Aşınmalar	Zn
Yol kenarı tozları	EC, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Zn
Endüstriyel tesisler	
Sıvı yakıt yakan enerji santralleri	V, Ni
Kömür yakılması	Se, As, Cl, CO, Cu, Al, S, P, Ca
Rafineriler	V
Demir dışındaki metallerin ergitilmesi	As, In, Cu, Zn
Demir ve Çelik Fabrikaları	Pb
Bakır izabe tesisleri	Cu
Mn metali Mn içerikli kimyasalların üretimi	Mn
Küçük Ölçekli Yakma Sistemleri	
Atıkların yakıldığı insineratörler	Zn, Sb, Cu, Cd, Hg, K, Pb
Odun dumanı	Ca, Na, K, Fe, Br, Cl, Cu, Zn
Mineral ve Hammadde Prosesleri	Mg, Al, K, Mn, Fe, Se
Deniz Spreyi	Na, Cl, S, K
Havada Asılı Toprak Partikülleri	Si, V, Cr, Ca, Ti, Sr, Al, Mn, Se

Toksik ağır metaller (Pb, Zn, Se, Sb, Br, V, As vb.), genellikle kara yolu taşımacılığı ve çeşitli endüstriyel tesislerden atmosfere salınırken, diğer metal bileşenleri (Ca, Mg, S, Al, Si, Cl vb.) genellikle doğal kaynaklı olarak atmosferde gözlenmektedir (Çizelge 4.2).

4.5. Atmosferik Partikül Maddelerin Kimyasal Yapısı

Partikül şeklindeki maddelerin kimyasal yapı ve özellikleri çok değişkendir. Bu tür maddeler organik veya inorganik yapıda olabilir. Hava kirlenmesinde önem taşıyan inorganik bileşenler sülfat, nitrat, kurşun, demir, mangan, çinko ve vanadyum; organik bileşenler ise çeşitli hidrokarbonlar ile fenoller, organik asitler ve alkollerdir. Atmosferde bulunan veya belirli bir kaynaktan atmosfere verilen partikül halindeki kirleticiler metal ve metal olmayan değişik elemanların birleşmesi sonucu ortaya çıkar ve kimyasal olarak karmaşık bir yapıya sahiptir. Şehir çöplerinin yakıldığı bir tesisten atmosfere verilen tipik partikül halindeki emisyonların içinde bulunan kimyasal maddeler Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde, değişik çap ve büyüklükte pek çok kimyasal bileşik ve zerreciklerin bir yerleşim bölgesi atmosferinde bulunabileceği anlaşılmaktadır (Karpuzcu 1994).

Çizelge.4.3. Bir Çöp Yakma Tesisinde Ortaya Çıkan Emisyonlardaki Kimyasal Elementler (Karpuzcu 1994)

ELEMENT	Ağırlıkça %
Kalsiyum	10
Silisyum	5
Sodyum	1-10
Nikel	1-10
Alüminyum	1-10
Çinko	1-10
Magnezyum	1-10
Titanyum	0.5-5
Demir	0.5-5
Baryum	0.1-1

Atmosferik partiküllerin kimyasal kompozisyonunun belirlenmesinde çok sayıda teknik kullanılmaktadır. Kullanılan teknikler aşağıda özetlenmektedir:

1. X – ışını Floresans Tekniği (XRF)
2. Nötron Aktivasyon Analizi (NAA)
3. Partikül İndüktif X-ışını Emisyonu (PIXE)

4. Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS)
5. İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES)
6. İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS)
7. İyon Kromatografisi (IC)

İlk üç teknik (XRF, NAA, PIXE) çok elementli numunenin özütlenmesini (ekstraksiyon) gerektirmeyen, nükleer ve/veya atomik esaslı tekniklerdir. AAS, ICP-AES ve ICP-MS yöntemleri numunenin özütlenmesini (ekstraksiyon) gerektirmektedir. ICP-AES ve ICP-MS’de aynı anda birçok elementin belirlenmesi mümkün olmasına rağmen, AAS’de genellikle tek element tayinleri mümkündür. İyon kromatografisi yöntemi ise anyonların ve katyonların ppb’den daha düşük konsantrasyonlarının tayini için kullanılır. Bu yöntem ağır metal analizi için düşünülmez (Yeşilyurt ve Akcan 2001).

4.6.Partikül Maddelerin Çökmesi

Partiküllerin atmosferden, gerek doğal yollarla gerekse arıtma işlemleriyle uzaklaştırılmalarında çökme karakteristikleri önemlidir. Partikül maddelerin havada asılı kalma süreleri büyüklükleri ile ters orantılıdır. 0,1 µm’den küçük olan partiküller maddeler moleküllerin Brownian hareketleriyle uzun süre askıda kalabilir. Çökme hızı partiküler madde cinsine, yoğunluğuna ve boyutuna bağlıdır. Genelde 20 µm’e kadar boyuta sahip partiküler maddeler askı halinde; 20 µm’ den büyük partikül maddeler çökebilir maddeler olarak sınıflandırılır. 0,1 – 100 µm arası partiküllerin atmosferde sakin havada çökme hızlarının hesabında Stokes kanunu kullanılabilir (Tünay ve Alp 1996).

Buna göre ;

$$V_t = \frac{g (\rho_p - \rho_a) d_p^2}{18 \mu} \quad (4.1)$$

V_t = çökme hızı m/sn

g = yerçekimi ivmesi m/sn²

ρ_p =partikül yoğunluğu

ρ_a = havanın yoğunluğu kg/m³ (1.2 kg/m³ deniz seviyesinde)

d_p = partikül çapı, m

μ = havanın viskozitesi

4.7.Partikül Maddelerin Filtre Üzerinde Toplanarak Ölçümü İçin Kullanılan Hava Kalitesi Örnekleme Metodları

Havada asılı halde kalabilen partikül madde ölçümü için kullanılan en yaygın hava kalitesi örnekleme metotları arasında

- Yüksek Hacimli Örnekleme Metodu,
- PM 10 Örnekleme Metodu,
- Dichotomous Örnekleme Metodu ve
- PUF Örnekleme Metodu bulunmaktadır.

Bu metotların hepsinde filtrasyon ile örnekleme yapılır ve gaz akış hızı kontrolü ve geçen hava hacminin ölçülmesi gerekir.

- **Yüksek Hacimli Örnekleme Metodu:** Yüksek hacimli örnekleme cihazları ilk kez 1948 yılında geliştirilmiş olup, günümüze kadar formu değiştirilmeden kullanılmaktadır. Yüksek hacimli örnekleme cihazları 24 saatlik periyotla hacmi tam olarak bilinen havanın fiber veya membran filtreden geçirilerek ölçülmesi esasına dayanır. Çapları 0,3 ile 100 μ m arasında olan partiküller örneklemeden önce ve sonra tartılan filtrede toplanır ve örnekleme periyodundaki toplam konsantrasyon hesaplanır. Günümüzde yüksek hacimli örnekleme cihazları laboratuvarlarda metal, organik madde, sülfat ve nitrat bileşiklerinin analizleri için partikül madde örnek temininde kullanılır (Wight 1996).

- **PM 10 Örnekleme Metodu:** Amerika'da; havadaki toplam partikül madde miktarı çoğunlukla PM 10 adı verilen örnekleme cihazları ile yapılır. PM 10; 10 μ m ve daha küçük çaptaki partikül maddeleri gösterir. PM 10 örnekleme cihazları fonksiyon olarak yüksek hacimli örnekleme cihazları ile aynıdır. Akış oranı ve hacim için aynı hassasiyeti gerektirir fakat büyük hacimdeki partiküllerin girişi

örnekleyicinin dizaynından dolayı engellenmiştir. PM 10 örnekleyicide elektrik sensörlü akış kontrolü, diferansiyel basınç kontrolü ve kritik orifisler mevcuttur (Wight 1996).

- **Dichotomous Örnekleyici Metodu:** Partiküllerin çarpışması ve iki farklı boyuta ayrılması ile örnekleme gerçekleştirilir. İki boyuta ayrılan partiküller genel olarak 10 ve 2,5 µm arasında olanlar ve 2,5 µm den küçük olanlardır. Bu örnekleme metodunda diğer PM 10 örnekleyicilerine kıyasla gaz örnekleme hızları daha düşüktür ve kullanılan membran filtreleri n boyutları daha küçüktür (Wight 1996).

- **PUF Örnekleyici Metodu:** Uçucu organik bileşiklerin buhar basıncının yüksek olması nedeniyle havada buhar ve aerosol formunda yer alırlar Buna ilaveten bazı gazlar da havadaki diğer partiküller tarafından absorbe edilirler. Geleneksel filtrasyon metodunda filtrede toplanan yüksek buhar basıncına maruz uçucu bileşikler filtreden fazla miktarda hava geçmesi ile buharlaşırlar. Bu sorunun önüne geçmek ve yarı uçucu organik bileşikleri örnekleme için poliüretan köpük örnekleyicisi (PUF) kullanılır. PUF; yüksek hacimli örnekleyicisinin modifikasyonu ile oluşturulmuştur ve kuvars fiber filtreden sonra 6 cm köpük tıkaçı yer almaktadır (Wight 1996).

4.8.Partikül Maddelerin Hava Kalitesi İndeksi

Hava kalitesi indeksi (HKİ), hava kalitesinin ölçüldüğü yerlerde; havanın kalite olarak iyi, orta, sağlıksız, kötü veya zararlı olduğu hakkında bilgi verir. Hava kalitesi indeksi, farklı hava kalitesi ile birlikte genel halk sağlığı üzerine etkisini, hava kirliliği seviyesini, hava kirliliği sağlıksız seviyeye ulaştığında alınması gereken kademeleri de belirler. Hava kalitesi indeksi; sağlığımızı hava kirliliğinden nasıl koruyacağımız konusunda bizlere yardımcı olur.

Hava kalitesi indeksi, günlük hava kalitesini raporlamak için basit bir yoldur, soluduğumuz havanın temiz veya kirli olduğunu belirler.

Hava kalitesi indeksi kullanılarak elde edilen verilerin sağlık üzerine etkileri ile ilgili bilgiler, her bir kirlenici için ayrı ayrı verilmiştir. Ayrıca, aşağıda

verilen Çizelge 4.4'deki bilgilerden faydalanarak hava kirliliğinden sağlığımızı nasıl korumak gerekliliği hakkında bilgi edinilebilir (Öztürk 2005).

Çizelge.4.4. Partikül Madde ile ilgili HKİ için Kirletici- Spesifik Uyarı Açıklamaları ve Kirletici-Spesifik Sağlık Etkileri Açıklaması (Öztürk 2005)

İndeks* Değeri	Halk Sağlığı ile İlgili Seviye	HKİ için Kirletici- Spesifik Uyarı Açıklamaları	HKİ için Kirletici- Spesifik Sağlık Etkileri Açıklaması
0 ila 50	İyi	Hiçbiri	Hiçbiri
51 ila 100	Orta	Genel olmamak üzere hassas kişiler, uzun süreli açık veya yoğun açık havada güç harcamayı azaltmalıdırlar.	Hiçbiri
101 ila 150	Hassas Gruplar için Sağlıksız	Akciğer veya kalp hastası kişiler ile yaşlılar ve çocuklar, uzun süreli veya yoğun açık havada güç harcamayı azaltmalıdırlar.	Solunuma ilişkin semptomlarda artma ihtimali ve akciğer hastalarında, astımlı gibi, kötüleşme.
151 ila 200	Sağlığa zararlı	Akciğer veya kalp hastası kişiler ile yaşlılar ve çocuklar, uzun süreli veya yoğun açık havada güç harcamayı azaltmalılar. Başkaca herkes, uzun süreli veya yoğun açık havada güç harcamayı azaltmalıdır.	Solunum sistemi semptomlarında artma ihtimali ve akciğer hastalığı olanlarda, astımlı gibi, kötüleşme; genel halk üzerinde muhtemelen solunumla ilgili etkiler.
201 ila 300	Sağlığa zararlı çok	Akciğer veya kalp hastası kişiler ile yaşlılar ve çocuklar, açık havada tüm fiziksel aktivitelerden kaçınmalıdırlar. Başkaca herkes, uzun süreli veya yoğun açık havada güç harcamaktan kaçınmalıdır	Solunuma ilişkin semptomlarda önemli artışlar ve akciğer hastalığı olan kişilerde, astımlı gibi, kötüleşme; genel halk üzerinde solunumla ilgili etkilerde artma ihtimali.
301 ila 500	Tehlikeli	Akciğer veya kalp hastası kişiler ile yaşlılar ve çocuklar, evde kalmalı ve aktivite seviyelerini azaltmalıdırlar. Başkaca herkes, açık havada tüm fiziksel aktivitelerden kaçınmalıdır.	Solunuma ilişkin semptomlarda ciddi riskler ve akciğer hastalığı olanlarda, astımlı gibi, kötüleşme; genel halk üzerinde muhtemelen solunumla ilgili etkiler.

* Partikül madde (PM 10) için HKİ 24 saatlik partikül madde kons. ortalaması esas alınarak belirlenmiştir.

4.9. Atmosferik Partiküllerin Etkileri

4.9.1. Partikül maddelerin atmosferik olaylara etkisi

Hava kirliliğinin en açık göstergesi görüş mesafesindeki azalmadır. Görüş mesafesinin azalması ise 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 indirek olarak bulutları da etkilemektedir. Öte yandan partikül madde yapısındaki elemental karbon, görünür bölgedeki ışığı absorblayarak, mineral tozlar da infraruj bölgesinde ışığı absorblayarak alt atmosferin ısınmasına da neden olmaktadır (Finlayson-Pitts ve Pitts 2000; Kleefeld ve ark. 2002; Kuhlbusch ve ark. 1998).

Atmosferik partiküller, yeryüzüne gelen toplam güneş radyasyonunu azalttığı gibi görüş mesafesini de düşürmektedirler. Işığın partiküler maddeler tarafından yansıtılması ve kırınımı görüş uzaklığını etkiler. Bu etkilerin önemli bir bölümü görünür ışık boyutunda 0,38 – 0,76 µm aralığındaki partiküllerce oluşur. Etki partikülün şekline de bağlıdır. Bu etkinin matematik formülasyonu olayın karmaşık yapısı nedeniyle zorluklar gösterir. Görüş uzaklığı;

$$V = 5.2 \rho r / KM \quad (4.2.)$$

formülü ile hesaplanabilir.

V = Görüş uzaklığı, km

ρ = Partikül yoğunluğu, kg/m³

r =Partikül çapı, µm

K =Şekil katsayısı, boyutsuz

M=Partikül konsantrasyonu, µg/ m³

Işığın kırınımı solar radyasyonunda azaltılmasına yol açar. Partiküler maddelerin önemli bir rolü de kar ve yağmurun oluşumu için çekirdek görevi yapmalarıdır. Bu fonksiyonu göre partiküller < 0,1 µm boyutundadır (Tünay ve Alp1996).

4.9.2.Partikül maddelerin insan sağlığına etkileri

Havanın tozlu olması, yani doğal veya yapay partikül maddelerle dolu olması; insan sağlığına olumsuz etki yapar. Tozları oluşturan maddenin kimyasal bakımdan aktif olabildiği, böylece insan sağlığını etkileyebildiği bilinmektedir. Ayrıca partiküller, yüzeyleri üzerine adsorpladıkları diğer kirleticileri, havadaki normal derişimlerinden daha yüksek olarak hassas canlı dokulara ulaştırmakta ve bu maddelerin zararlı etkilerini arttırmaktadır. Bu nedenle de ince partiküller insan sağlığına daha fazla zararlı etki yapar.

Partiküllerin sağlık etkileri ile ilgili bir çalışma yapmak gerektiğinde; maddenin türü, taneciklerin irilikleri ve havada bulunan diğer gaz, su buharı gibi maddelerin varlığına özen gösterilmelidir. Havadaki toz konsantrasyonları ve maruz kalma süresi sağlık etkileri bakımından önemli faktördür (Müezzinoğlu 2000).

evre havasında hava kirleticilerinin miktarının artması, hava kalitesini azaltmaktadır. Hava kalitesi sınır değerleri, insan sağlığının korunması amacıyla çevrede kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için atmosferdeki hava kirleticilerin bir arada bulduklarında, değişen zararlı etkileri de göz önüne alınarak tespit edilmiş derişimlerle ifade edilen seviyelerdir. Genellikle hava kalitesi sınır değerleri; hava kirleticilerin düşük miktarlarının uzun sürede solunmasıyla ortaya çıkan kronik etkiler için verilen üst sınır değerleri gösteren uzun vadeli sınır değerler (UVS) ve kısa sürede hava kirleticilerin yüksek derişimlerinin solunmasıyla ortaya çıkan kısa süreli akut etkiler için verilen sınır değerleri gösteren kısa vadeli sınır değerler (KVS) olmak üzere iki başlık altında değerlendirilmektedir.

Partiküler maddelerin insan sağlığına çoğu solunum sistemi yoluyla olmak üzere çeşitli zararlı etkileri vardır. Partiküllerin solunum organlarındaki birikme yerleri ve buradaki kalma süreleri bir takım fiziksel faktörler ve bilhassa zerreciklerin büyüklüğüne bağlıdır. Kirleticilerin, akciğerin alveoller bölgesindeki birikmesi özellikle önemlidir. Çünkü bu bölgede partikülleri uzaklaştırmaya yarayan ve titrek tüyler adı verilen tüycükler mevcut değildir. Bunun için zerrecikler bu bölgede izafi olarak uzun süre kalabilir. 0,1 µm'den daha küçük

çaplı olan zerrecikler Brownian hareketi sayesinde akciğerlerin hava torbalarına kadar gitmekte ve buradaki alveoli denilen çukurlara yerleşmektedir. İri zerrecikler ancak teneffüs yollarındaki tüycükler tarafından yakalanmadıkları takdirde akciğerlerin bu bölgelerine kadar gelebilir. Genel olarak 1 µm'den büyük zerrecikler bu bölgeye ulaşmadan tutulur.

Zerreciklerin akciğerdeki birikme miktarını etkileyen diğer faktörler nefes alma sıklığı ve nefes alıp verme esnasında akciğerlerin hacminde meydana gelen değişimi büyüklüğüdür. Düşük nefes alma sıklığı neticesinde birikme yüzdesi hayli yüksek olmaktadır. Bunun sebebi düşük nefes alma sıklığında partiküllerin kalma süresinin artmış olmasıdır. Nefes alma sırasında ciğer hacmindeki değişikliğin büyük olması, çok miktardaki havanın içeri çekilmesini gerektirdiğinden havayla birlikte içeri giren zerreciklerin miktarı da çok olmakta ve birikme yüzdesi artmaktadır.

Partiküler maddelerin etkisi esas olarak solunum sistemini tıkamaları, solunum sisteminin kendi kendini temizlemesine engel olmaları şeklinde veya zehirli ve kanserojen yapıları nedeniyle. Bazı partiküler maddeler zehirli maddeleri taşıırken bazıının kendisi zehirli maddeyi oluşturur (Müezzinoğlu 2000; Karpuzcu 1994; Tünay ve Alp 1996).

Örneğin; kurşun kırmızı kan hücrelerinin gelişmesi ve olgunlaşmasına tesir ederek kan üretimini engeller, sinir sistemini ve idrar yollarını tahrip eder. Çocuklarda kanda 0,8 – 1,0 µg/l kurşun enzim faaliyetlerini engeller. Kurşun etkisi akut veya kronik olabilir. Şehirde yaşayan insanların kan ve idrarlarındaki kurşun miktarları, kırsal kesimde yaşayanlarınkine kıyasla daha yüksektir. Ayrıca, sigara tiryakilerindeki kurşun miktarının sigara içmeyenlere nazaran yüksek olduğu görülmüştür.

Berilyum'un 0,1 µg/ m³ konsantrasyonunda zehirli olduğu görülmüştür. Berilyum, gazların akciğerden kana karışmasını kolaylaştırır. Belirtileri, hastanın kilo kaybetmesi, nefes darlığı, öksürük ve bazen de kemik dokularında değişiklik yapmasıdır. Berilyum'a kanda ve idrarda rastlanabilir. Partikül madde, göz sulanması, bronşit, ciğer hastalıkları, görme bozukluğuna neden olur. Partiküler maddelerin bazıları, özellikle biyolojik partiküller alerjiye neden olurlar.

Çeşitli maruz kalma sürelerinde havadaki partikül derişimlerinin muhtemel etkileri Çizelge 4.5’de özetlenmektedir (Müezzinoğlu 2000).

Çizelge.4.5.Havadaki Askıdaki Partiküllerin Etkileri (Müezzinoğlu 2000)

Derişim ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Etki	Kriter
60-180 (Yıllık Ortalama)	Çelik ve diğer metalik malzemede paslanma	Yıllık ortalamadaki değerlerdir.
150 (Yıllık Ortalama)	Görüş mesafesi 9 km’nin altına düşer	Bağıl nem %70 ‘den aşağı olduğu hallerde
100-150 (Yıllık Ortalama)	Doğrudan güneş ışınları 1/3 azalır.	
100-130 (Yıllık Ortalama)	Çocuklarda solunum yolları rahatsızlarının başlaması	SO ₂ ’nin 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ten büyük olduğu durumlarda
300 (Günlük ortalama)	Kronik bronşitli hastalarda krizlerin ciddileşmesi	SO ₂ ’nin 630 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ten fazla olduğu durumlarda
750 (Günlük ortalama)	Ölüm olaylarında artış ve hastalanmalar	SO ₂ ’nin 715 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ten fazla olduğu durumlarda

4.9.3.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. Fotosentetik aktivitelerini azaltarak gelişimlerini engeller. Partiküler maddelerin bitkilere etkisi konusunda bilgiler yeterli değildir. Tozlar, yaprak gözeneklerini tıkar, ayrıca, ışığı engelleyerek fotosenteze engel olur. Çimento endüstrisinden kaynaklanan tozların nemle birleşerek bitki dokularının gelişimini engellediği saptanmıştır (Tünay ve Alp 1996; Karpuzcu 1994). Sun ve ark. (2003), Pekin havasındaki asılı partiküllerin ülkedeki tarım bitkileri üretiminin % 5–30 oranında azalmasına neden olduğunu tespit etmiştir.

4.9.4. Partikül maddelerin eşyalar üzerine etkileri

Büyüklik ve kimyasal içeriğine bağlı olarak partikül maddeler eşyalar üzerinde de ciddi tahribata sebebiyet vermektedir. Metal yüzeyler kuru havada partiküllere karşı dayanıklı olmalarına rağmen, nemli havalarda bileşimindeki çeşitli asidik karakterli kimyasallar nedeni ile dayanıklı değildirler ve kısa zamanda korozyona uğrarlar. Metallere etki korozif yapıdaki partiküler maddelerin doğrudan etkisi ile oluşur. Bu etki nemin artması ile artar. Tekstil ürünleri partiküler maddelerden kirlenme, erozyon vb. şekilde etkilenirken, yapı elemanları kirlenme ve aşınma şeklinde zarar görürler (Karpuzcu 1994).

4.10.Partikül Madde Sınır Değerleri

Şehir ve/veya kırsal bölge atmosferinden örneklenip analizlenen PM konsantrasyonları o ülkede geçerli olan ve uluslararası kabul edilen PM sınır değerleri ile kıyaslanarak değerlendirilmektedir. Çizelge 4.6'da dünyada ve ülkemizde uygulanan PM 10 ve PM 2,5 için sınır değerler gösterilmektedir (Bayraktar 2006).

Çizelge.4.6.Dünyanın Çeşitli Ülkelerinde Kullanılan PM 10 ve PM 2,5 Standartları (µg / m³)

Ülke	PM 10 (Yıllık)	PM 10 (Günlük)	PM 2,5 (Yıllık)	PM 2,5 (Günlük)
Türkiye (Mevcut durum)	150	300	-	-
Türkiye (2016'ya kadar Revize edilmesi beklenen)	40	50	-	-
ABD	50	150	15	65
AB (Mevcut durum)	40	50	20	40
AB (2010 yılına kadar Revize edilmesi beklenen)	20	50	20	40
Hindistan	60	-	-	-
Avustralya	50	-	-	-
İşviçre	20	50	-	-
Slovenya	50	125	-	-
Polonya	50	120	-	-

5.KONUyla İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sun ve ark. (2004) Pekin havasındaki askıda partikül maddelerin konsantrasyonu, kompozisyonu, dağılımı ve kaynaklarını belirlemek amacıyla trafik bölgelerinden, endüstriyel bölgelerden ve yerleşim alanından, Pekin genelini temsil edecek şekilde 2002 yılından 2003 yılına kadar PM 2,5 ve PM 10 aerosol örneklerini yaz ve kış sezonlarında toplamıştır. Pekin havasının karakterizasyonu için 23 element, 15 iyon ile organik karbon (OC) ve elementel karbon (EC) sistematik olarak analiz edilmiştir. Bu teknik ile Pekin dışında ve içindeki kaynakların toplam mineral aerosole katkısı gösterilmiştir. PM 2,5 ve PM 10 örnekleri “medium volume” modunda toplanmıştır. Whatman 41 filtresinde element ve iyon analizleri için günlük; kuvars filtrede organik karbon ve elementel karbon analizleri için her üç günde bir toplanan örneklerde gerçekleştirilmiştir. Element analizleri Atomik Spektrofotometrede, iyon analizleri de İyon Kromatografisinde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre kışın oluşan partikül kirliliğinin yaza göre daha fazla olduğu görülmüştür. Kışın özellikle yerleşim bölgelerinde daha fazla kirlilik gözlemlenirken, trafiğin yoğun olduğu bölgelerde nispeten daha az kirlilik gözlemlenmiştir. Yaz aylarında ise endüstriyel bölgede nispeten daha fazla kirliliğe rastlanmıştır. PM 2,5 ve PM 10 konsantrasyonlarında görülen kimyasal tür çeşitliliği kış aylarında yaz aylarına nispeten daha fazladır. Partiküllerin en büyük bölümünü PM 2,5 oluşturmaktadır. Yaz aylarında PM 2,5/PM 10 oranı kış aylarına göre oldukça yüksektir (PM 2,5/PM 10 oranları yaz aylarında 0,45–0,48 kış aylarında 0,52–0,73 olarak hesaplanmıştır). PM 2,5’deki kimyasal maddelerin dağılımının endüstriyel bölgede yaz aylarında, yerleşim bölgelerinde ise kış aylarında çeşitlilik gösterdiği saptanmıştır. Alınan örneklerde SO_4^{-2} , NO_3^- , NH_4^+ , organik karbon (OC), kristal madde ve elementel karbon (EC) PM 2,5’un % 85,8 ile 97,7 si olarak en baskın olan 6 maddesidir. Sülfat konsantrasyonu bu 6 maddenin içinde kütleli olarak % 25’lik bir orandadır. Yazın SO_4^{-2} ve NO_3^- tüm alanlarda çok almasına rağmen; OC ve EC’nin kütle konsantrasyonu kışın daha çoktur. SO_4^{-2} , NO_3^- ve NH_4^+ kışın yerleşim alanından kaynaklanmaktadır. PM 2,5’da toplanan kütlenin % 66’sını

OC, EC ve SO_4^{-2} oluşturmaktadır. PM 2,5'un su içinde çözünebilir parçasının % 44'ünü SO_4^{-2} , % 25'ini NO_3^- ve % 16'sını NH_4^+ oluşturmaktadır.

Asılı partiküllerin özellikle çapı 2,5 μm 'den küçük olanları, solunum sistemi hastalıklarını ve ölüm oranını arttırmaktadır ve insan sağlığını doğrudan etkilemektedir. Aerosoller atmosfere dağılarak ve radyasyonu emerek bulutların kararmasına, derinliğine etkileyerek iklime etki ederler ve atmosferik hareketler ile uzun mesafelere taşınarak küresel kirlenmeye sebep olmaktadır. Bu bölgedeki hava kirliliğinin başlıca kaynaklarını toz, endüstriyel emisyonlar, kömür yakılması, araç egzoz emisyonu ve çöp yakma işlemleri oluşturmaktadır. Düşük kükürtlü kömür yerine doğal gaz kullanımı, kurşunlu benzin yerine sıvılaştırılmış petrol gazı kullanımı ve şehir içerisinde endüstri tesislerinin uzaklaştırılması ile hava kalitesinin iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Ariola ve ark. (2006) İtalya'nın Kuzeybatısındaki Cenova kıyı kentinde PM 10, PM 2,5 ve PM 1 boyutundaki partikül madde konsantrasyonu ve kompozisyonu ölçmüşlerdir. Sürekli monitörleme (TEOM) ve ardışık örnekleme (PARTISOL) enstrümanları aynı alanda sürekli olarak Temmuz 2001'den Eylül 2004'e kadar çalıştırılmıştır. PARTISOL tarafından toplanan örnekler PM konsantrasyonunu elde etmek için tartılmış ve PIXE (Partikül çeken X ray emisyonu) ile analiz edilmiş ve ED-XRF (enerji dağılımı Xray ışığı) ile Na'dan Pb'ye kadar element konsantrasyonları elde edilmiştir. PM 10 ve PM 2,5 farklı sezonlarda toplanmasına karşın, PM 1 örnekleme sadece yazın yapılmıştır. Örnekleme zamanı her zaman gece yarısından başlayarak 24 saat sürdürülmüştür. Cenova'da partikül madde konsantrasyonları genel olarak yaz aylarında yüksek ölçülmüştür. En yüksek değerler ise 2004 yılı kış aylarında ölçülmüştür. Stabil olan (durgun olan) atmosferik durumlarda tüm kirletici madde miktarında artış gözlenmiştir. PM 10 ölçülen konsantrasyonun % 50'sini oluşturmuştur. Filtrelerde ortalama olarak % 20, % 10 ve % 7 oranlarında PM 10, PM 2,5 ve PM 1 konsantrasyonları hesaplanmıştır. PM 10 PM 2,5 ve PM 1 içerisinde Sülfür her zaman en fazla bulunan bileşen olarak sırası ile % 4, % 8 ve % 6 oranlarında toplam konsantrasyon içerisinde yer almıştır. Sülfür, V ve Ni; Br ve Pb gibi elementler PM 2,5 ve PM 1 fraksiyonlarında yer almıştır. Sülfatlar ise PM 10,

PM 2,5 ve PM 1 için sırası ile toplam PM konsantrasyonunun % 15, % 32 ve % 28'i olarak elde edilmiştir. Her 3 PM fraksiyonu da farklı periyotlarda toplanmasına karşın gene de örneklerin karşılaştırılması (57 PM 1; 139 PM 2,5; 128 PM 10) ortalama PM kompozisyonunu temsil etmektedir. PM 10 için Na ve Cl gibi liman kenarı tipik elementleri ve toprak kökenli Al, Si, Ca, Ti, Fe elementleri başlıca kaba fraksiyonlardır. Atmosferik şartlar takip edilmiş fakat denizden esen rüzgarla birlikte Na ve Cl miktarının artışı dışında, atmosferik değişimler ile değişen PM miktarları arasında bir bağlantı kurulamamıştır. Aynı alanda daha önce toplanan veriler ile mevcut sonuçların karşılaştırılması ile Pb konsantrasyonunda açıkça bir azalış olduğu görülmektedir. 2001 kışında kurşunun ortalama konsantrasyonu PM 2,5'de 64 ng/m³ ve PM 10' da 73 ng/m³ iken bu ölçümde her iki PM fraksiyonunda da 8 -12 ng/m³ olarak ölçülmüştür. Pb oranının atmosferdeki değişimi kurşunlu benzin satışının İtalya'da Ocak 2002'de yasaklanması ile açıklanmaktadır.

Kim ve ark. (2006) Kore'deki kentsel yerleşim birimindeki ince ve kaba partikül fraksiyonunun iyonik kompozisyonunu araştırmıştır. 2002 yılında kış aylarında kentsel alanda 2 farklı bölge olan Seul ve Busan'da PM 2,5 ve PM 10 iyonik kompozisyonu PM örnekleri toplanarak incelenmiştir. Ölçüm verilerine dayanarak, iki farklı kentsel alandaki askıdaki partiküllerin birbirlerine bağlı rolleri araştırılmıştır. Yapılan ölçümlere göre her iki PM fraksiyonunda da başlıca komponentler birbirinden ayırt edilebilmektedir. Her iki alanda da PM örnekleri URG firması tarafından geliştirilen örnekleme sistemi ile toplanmıştır. Tüm örnekler 1m³/h akış hızında 0,5 µm gözenekli % 99,95 tutma verimine sahip teflon filtreler ile toplanmıştır, deiyonize su kullanılarak toplanan partiküller filtreden ayrıştırılmıştır. Bu iyonik komponentler daha sonra iyon kromatografisi (IC) ile analiz edilmiş ve çıkan sonuçların karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Elde edilen verilerin çeşitli standartlarda değerlendirilmesi ve farklı iyon ve farklı fraksiyonlar ile korelasyon analizi yapılmıştır. Farklı tiplerde yapılan analizlerin sonuçları ile her iki alanda iyonik dağılmaya etki eden faktörler keşfedilmeye çalışılmıştır. Partiküllerin iyonik kompozisyonları farklı proses kaynaklarından gelen emisyonlardan etkilenmektedir. Busan'ın kıyı şeridinde yer almasından

dolayı birçok durumda okyanus kaynaklı prosesler gözlemlenmiştir. Seul'de ise insan kaynaklı baskın veriler elde edilmiştir. PM 10 değeri Seul'deki 79,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iken Busan'da bunun yaklaşık yarısı 34,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. PM 2,5 değerleri kıyaslandığında ise Seul'de 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve Busan'da 19,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ortalama değerler bulunmuştur. Sonuçlar iki fraksiyon arasında bölündüğünde örnekler her iki alanda da birbirinden ayrılmaktadır. Seul'de suda çözünebilen iyonlar (anyon veya katyonlar) ince fraksiyonlarda daha fazla göze çarparken, Busan'da katyon konsantrasyonu kaba fraksiyonda ince olana nispeten yaklaşık iki kat daha baskın bulunmuştur. Bu tür büyük farklılıklar sadece katyonlarda ince fraksiyonlarda % 8,14 ve kaba fraksiyonlarda % 15,7 olarak meydana gelmektedir. Busan'da PM 10' daki sapma Ca^{+2} , değerinden meydana gelmektedir. Busan'daki deniz suyunun Na/Ca değeri 22,8 iken, oranının önemli ölçüde azaldığı (5,0), görülmüştür. İnce fraksiyonlarda Ca/K oranı 0,07 iken kaba fraksiyonlarda 65,8 olmuştur. Kaba fraksiyonlardaki iyonik konsantrasyonların genellikle birbiri ile her iki tarafta da uyumlu olduğu bulunmuştur (NH_4^+ , NO_3^- , NSSS, vs). Fakat ince fraksiyonlarda konsantrasyon seviyelerindeki fark önemlidir ve Seul'deki kütle konsantrasyon seviyeleri Busan'dakine göre 3 misli artmaktadır. Sonuçlar göstermiştir ki her iki bölgede ince fraksiyonlarda insan kaynaklı aktiviteler belirgindir. Fakat kaba fraksiyon verileri karşılaştırıldığında Busan'daki doğal proseslerde farklı iyon komponentleri birbirleri ile ilişkilidir.

Wahlin ve ark. (2006) Kopenhag'daki trafik kaynaklı partikül maddelerin karakterizasyonunu incelemiştir. İnce ve kaba PM fraksiyonu yol ve şehir dışı alanlarda Eylül, Ekim 2003 (yaz) ve Şubat, Mart 2004 (kış) olarak yaz ve kış periyotlarında aynı zamanda örneklenmiştir. Geçmişte yapılan araştırmalar genel olarak egzoz emisyonu üzerinedir, bunun başlıca sebebi de yakıt yanması ile oluşan partikül oluşumudur. Bununla birlikte başka prosesler (mekanik sürtünme ve korozyon gibi) de doğrudan atmosferi etkileyen sonuçlar doğurmaktadır. En önemli prosesler yol yüzeyindeki aşınmalar, lastik aşınmaları ve fren aşınmalarıdır. Diğer prosesler ise debriyaj aşınması, araç elemanlarının korozyonudur. Ayrıca direkt emisyon etkisi yol yüzeyindeki partiküllerden de kaynaklanmaktadır. Yol üzerinde toplanan maddeler (yol tozu), tuz ve iri taneli

kumlar (özellikle kış aylarında yapılan kar mücadele çalışmalarında kullanılmakta), kristal ve bitkisel maddeler de diğer kaynaklardan yollara gelmektedir. Yol tozu akabinde hava türbülansı ve lastik hareketleri ile havada asılı kalmaya başlamaktadır. Bulunan organik maddeler ise genel olarak yol kenarlarındaki ağaçlardan kaynaklanmaktadır.

Nemli havalarda yola ve lastik kaplamasına bağlı olarak oluşan maddeler, yol kurduğunda tekrar havalanarak atmosferde asılı kalmaktadır. Bu tip kaynaklardan emisyon oranlarını temsil etmek üzere toplanan veriler kapsamlı olmaktan (bütünlük içermekten) çok uzaktır.

Raporlanan elementler lastik ve frende kullanılan maddelerin çeşitli olmasından dolayı oldukça fazladır. 1991'de fren aşınması kaynaklı parçalar incelendiğinde % 8,3 Mg ve muhtemelen asbest kullanılmasına bağlı olarak yer almıştır. Pb ve Br' nin seksenli yılların sonunda azaltılması ile (petrolde müsaade edilen kurşun miktarı azaltılmıştır) son on yılda yollarda izlenen elementler oldukça değişmiştir. Petrolde şu anda nerede ise hiç kurşun bulunmamaktadır ve atmosferdeki Pb konsantrasyonu ciddi şekilde azalmaktadır. Analizler göstermiştir ki fren aşınmasından kaynaklanan partiküllerin solunan havanın içerisinde ortalama 2,8 µm civarında bir büyüklükte olduğu bulunmuştur. Kabaca yol tozunun yarısı asfalt aşınması ve diğer yarısı da lastik aşınması olarak gerçekleşmiştir. Kabaca fren aşınmasına bağlı oluşan element konsantrasyonunun yarısı her iki fraksiyonda da görülmüştür. Bu uzun liste fren kaynaklı elementlerden dolayıdır, bu elementler, Cr, Fe, Cu, Zn, Zr, Mo, Sn, Sb, Ba ve Pb' dir. Diğer elementler olan Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn ve Sr ise lastik kaynaklı fraksiyonlardan oluşmuştur.

Tsiouridou ve ark. (2003) Yunanistan'da üç ayrı bölgede bir yıl süresince PM 10 örnekleri toplamış ve toplanan örneklerin iyonik kompozisyonlarını belirlemişlerdir. İyonik bileşenler PM 10 kütlelerinin % 17 - 23'ünü oluştururken, sülfat toplam iyonik kütleinin % 35 - 38'ini oluşturmuştur. Elde edilen veriler meteorolojik parametrelerle birlikte değerlendirildiğinde rüzgar hızının düşük olduğu durağan günlerde PM 10 derişimlerinin de düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum kirleticilerin yerel kaynaklı olduğunun bir göstergesi olarak sunulmuştur.

Mevsimsel olarak derişim farklılıkları incelendiğinde ise kış aylarında PM 10 derişimlerinde artış gözlemlenmiştir. Kış aylarındaki artış ise artan fosil yakıt ve karışma yüksekliğinin azalmasıyla ilişkilendirilmiştir. Veri setine Faktör Analizi uygulanarak başlıca iki faktör ayırt edilmiştir. İlk faktör toprak ve deniz etkisi olarak, ikinci faktör ise yerel amonyak kaynağı ve amonyağın nitrat ve sülfat tuzlarına dönüşümünü sağlayan gaz-partikül nötralizasyonu olarak belirlenmiştir.

Xiu ve ark. (2004) Şangay’da yaptıkları çalışmada 11, 7,4, 3,3, 2,1, 1,1, 0,65, 0,43 µm aralığında toplanan partikül madde örneklerinde suda çözünür iyon derişimlerini belirlemişlerdir. Tüm partikül madde boyutlarındaki iyon derişimlerinin büyüklük sıralamasını $SO_4^{-2} > NO_3^- = NH_4^+ = Cl^- > F^-$ olarak belirlemişlerdir. Eşdeğer oranlar doğrultusunda SO_4^{-2} , NO_3^- , Cl^- ve NH_4^+ in partikül maddedeki kimyasal bileşimlerini $(NH_4)_2SO_4$, NH_4NO_3 ve NH_4Cl olarak belirlemişlerdir.

Karaca ve ark. (2005) Temmuz 2002 – Temmuz 2003 tarihleri arasında İstanbul’da PM 10 ve PM 2,5 kütle derişimlerini belirlemişlerdir. Yıllık ortalama PM 10 ve PM 2,5 değerleri 41,7 ve 20,8 µg/ m³ olarak ölçülmüştür. Kış aylarında PM 2,5 ve PM 10 derişimlerinde artış gözlemlenirken, PM 2,5 ve PM 10 için korelasyon katsayısı 0,88, yaz ayları için ise korelasyon katsayısı 0,54 olarak hesaplanmıştır. Yaz ayları için PM 2,5 ve PM 10 için kaynakların farklı olabileceği belirtilmiştir.

Karakaş ve Tuncel (1997) Uludağ’da toplanan aerosollerde iyonik bileşenleri belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada meteorolojik parametrelerin ölçülen derişimleri etkilediğini görmüşler ve rüzgar sektör analizi ile de bunu desteklemişlerdir. En önemli kirletici kaynak bölgelerinin kuzey ve güney olduğunu özellikle istasyonun güneyinde yer alan güç santralinin önemli ölçüde kirletici bileşeni istasyona taşıdığını belirtmişlerdir. Öte yandan anyon/kasyon kütle denkliklerini incelemişler ve anyon eksikliğini istasyonda ölçülemeyen organik asitlerin varlığı ile açıklamışlardır.

6.MATERYAL VE METOT

Bu çalışma 104Y263 no'lu TUBİTAK ve 050222 no'lu BAP kapsamında yürütülen projelerin bir parçasıdır. Eskişehir il merkezinde partikül fazı atmosferik örnekler düşük hacimli dichotomous örnekleyiciyle toplandıktan sonra; laboratuarda uygun metotlar kullanılarak analize hazır hale getirilip iyon kromatografide analizi yapılarak iyon miktarları belirlenmiştir.

6.1. Örnekleme

Atmosferik çalışmalarda örnekleme çok önemlidir. Örnekleme alanının doğru olarak seçilmesi, elde edilen verilerin açıklanabilmesi ve yorumlanabilmesi açısından kritiktir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, harita üzerinde potansiyel yerler belirlenmiş ve saha ziyaretleri ile en uygun örnekleme noktası seçilmiştir. Örnekleme noktası ile ilgili genel bilgileri ve örnekleme metodolojisi ilerleyen bölümlerde detaylı olarak anlatılmaktadır.

6.1.1. Örnekleme bölgesi hakkında genel bilgiler

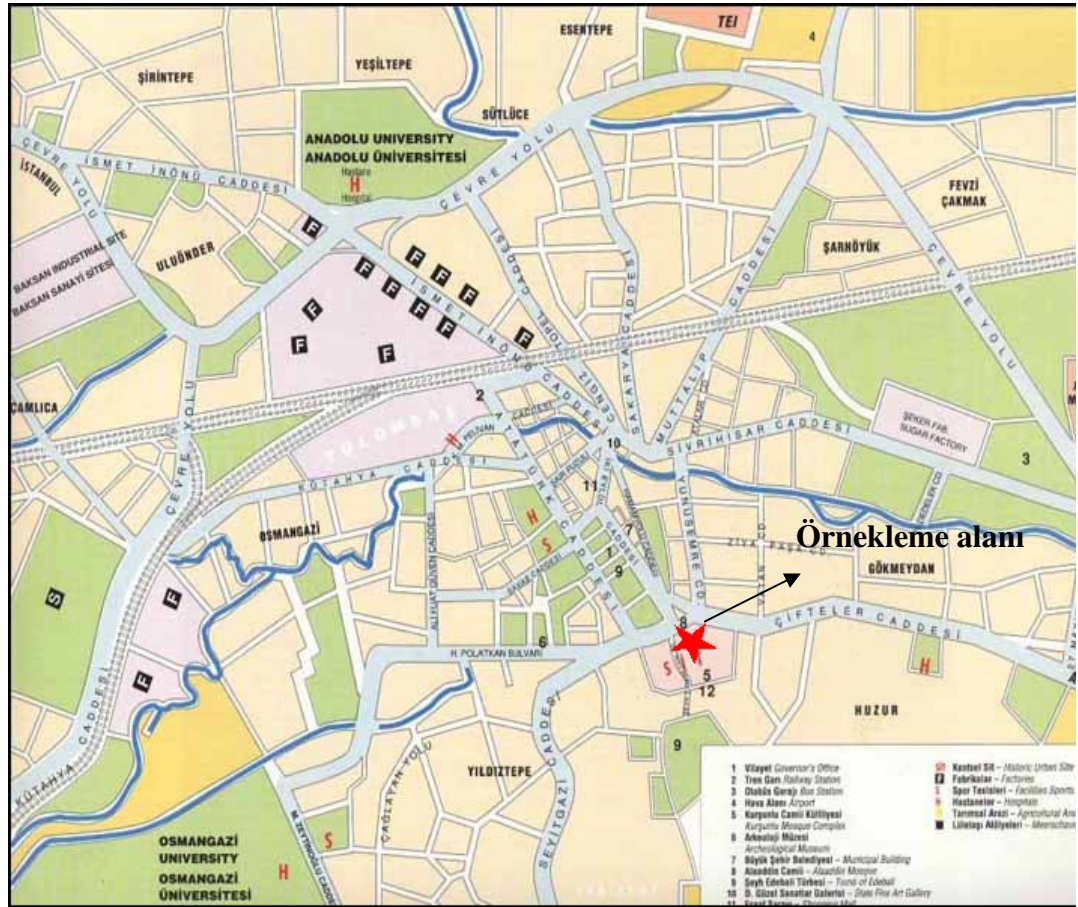
Eskişehir, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında 29–32 derece doğu boylamları, 39–40 derece kuzey enlemleri arasında yer alır. 13652 km² 'lik yüzölçümüne sahiptir. Kuzeyde Karadeniz, kuzeybatıda Marmara, batı ve güney batıda Ege Bölgesi ile komşudur. Kent nüfusu, 2000 yılı genel nüfus sayımı sonuçlarına göre 706.009 olan il nüfusunun 557.028'i il ve ilçe merkezlerinde, 148.981'i köylerde yerleşmiştir. 2003 yılı itibariyle ise merkez ilçe nüfusu 519.602'dir. Şehir nüfus oranı % 79, köy nüfus oranı ise % 21'dir. İlin yıllık nüfus artış hızı binde 9,61 olmakla birlikte, şehir nüfus artış hızı binde 15,41 ve köy nüfus artışı binde -9,52'dir. Topografik olarak ovalar, ovaların çevrelerini kuşatan dağlar ve platolardan oluşan normal bir topografya görülür. Ovaların, il toplam alanı içindeki payı % 26 dolayındadır. İldeki önemli ovalar Sakarya ve Porsuk ovalarıdır. Sert bir kara iklimi hakimdir. Yıllık sıcaklık ortalaması 10,9 °C'dir. Yılın en soğuk ayı, ortalama -2 °C ile Ocak ayıdır. Temmuz ayının ikinci yarısı ile Ağustos ayının ilk yarısında en yüksek sıcaklıklar görülür (30–40 °C). Gece-

gündüz sıcaklıklarında 12–29 °C arasında büyük sıcaklık farkları söz konusudur. Yağışlar, kışın kar ve yağmur şeklinde görülür. Yıllık ortalama yağış miktarı 378,9 kg/m³'dür. Rüzgarlar, kışın doğudan batıya eser. Baharın ilk aylarında kuzeybatı, baharın sonunda ise güneybatı, batı ve kuzeybatı rüzgarları görülür. Eylül sonundan itibaren doğu, kuzeydoğu ve güneydoğu rüzgarları ortaya çıkar (http1).

6.1.2.Örnekleme alanı hakkında genel bilgiler

Hava kalitesi çalışmalarında hava kirleticilerin örnekleme ve analizi önemli yer tutmaktadır. Örneklemenin, Ulusal ve Uluslararası (EPA, EN, WHO) kriterlere uygun olarak seçilmiş ekipmanlarla ve amaca uygun şekilde seçilmiş bir noktada yapılması gerekmektedir.

Eskişehir haritası üzerinde örnekleme alanı Şekil 6,1'de yıldız ile gösterilmiştir.



Şekil.6.1.Eskişehir Haritasında Örnekleme Alanının Yeri

Örnekleme noktasının seçiminde; şehrin hava kirliliği profilini homojen olarak yansıtan bir noktada olması, ön tarafında yoğun bir trafik akışının mevcudiyeti ve arka kısımlarının ısınmada kömür kullanan konutlarla çevrili olması, çevresinde herhangi bir endüstriyel aktivite ve noktasal kaynak olmaması, dışardan gelebilecek tehlikelere karşı 24 saat güvenlik tarafından beklenen bir yerde olması, ölçüm yapılan cihaz elektrikle çalıştığı için elektrik tesisatı konusunda herhangi bir problemle karşılaşılmayacak olması, örnekleri yerleştirme ve toplama esnasında kolay ulaşılabilir bir noktada olması etkili olmuştur.

Örnekleyici Eskişehir ili merkezinde Odunpazarı mevkiinde bulunan, “Anadolu Üniversitesi Cumhuriyet Tarihi Müzesi”nin bahçesine yerleştirilmiştir (Şekil 6.2 ve Şekil 6.3.). Örnekleme noktası Atatürk Bulvarını, Çifteler Caddesine bağlayan ve İki Eylül Caddesinin başlangıcına 50 metre mesafede ve yerden yaklaşık olarak 1,5 metre yükseklikte olan bir noktada bulunmaktadır



Şekil.6.2.Örnekleme Noktası Arkadan Görünüşü

Örnekleme noktası müze olduğu için ziyaret esnasında insanların merak ederek alete zarar vermelerini engellemek için etrafı çit ile çevrilerek emniyet altına alınmıştır.



Şekil 6.3. Örnekleme Noktası Önden Görünüşü

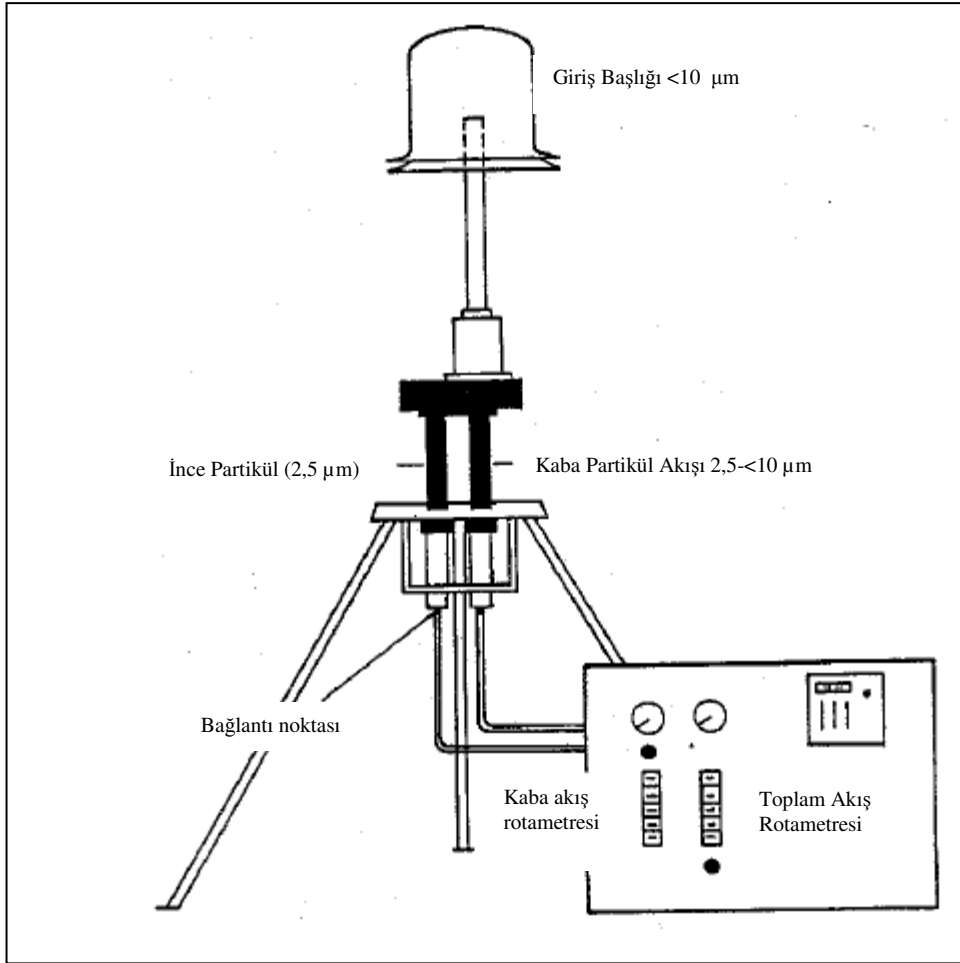
6.2 Örneklemede Kullanılan Örnekleyici

Bu çalışmada düşük hacimli THERMO marka DICHOTOMOUS örnekleyici kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan örnekleyicinin resmi Şekil.6.4’de gösterilmiştir.



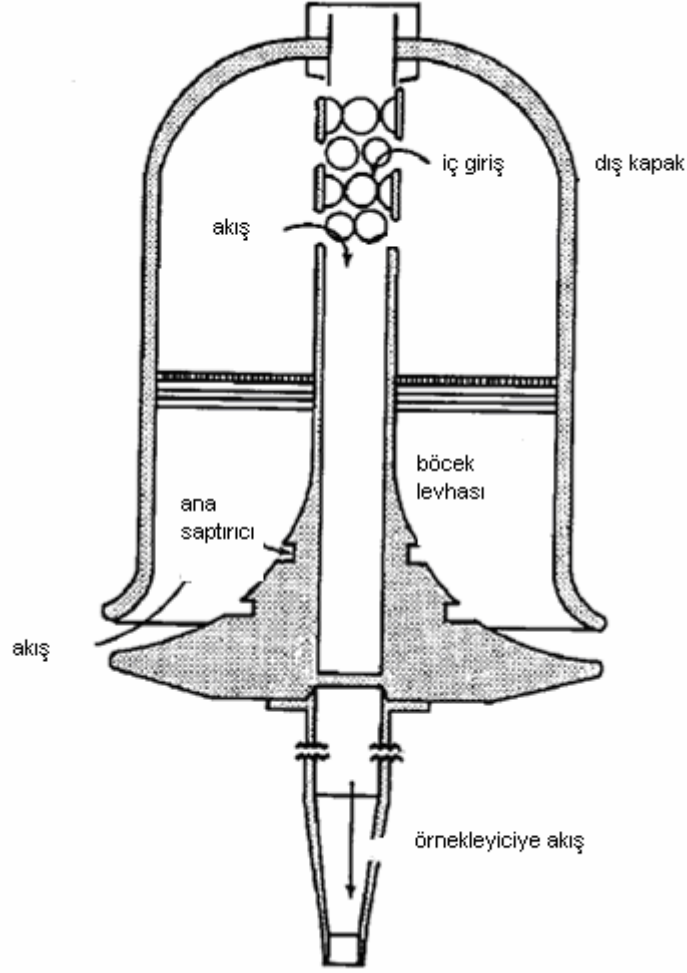
Şekil.6.4. Dichotomous PM 10/ 2,5 Örnekleyici

Thermo Dichotomous Örnekleycisi düşük hacimli bir örnekleyci olup, 24 saatlik periyotta hava toplayabilmektedir. Düşük hızda (16,7 L/dak) çektiği havayı 10 µm seçici başlığından geçirerek 0–2,5 µm olarak iki ayrı filtre üzerinden ince ve kaba fraksiyonlarında toplamaktadır. Örnekleycide 37 mm çapında teflon filtreler kullanılmaktadır. Örnekleyci, örnekleme ve akış kontrol olmak üzere iki modülden oluşmaktadır. Tipik bir Dichotomous Örnekleycisi şekli Şekil 6.5’de gösterilmiştir.



Şekil.6.5. Tipik Bir Dichotomous Örnekleyci

Örnekleycide akış, partikül yüklü havanın ayrımı ve keskin geri dönüş hareketiyle sağlanmaktadır. Cihazın 10 µm seçici başlığından çekilen hava, içeri girmek için keskin bir dönüş yapmaya zorlanmaktadır. Çapı 10 µm’den büyük olan parçacıklar, kütlelerinden dolayı, uygulanan 16,7 L/dak emiş hızıyla bu keskin dönüşü yapamadıkları için, örnekleycinin içine girememektedirler. Örnekleycinin 10 µm seçici giriş yapısı Şekil 6.6’da gösterilmektedir.

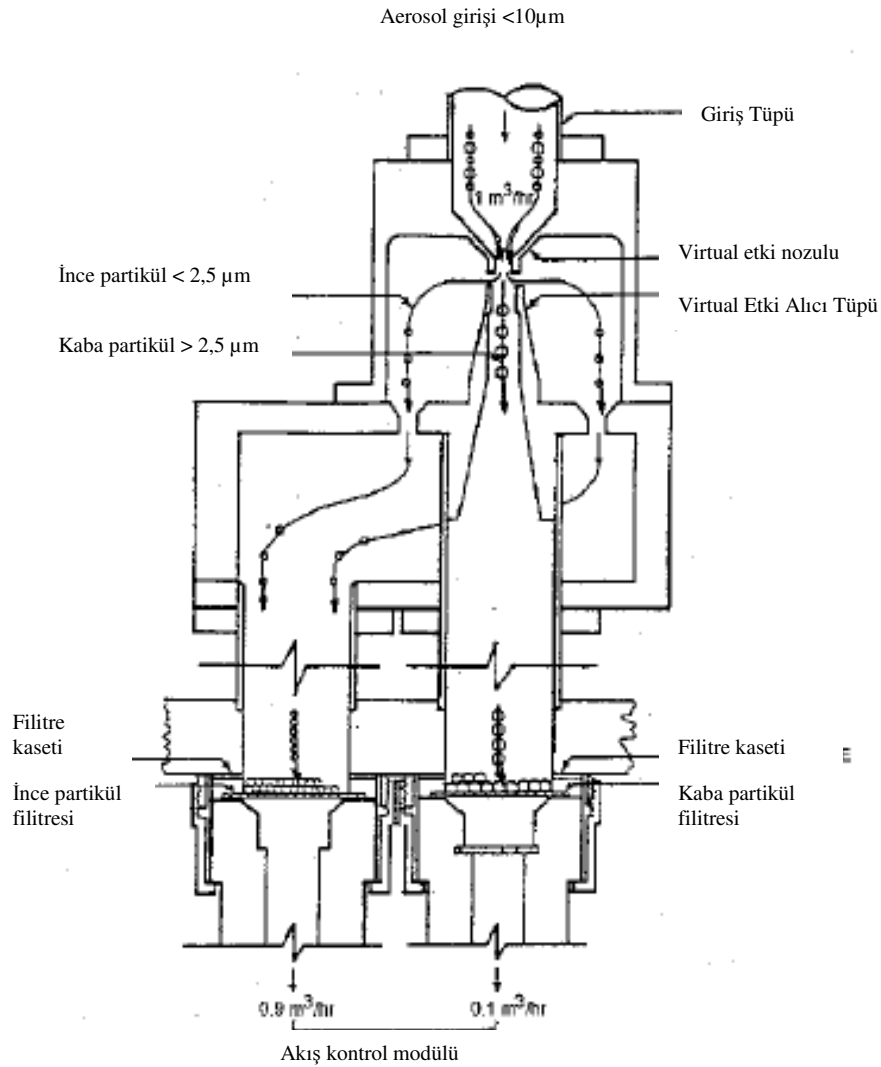


Şekil.6.6.Örnekleyici Seçici Giriş Yapısı

Partiküllerin kaba (2,5–10 μm) ve ince (0–2,5 μm) olarak ayrımı ise, içerdeki “virtual impactor” ayırma tekniği ile gerçekleştirilmektedir (William and Winberry 1999).

Atalet kolektörleri gaz akımının ani yön değişikliği ile yoldan sapma şeklinde çalışır. Eğer hız yeterince varsa ve yön değişimi yeterince şiddetli ise atalet kuvveti partiküllerin yüzeye etki etmelerini sağlar. Bir gaz içerisinde hareket eden partiküller aerodinamik çaplarına göre durum alırlar. Aerodinamik çap; partikülün şekil, pürüzlülük ve aerodinamik sürüklenmesine göre değişmektedir. Atalet kolektörlerinde hava akımı fiber veya filtre malzemesi çevresinde keskin dönüş yaptığında partiküllerin ataleti onların yüzeye doğru gitmelerini sağlar. Yüksek hızlar, büyük partikül büyüklükleri ve küçük gözenek çapları ile çok miktarda partikül toplanır. Hava filtreleri gözenek büyüklüklerine

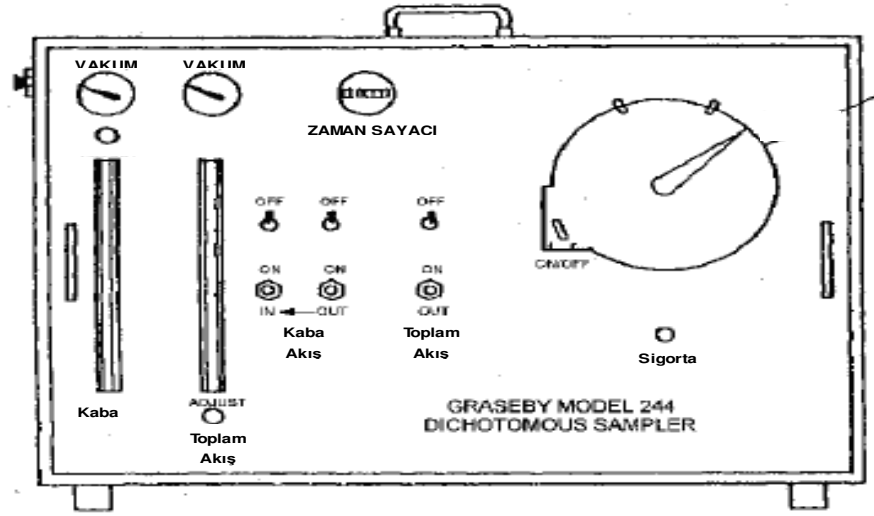
göre çok çeşitlilik gösterirler. Filtreler havanın içerisindeki partiküllerin % 100'ünü tutmazlar. Yüksek orandaki küçük çaplı partiküller filtreden geçerler. Bununla birlikte uygun seçilen filtreler aynı örnekleme koşullarında ve yüksek tekrarlamalar ile çalışmaları durumunda % 100 verimli olarak kabul edilebilirler. Çok küçük partiküller için gözenekleri çok küçük olan filtreler gerekir ki bu da filtrede yüksek bir basınç kaybı oluşması demektir (Wight 1996). Örnekleycinin çalışma prensibi Şekil 6.7'de gösterilmektedir.



Şekil.6.7. Örnekleyci Çalışma Prensibi

Şekil 6.7’de görüldüğü gibi giriş yapısını geçen solunabilir parçacıklar, bir hızlandırma setinden geçirilip, 15 L/dak bir emiş hızı uygulanarak ince parçacık filtresinde toplanmaktadır. Bu setin çevrelediği daha düşük hızda emiş yapan bir diğer sette ise, 1,67 L/dak’lık bir emiş hızıyla 2,5–10 µm çapındaki partiküller, kaba partiküllerin toplandığı kısma gönderilmektedir. Emiş hızları kontrol ünitesindeki vanalardan ayarlanmakta ve örnekleme süresi boyunca çok küçük sapmalar dışında sabit kalmaktadır. (\pm %10 sapma)

Örnekleyci kontrol paneli Şekil 6.8’de gösterilmektedir. Kontrol paneli, örnekleycinin kontrol birimi, vakum göstergesi, rotametreler, debi ayar valfleri, zaman sayacı ve zaman programlama düğmelerini barındıran, su geçirmez kapalı bir yapıdır. Kontrol panelinin arka kısmında ise sigortalar, emiş pompası ve soğutucu fanların bulunduğu motor bölmesi bulunmaktadır.



Şekil.6.8.Örnekleyci Kontrol Paneli

6.3.Örnekleme Metodolojisi

Örnekleycinin örnekleme alanına taşınmasından sonra Aralık 2005 – Ağustos 2006 tarihleri arasında ortalama 24 saatlik PM örnekleme yapılmıştır. PM 10-2,5 örnekleme 1,67 L/dakika debide ve PM 2,5 örnekleme ise 15 L/dakika debide yapılmıştır. Örnekleyci içerisinde 37 mm çapında 2 µm gözenekli teflon® filtreler kullanılmıştır. Teflon® filtreler, örnekleme işleminden

önce petri kabının içerisine yerleştirilip kabin tipi bir desikatörün içerisinde % 25–35 bağıl nem aralığında ve 25–35 °C sıcaklık koşullarında 24 saat bekletilerek sabit tartıma getirilmiştir. Daha sonra 0,00001 g hassasiyetli terazide tartılıp tartım sonuçları kaydedilerek üzeri etiketli petri kapları içerisinde örnekleme alanına götürülerek cihaza yerleştirilmiştir. 24 saatlik örneklemenin sonunda aynı şartlarda hazırlanmış yeni filtreler eskileri ile değiştirilip örnekleme işlemi yeniden başlatılmıştır. Örnekleyciden alınan filtreler (örnekleme günü ve filtre numarası yazılı filtreye ait) petrilere konulup laboratuara getirilmiştir. Tekrar aynı şartlarda iki gün sabit tartıma getirilen filtreler tartılmış ve elemental ve iyon analizi için saklanmıştır. Örnekleme alanında o güne ait örnekleme bilgileri (geçen süre, geçen hava hacmi, yerel basınç vb.) kaydedilmiştir. Filtrelerin dolu ağırlıkları ile boş ağırlıklarının farkı alınıp günlük ince partikül (PM 2,5) ve kaba partikül (PM 2,5-10) ağırlıkları bulunmuştur.

6.4.Örneklerin Analizi

Örnekleme periyodu süresince toplanan PM örnekleri önce kütlelesel konsantrasyon tayini için gravimetrik analize daha sonra da iyon kompozisyonlarının belirlenmesi için enstrümantal analize tabi tutulmuştur.

6.4.1.Kütlelesel konsantrasyonların belirlenmesi

Kütle ölçümleri PM örneklemesinde kullanılan en yaygın ölçüm yöntemidir. Veriler partikül kütle konsantrasyonunu ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) hesaplamak için kullanılmaktadır. Bir filtre üzerinde net PM kütlesi, standart sıcaklık ve standart bağıl nem şartlarında filtrenin örnekleme öncesi ve sonrasında hassas terazi kullanılarak tartımı ile belirlenmektedir. Sıcaklık ve bağıl nemin belli aralıklarda tutulması çözünebilir türlerin sıvı su etkileşimini ve uçucu türlerin kayıplarını minimize etmek için kullanılmaktadır.

6.4.2. İyon kompozisyonunun belirlenmesi

Atmosferik partikül madde daha önce de belirtildiği gibi kompleks bir karışımdır. Bu çalışma kapsamında partikül maddenin iyonik kompozisyonu belirlenmiştir. Bu amaçla filtreler ikiye bölünmüş ve yarısı iyonik kompozisyonun belirlenmesi için kullanılmış diğer yarısı ise metal kompozisyonun belirlenebilmesi için saklanmıştır. Çalışmamızda örneklenen PM 10–2,5 ve PM 2,5 türlerinin iyonik kompozisyonu, DIONEX–2500 İyon Kromatografisi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında partikül madde içinde F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ ve katyonlardan da NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan iyon kromatografi cihazı; GP 50 4'lü gradyent pompa, LC 25 kolon fırını ve ED 50 elektrokimyasal detektör olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır. Anyon ve katyon analizleri aynı iyon kromatografi cihazında yapılmış olup; kolon, ön kolon, eluent, akış hızı ve suppressor akımı analizi yapılacak iyonlara göre değiştirilmiştir. Analizlerde kullanılan iyon kromatografi cihazının detaylı teknik özellikleri ise Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de belirtilmiştir.

Çizelge.6.1. Anyon Analizlerinde Kullanılan İyon Kromatografi Cihazının Teknik Özellikleri

Ana bileşenler	Özellik
Kolon	AS9-HC(250 x 4 mm)
Ön Kolon	AG9-HC (50 x 4 mm)
Suppressor	ULTRA II, "Water Cycle" (su ile suprasyon) modunda çalışan suppressor
Suppressor akımı	55 mA
Eluent	10 mM Na ₂ CO ₃ (Sodyum Karbonat)
Akış hızı	1.1 mL/dak
Fırın sıcaklığı	30 ° C

Çizelge.6.2.Katyon Analizlerinde Kullanılan İyon Kromatografi Cihazının Teknik Özellikleri

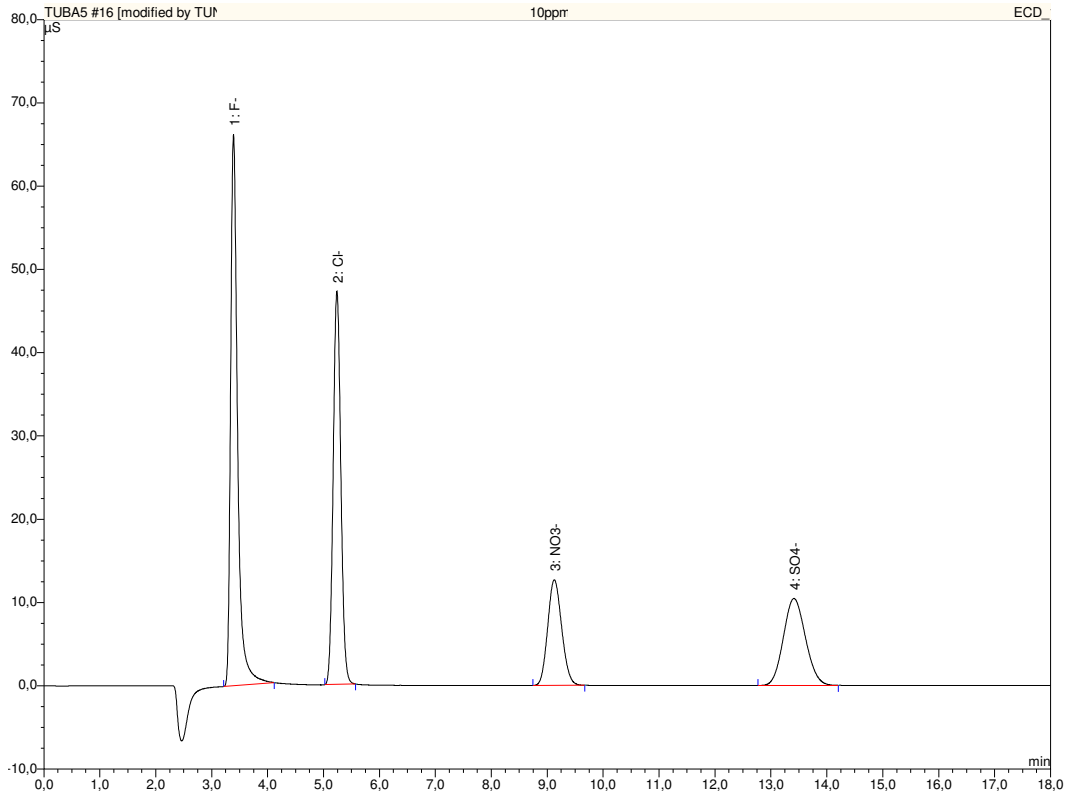
Ana bileşenler	Özellik
Kolon	CS12-A(250 x 4 mm)
Ön Kolon	CG12-A (50 x 4 mm)
Suppressor	ULTRA II,"Water Cycle" (su ile suprasyon) modunda çalışan suppressor
Suppressor akımı	100 mA
Eluent	20 mM CH ₄ O ₃ S (Metan Sulfonik Asit)
Akış hızı	1.0 mL/dak
Fırın sıcaklığı	30 ° C

Filtre kağıtları 24 saatlik örnekleme periyodu sonrasında renkli cam şişelere (örneklerin güneş ışığından etkilenmemesi için) konularak üzerlerine 15 mL ultra saf su (Milli-Q) eklenerek ultrasonik banyoda 60 dakika ekstrakte edilmiştir. Örneklerin üzerine konulacak su miktarı ve ekstraksiyon zamanı yapılan denemelerle belirlenmiştir. Bu deneyler sonucunda en uygun hacmin 15mL ve en uygun ekstraksiyon süresinin 60 dakika olduğu ortaya çıkmıştır. Ekstraksiyon sonrasında örnekler, iyonların daha iyi çözünmesini sağlamak için 24 saat buzdolabında bekletilmiş ve daha sonra 0,22 µm'lik selüloz asetat filtreden süzülerek analize hazır hale getirilmiştir. Örneklerdeki anyon derişimlerinin belirlenmesi için F⁻, Cl⁻, SO₄⁻, NO₃⁻ tuzlarını içeren katı kimyasallardan (Merck) 0,1, 0,5, 1, 3, 5, 10 µg /mL'lik standartlar hazırlanarak iyon kromatografi cihazının kalibrasyonu yapılmıştır. Katyonlar için ise NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² iyonlarını içeren sertifikalı SM-137-293 çözeltisi kullanılarak 0.05, 0,1, 0.25, 0,5, 1, 2, 5 µg /mL'lik standartlar hazırlanarak iyon kromatografi cihazının kalibrasyonu yapılmıştır. Hazırlanan kalibrasyon eğrilerinin doğruluğunu test etmek için BCR-CRM 408 (Simulated Rainwater (low contents)) ve BCR-CRM 409 (Simulated Rainwater (high contents)) standard referans maddeleri kullanılmıştır. Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'de CRM 408 ve CRM 409 analizlerinden elde edilen veriler görülmektedir.

Çizelge 6.3. Anyonlara Ait CRM 408 ve CRM 409 Analizi Verileri

	CRM 408			CRM 409		
	Deneysel Değer	Sertifikalı Değer	% Hata	Deneysel Değer	Sertifikalı Değer	% Hata
Cl-	2,300	2,385	3,58	3,662	4,005	8,55
NO ₃ -	1,117	1,246	10,37	4,578	4,842	5,44
SO ₄ ²⁻	1,104	1,008	9,47	4,991	5,107	2,27

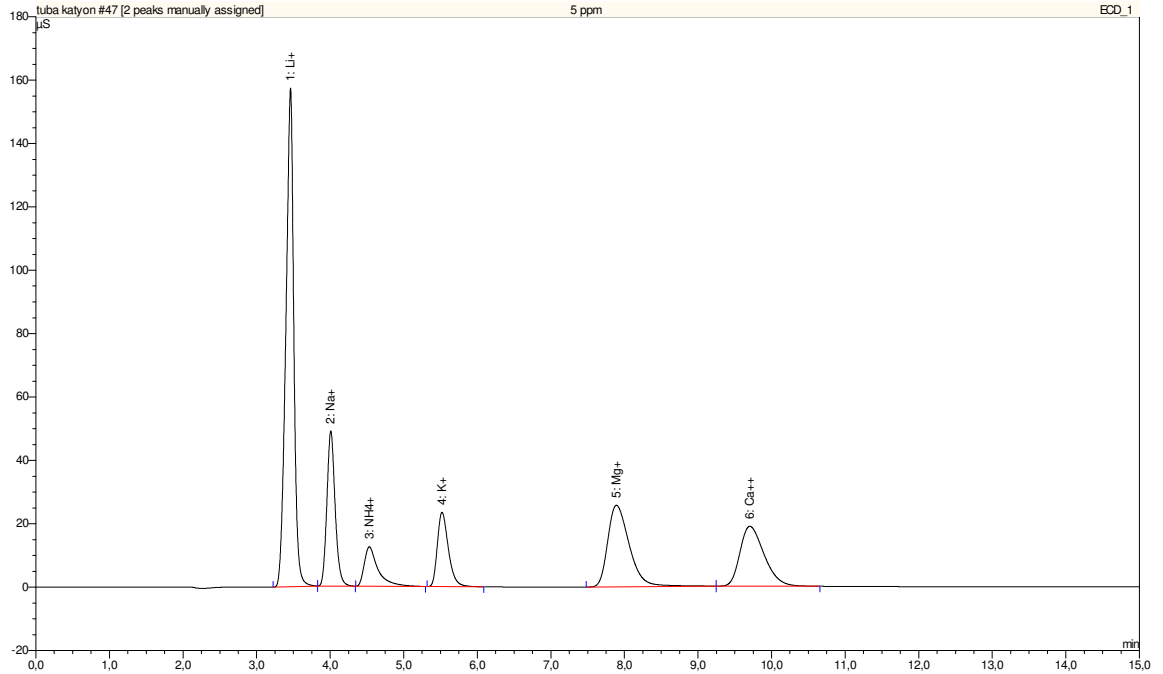
Anyonlar için 10 ppm'lik standarda ait kalibrasyon kromatogram örneği Şekil 6.9'da ve standarda ait kalibrasyon eğrileri Şekil 6.10'da verilmiştir. Katyonlar için 5 ppm'lik standarda ait kalibrasyon kromatogram örneği Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil.6.9.10 ppm'lik Standard Kromotogramı

Çizelge 6.4. Katyonlara Ait CRM 408 ve CRM 409 Analizi Verileri

	CRM 408			CRM 409		
	Deneyisel Değer	Sertifikalı Değer	% Hata	Deneyisel Değer	Sertifikalı Değer	% Hata
Na ⁺	0,9178	0,965	4,89	1,785	1,905	6,31
NH ₄ ⁺	0,419	0,378	10,79	1,633	1,908	14,42
K ⁺	0,090	0,089	1,01	0,159	0,166	4,46
Mg ⁺	0,145	0,149	2,68	0,315	0,298	5,84
Ca ²⁺	0,257	0,308	16,49	0,566	0,622	9,08



Şekil.6.10.5 ppm'lik Standard Kromotogramı

6.4.3. Dedeksiyon Limiti

Her bir iyonik bileşen için dedeksiyon limiti (D.L) hesaplanmıştır. Dedeksiyon limitinin hesaplanmasında örnekler kullanılmıştır. Hem anyonlar hem de katyonlar için 10 örnek seçilerek, örneklerdeki iyon derişimlerine karşılık gelen sinyal/gürültü (S/G) oranları hesaplanmıştır. S/G oranının 3 olduğu derişim dedeksiyon limiti olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.5'de her bir iyon için hesaplanan dedeksiyon limitleri verilmektedir.

Çizelge 6.5. İyonik Bileşenler İçin Dedeksiyon Limitleri

İyonlar	DL (ng/m ³)
Sodyum (Na ⁺)	0.98
Potasyum (K ⁺)	0.73
Amonyum (NH ₄ ⁺)	0.70
Magnezyum (Mg ⁺²)	0.27
Kalsiyum (Ca ⁺²)	0.31
Klor (Cl ⁻)	3.47
Nitrat (NO ₃ ⁻)	18.4
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	34.3

7. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında 2006 yılının Şubat ve Ağustos aylarında toplanan ince ve kaba partikül örneklerindeki iyon ve kütle derişimleri belirlenmiş, elde edilen derişimlerin meteorolojik parametrelerle ilişkileri incelenmiştir.

7.1. PM 2,5 ve PM 10 Kütle Derişimleri

Dichotomous örnekleyicisi ile toplanan örneklerdeki PM 2,5 ve PM 2,5–10 kütle derişimleri EPA'nın metodolojisine uygun olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$C_f = \frac{M_f}{V_f} \dots\dots\dots(7.1)$$

$$C_c = \frac{M_c}{V_t} - \left(\frac{V_c}{V_t} \right) \times C_f \dots\dots\dots (7.2)$$

$$C_t = C_{PM 2.5} + C_{PM 10-PM 2.5} \dots\dots\dots(7.3)$$

Cf= PM 2,5 kütlece konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Cc=PM10-PM2,5 kütlece konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_t= PM10 kütlece konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Mf= İnce partikül fraksiyon (fine fraction) filtresine toplanan kütle(μg)

Mc= Kaba partikül fraksiyon (coarse fraction) filtresine toplanan kütle(μg)

Vf= İnce partikül fraksiyonuna ulaşan hava hacmi (m^3)

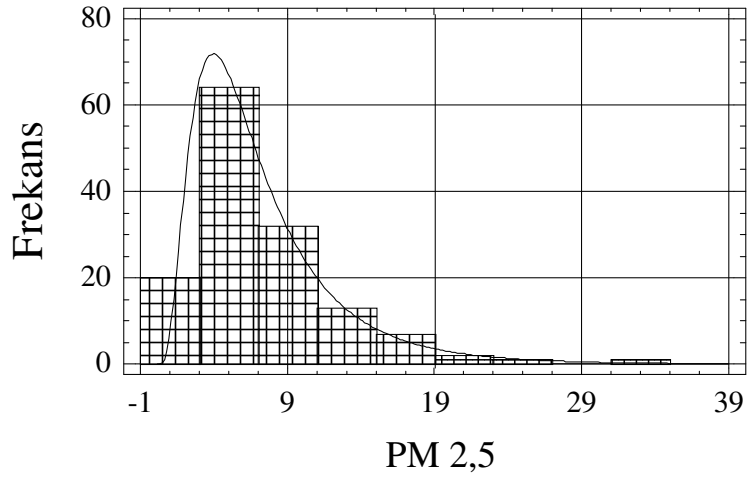
Vc= İnce partikül fraksiyonuna ulaşan hava hacmi (m^3)

Vt= Toplam hava hacmi (m^3 , ince partikül ve kaba partikül fraksiyonu toplamı)

PM 2,5 ve PM 10'un kütle derişimleri tarif edildiği şekilde belirlendikten sonra her iki modun dağılımı incelenmiştir.

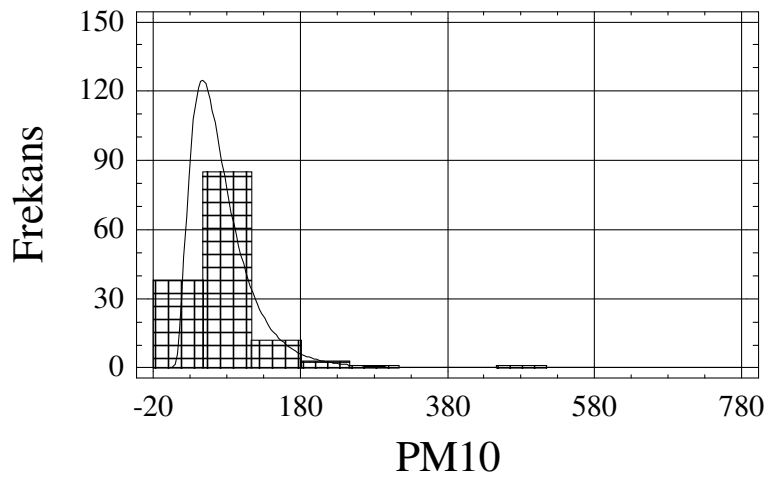
Atmosferik örneklerdeki kirleticiler genellikle log-normal dağılım göstermektedirler. Dağılımın log-normal olması kirleticilerin derişimlerini etkileyen birden fazla parametre olduğunun da bir göstergesidir. Bu çalışmada da PM 2,5 ve PM 10 kütle derişimlerinin dağılımı test edilmiştir. Şekil 7.1 ve 7.2’de hem PM 2,5 hem de PM 10 için frekans eğrileri görülmektedir. “ Uygunluk Testi” uygulandığında dağılımların log-normal olduğu görülmüştür.

PM 2,5 için histogram



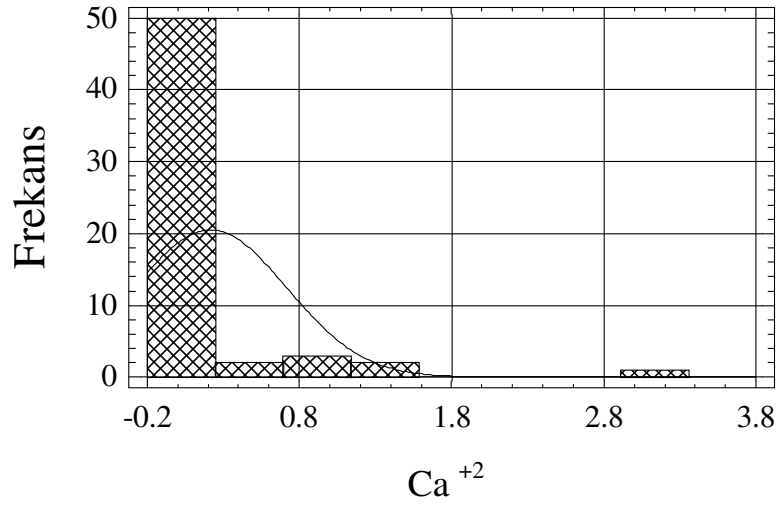
Şekil 7.1.PM 2,5 İçin Frekans Eğrisi

PM10 için histogram

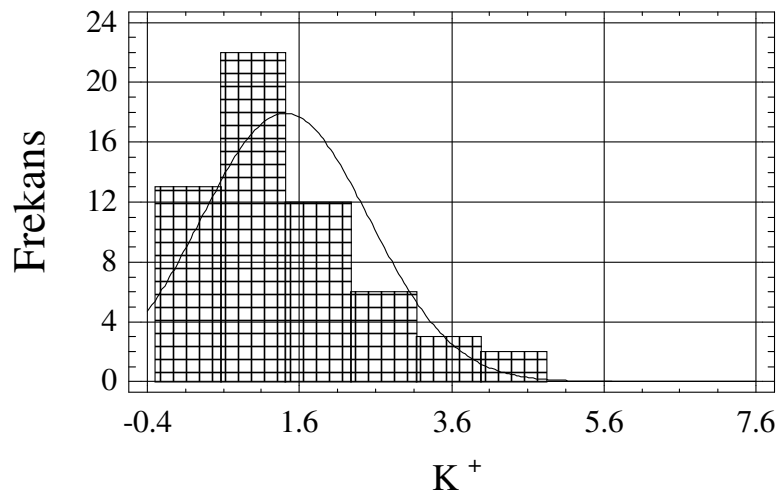


Şekil 7.2.PM 10 İçin Frekans Eğrisi

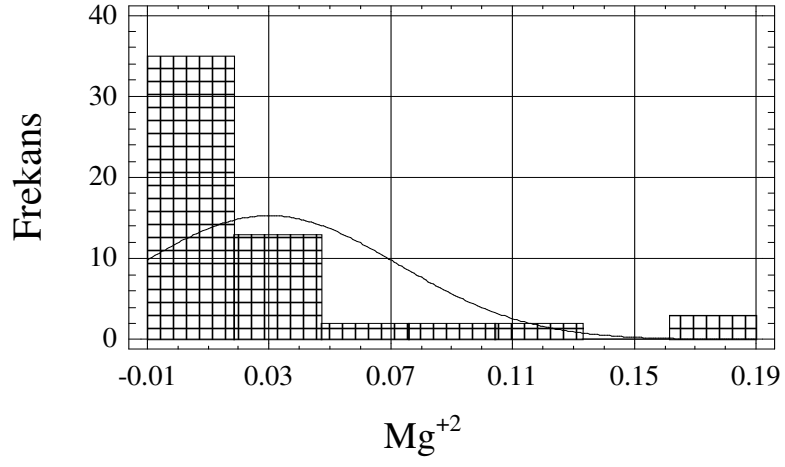
Çalışma kapsamında ölçülen anyon ve katyonların frekans dağılımları da Şekil 7.3 – 7.10’da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi tüm anyon ve katyonlar log-normal dağılım göstermektedir. Yapılan benzer çalışmalarda da anyon ve katyonların log-normal dağılım gösterdiği ifade edilmektedir (Karakaş 1997; Yatın 2000).



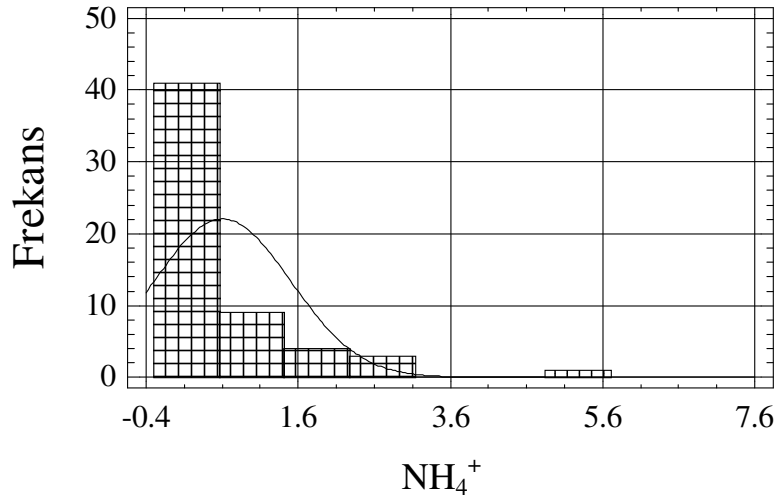
Şekil 7.3. Ca⁺² için Frekans Eğrisi



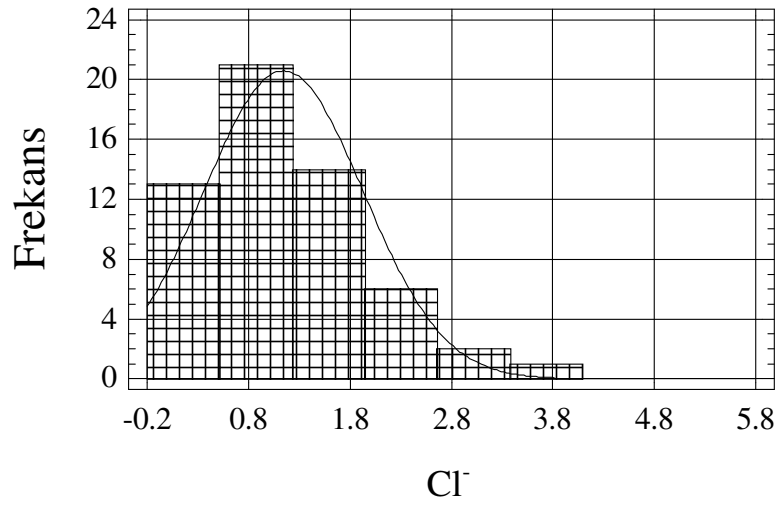
Şekil 7.4. K⁺ için Frekans Eğrisi



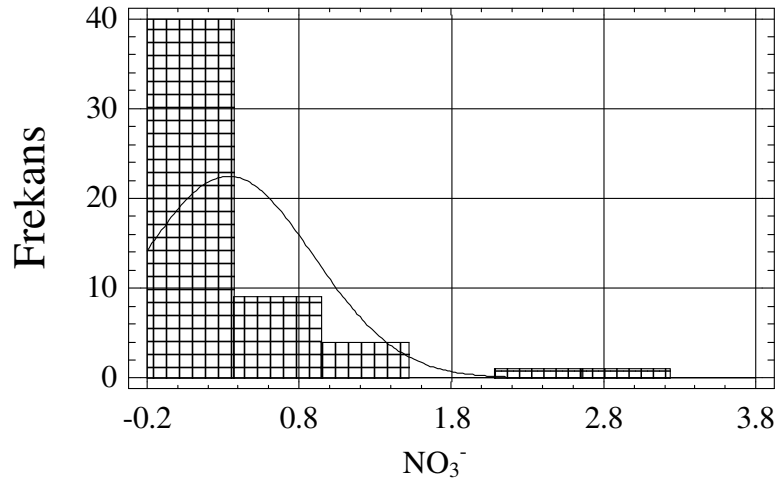
Şekil 7.5. Mg^{+2} için Frekans Eğrisi



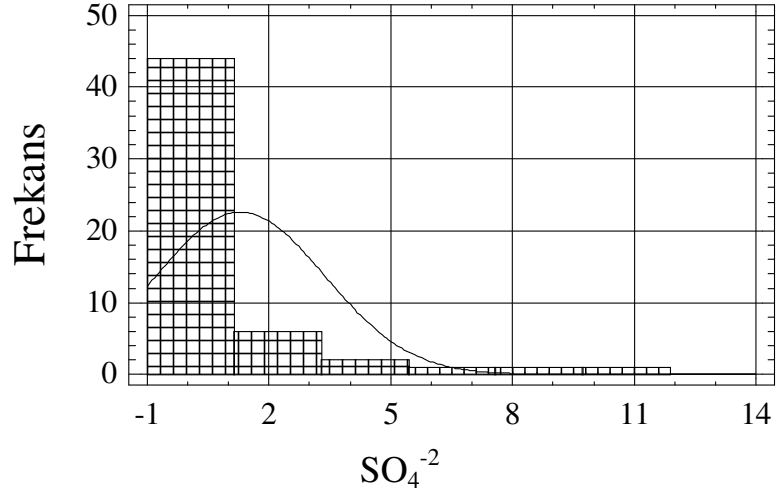
Şekil 7.6. NH_4^+ için Frekans Eğrisi



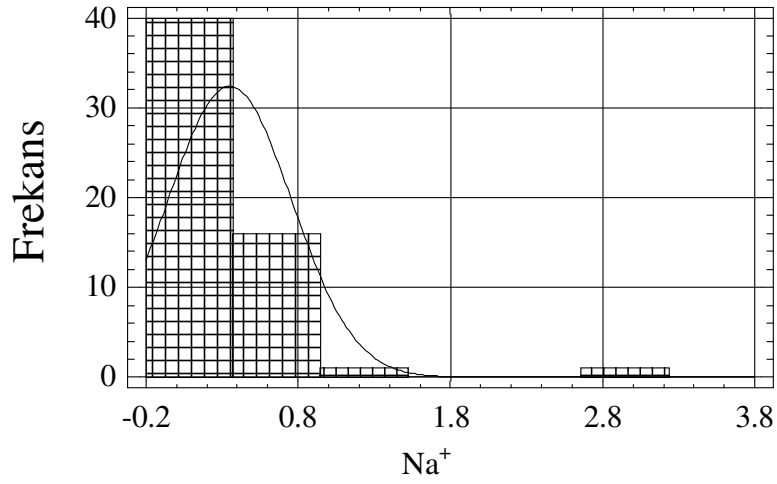
Şekil 7.7.Cl⁻ için Frekans Eğrisi



Şekil 7.8.NO₃⁻ için Frekans Eğrisi

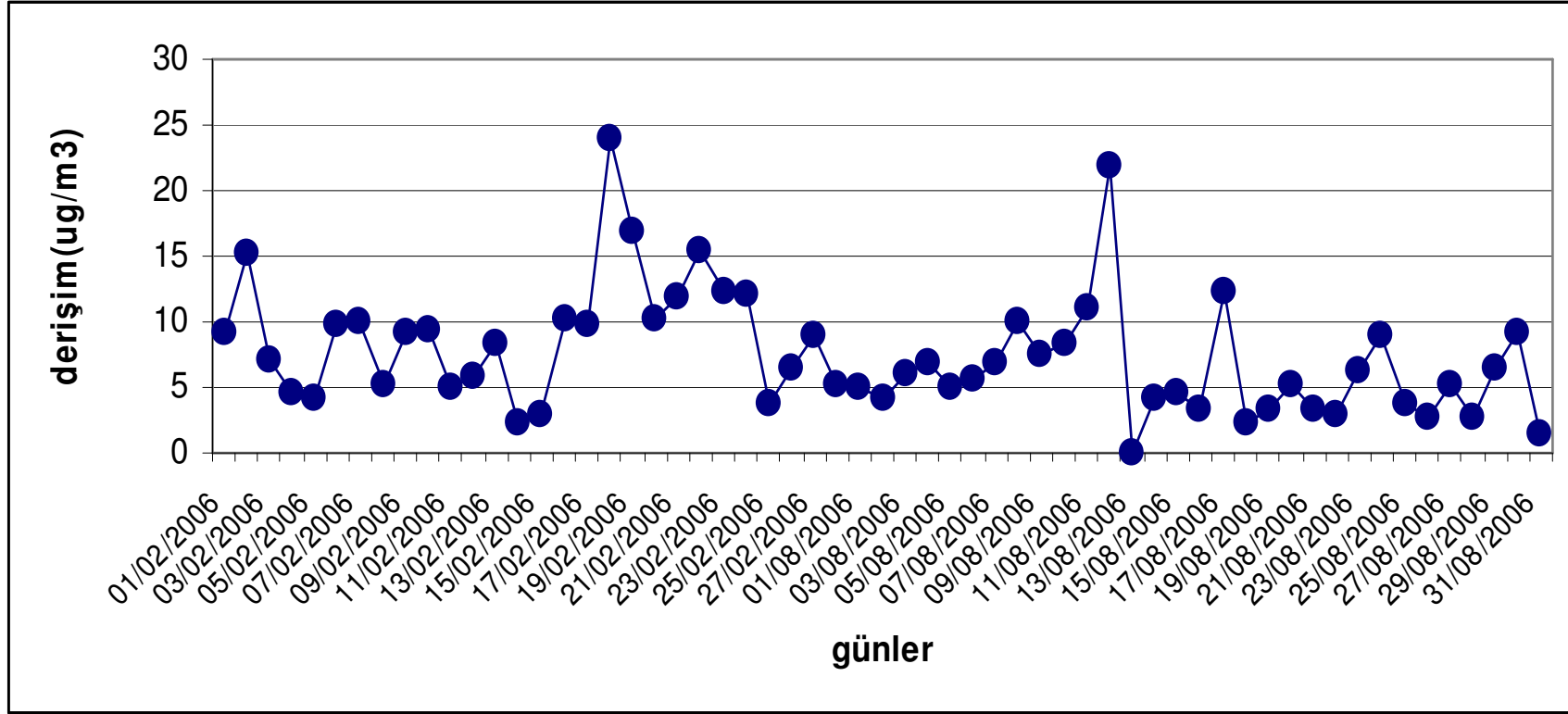


Şekil 7.9.SO₄²⁻ için Frekans Eğrisi

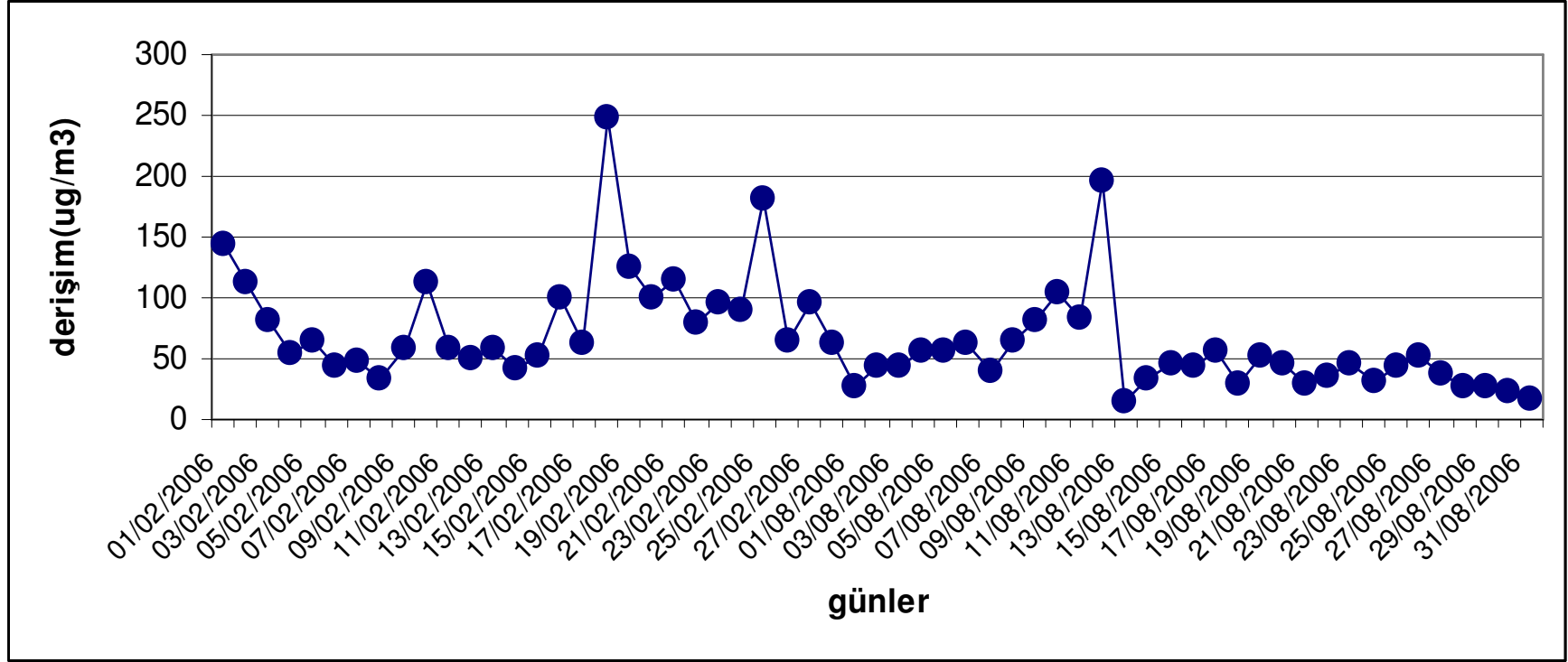


Şekil 7.10.Na⁺ için Frekans Eğrisi

PM 2,5 ve PM 2,5-10'un zamansal dağılımları Şekil 7.11 ve 7.12'de görülebilir. Grafiklerde tez kapsamında değerlendirilen aylara ait veriler sunulmaktadır.



Şekil 7.11. PM 2,5 Zamansal Değişimi



Şekil 7.12. PM 2,5-10 Zamansal Değişimi

İnce partikül fraksiyonuna ait veriler incelendiğinde hem PM 2,5 hem de PM 2,5–10 fraksiyonlarının derişimlerinin Ağustos ayından itibaren azaldığı görülmektedir. İnce partikül fraksiyonu için Şubat ve Ağustos ayı ortalamaları 9,12 ve 6,35 iken kaba partikül fraksiyonu için karşılık gelen derişimler 86,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 51,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dır (Çizelge 7.1).

İnce partikül fraksiyondaki Ağustos ayındaki azalma insan kaynaklı aktivitelerden en önemlisi olan evsel ısınmanın bu ay içerisinde olmamasıyla ilişkilendirilebilir. Öte yandan Ağustos ayı okulların da tatil olduğu bir ay olması nedeniyle kent trafiğinin azaldığı bir aydır. Kaba partikül fraksiyonu derişimleri ise doğal kaynaklar ile ilişkilendirilir (Yatın ve ark. 2000). Örneğin yaz aylarında yağışsız günlerde, toprak kaynaklı parçacıkların havada asılı halde kalması, havada kaba partiküllerin derişimlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu durumda Eskişehir için Ağustos ayında kaba partikül derişimlerinde artma gözlenmesi beklenebilir. Fakat havada asılı parçacıkların derişimleri yağış ve rüzgar hızı gibi parametrelerle de ilişkilidir. Ağustos ve Şubat aylarına ait meteorolojik veriler incelendiğinde Ağustos ayında Şubat ayına nazaran nem oranının yarı yarıya azaldığı, öte yandan rüzgar hızının Ağustos ayında artış gösterdiği görülmektedir. Haziran ve Temmuz ayı yağışlarına bakıldığında ise özellikle Temmuz ayı içerisinde yoğun yağışların olduğu dikkati çekmiştir. Haziran ve Temmuz aylarındaki yağışların yüzeyde asılı kalan kaba partikülleri süpürmesi, kaba partikül derişimlerinin azalmasına neden olmaktadır.

Çizelge 7.1. Örnekleme Periyodunda Ölçülen İnce Ve Kaba Partikül Kütle Derişimleri

	Şubat 2006		Ağustos 2006	
	İnce partikül ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kaba partikül ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	İnce partikül ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kaba partikül ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Aritmetik ortalama	9,12	86,8	6,35	51,2
Standard sapma	4,76	46,8	4,19	35,1
Minimum	2,32	34,4	1,39	14,3
Maksimum	23,9	248,9	21,8	195,9

Şubat ve Ağustos aylarına ait partikül madde derişimleri ve tüm meteorolojik parametreler Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3 de özetlenmektedir. İnce ve kaba partikül madde derişimlerinin çizelgedeki bazı parametrelerle değişimi ise Şekil 7.13–7.16 da verilmiştir.

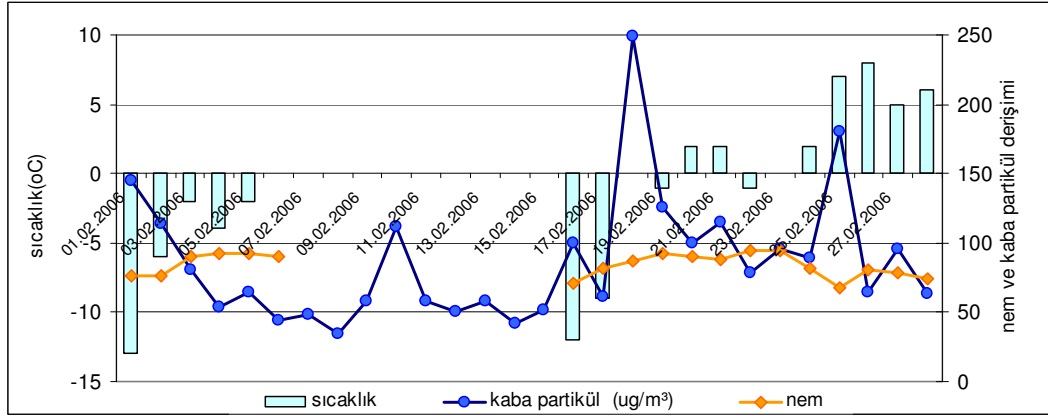
Çizelge 7.2 Şubat Ayına Ait Meteorolojik Parametreler Ve Partikül Madde Derişimleri

	İnce PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kaba PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Nem	Basınç (hPa)	Rüzgar hızı (km/s)
01 Şubat 06	9.24	144.36	-13	76	1022	3
02 Şubat 06	15.10	113.40	-6	76	1018	5
03 Şubat 06	7.11	80.48	-2	90	1015	4
04 Şubat 06	4.65	53.41	-4	92	1018	7
05 Şubat 06	4.26	63.95	-2	92	1020	10
06 Şubat 06	9.81	43.96	0	90	1011	16
07 Şubat 06	10.02	48.58				
08 Şubat 06	5.14	34.36				
09 Şubat 06	9.22	57.59				
10 Şubat 06	9.42	111.57				
11 Şubat 06	5.06	57.79				
12 Şubat 06	5.81	50.79				
13 Şubat 06	8.26	58.29				
14 Şubat 06	2.32	41.86				
15 Şubat 06	2.90	51.77				
16 Şubat 06	10.22	100.05	-12	71	1020	7
17 Şubat 06	9.79	61.51	-9	82	1018	13
18 Şubat 06	23.87	248.87	0	87	1020	15
19 Şubat 06	16.89	125.44	-1	92	1026	3
20 Şubat 06	10.18	100.07	2	90	1022	2
21 Şubat 06	11.95	114.79	2	88	1023	3
22 Şubat 06	15.36	78.67	-1	94	1024	5
23 Şubat 06	12.31	95.92	0	94	1022	6
24 Şubat 06	12.09	89.04	2	82	1019	10
25 Şubat 06	3.78	180.75	7	68	1012	10
26 Şubat 06	6.46	64.85	8	80	1013	4
27 Şubat 06	8.88	95.59	5	78	1010	10
28 Şubat 06	5.14	62.97	6	74	1014	13

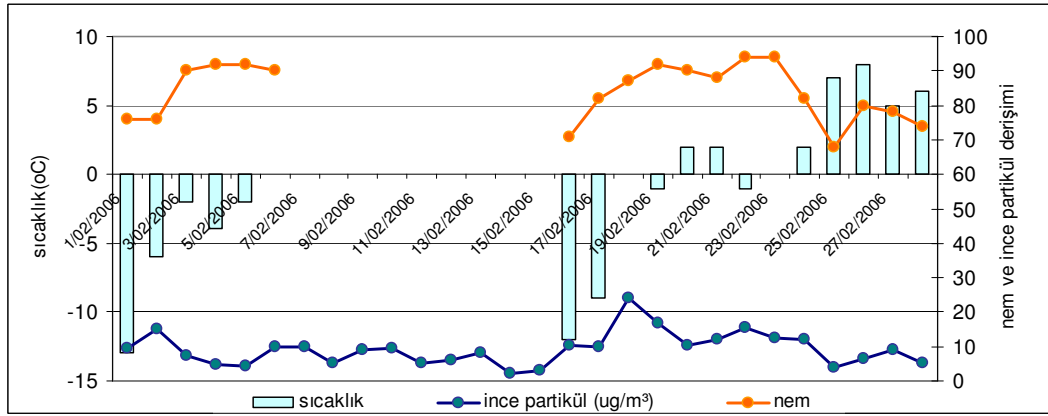
Çizelge 7.3. Ağustos Ayına Ait Meteorolojik Parametreler Ve Partikül Madde Derişimleri

	İnce PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kaba PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Nem	Basınç (hPa)	Rüzgar hızı (km/s)
01 Ağustos 06	5.04	26.73	24	43	1010	12
02 Ağustos 06	4.23	44.40	23	51	1010	6
03 Ağustos 06	6.14	43.57	24	53	1010	7
04 Ağustos 06	6.86	56.95	26	40	1010	8
05 Ağustos 06	5.06	56.69	28	27	1010	7
06 Ağustos 06	5.56	63.28	28	30	1010	9
07 Ağustos 06	6.96	38.92	27	44	1007	9
08 Ağustos 06	9.97	63.59	25	57	1004	11
09 Ağustos 06	7.59	81.97	22	54	1009	5
10 Ağustos 06	8.39	104.81	24	53	1013	10
11 Ağustos 06	11.06	83.29	25	41	1010	8
12 Ağustos 06	21.83	195.92	26	48	1010	10
13 Ağustos 06		14.32	26	55	1012	14
14 Ağustos 06	4.15	34.04	26	60	1012	13
15 Ağustos 06	4.55	44.96	26	53	1013	10
16 Ağustos 06	3.29	44.56	27	58	1012	11
17 Ağustos 06	12.24	57.26	28	59	1012	11
18 Ağustos 06	2.34	28.38	26	58	1012	12
19 Ağustos 06	3.33	51.41	26	40	1016	17
20 Ağustos 06	5.30	45.03	25	41	1018	9
21 Ağustos 06	3.23	28.37	24	43	1018	8
22 Ağustos 06	2.89	36.16	26	37	1014	8
23 Ağustos 06	6.15	45.73	25	55	1012	9
24 Ağustos 06	8.94	30.42	24	45	1014	12
25 Ağustos 06	3.84	43.66	23	46	1013	6
26 Ağustos 06	2.79	52.85	26	42	1010	7
27 Ağustos 06	5.22	37.47	24	40	1012	5
28 Ağustos 06	2.73	28.04	26	41	1011	9
29 Ağustos 06	6.48	26.90	23	50	1008	9
30 Ağustos 06	9.24	22.36	24	41	1013	4
31 Ağustos 06	1.39	16.56	22	51	1012	12

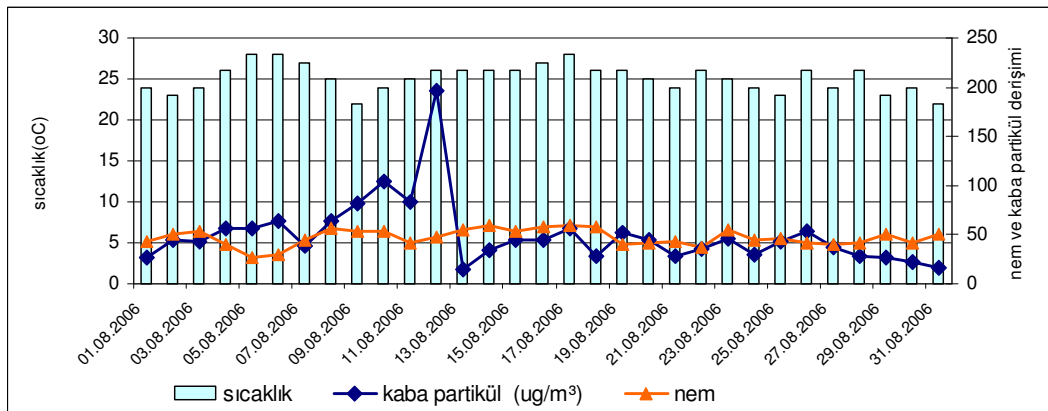
Şekil 7.13–7.16’da İnce ve kaba partikül madde derişimlerinin bazı meteorolojik parametrelerle ilişkisi gösterilmektedir. 6–16 Şubat tarihleri arasında veri alınamadığından bu tarihler grafiklerde görünmemektedir. Şubat ayı içerisinde özellikle sıcaklık değerleri salınım gösterirken Ağustos ayı içinde sıcaklıkta benzer bir salınım göze çarpmamaktadır.



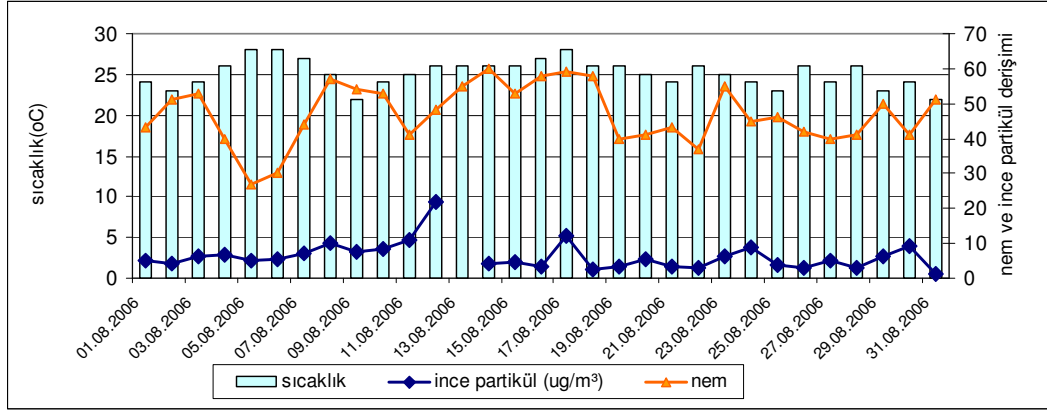
Şekil 7.13. Kaba Partikül Ve Bazı Meteorolojik Parametreler (Şubat 2006)



Şekil 7.14. İnce Partikül Ve Bazı Meteorolojik Parametreler (Şubat 2006)



Şekil 7.15. Kaba Partikül Ve Bazı Meteorolojik Parametreler (Ağustos 2006)



Şekil 7.16. İnce Partikül Ve Bazı Meteorolojik Parametreler (Ağustos 2006)

Şubat ve Ağustos aylarına ait ince ve kaba partikül derişimlerine bakıldığında ince partikül derişimlerinin Avrupa Birliğinin 2010 yılına kadar hedeflemiş olduğu $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'den (bir yıl içinde 35 defadan daha fazla aşılması gereken sınır değeri) düşük olduğu gözle çarpmaktadır.

Öte yandan PM 10 ($\text{PM}_{2.5} + \text{PM}_{2.5-10}$) ortalama değeri Avrupa Birliği standart değerinden ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bir yıl içinde 35 defadan daha fazla aşılması gereken sınır değeri) değerinden fazla olduğu dikkati çekmektedir.

7.2. İyon Veri Setinin Değerlendirilmesi

Partikül madde kütle derişimlerinin yanı sıra iyonik bileşenlerde belirlenmiştir. Bu kısımda iyon veri seti tartışılacaktır.

7.2.1. Örneklerdeki iyon derişimleri ve korelasyon analizi

Bu çalışma kapsamında Şubat ve Ağustos ayı verileri değerlendirilmiştir. Çizelge 7.4'de ince ve kaba partiküllerdeki iyon derişimlerinin ortalamaları ve standart sapmaları gösterilmektedir.

Çizelge 7.4. Şubat Ve Ağustos Aylarına Ait İnce Ve Kaba Partiküllerdeki İyon Derişimleri ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	PM _{2,5} (ince partikül)		PM _{2,5-10} (kaba partikül)	
	Şubat 2006	Ağustos 2006	Şubat 2006	Ağustos 2006
Cl ⁻	1,45±0,73	0,65±0,41	2,06±1,83	0,87±0,86
NO ₃ ⁻	0,33±0,50	0,27±0,50	3,45±2,3	0,79±0,45
SO ₄ ²⁻	0,89±0,88	1,43±2,47	8,21±5,6	4,14±1,94
Na ⁺	0,46±0,46	0,19±0,18	0,59±0,22	0,30±0,20
NH ₄ ⁺	0,55±0,70	0,61±0,93	2,39±1,46	1,30±0,70
K ⁺	1,88±1,03	0,72±0,50	2,44±1,15	1,12±1,05
Mg ²⁺	0,03±0,03	0,05±0,06	0,05±0,06	0,09±0,05
Ca ²⁺	0,18±0,29	0,23±0,56	0,47±0,62	0,91±1,29

Çizelge 7.4 değerlendirildiğinde hemen tüm iyonların derişimlerinin kaba fraksiyonda fazla olduğu görülmektedir. Öte yandan nitrat ve sülfat iyonlarının kaba fraksiyonda fazla olması dikkat çekicidir. Bu durum kentsel ortamlarda rastlanmayan bir durum değildir. Yanma kaynaklı olan nitrat ve sülfat parçacıklarının ince kısımda daha fazla olduğu bilinmektedir (Yatın ve ark. 2000; Tsiouridou ve ark. 2003). Nitrat ve sülfatın kaba partiküllerde fazla oluşu toprak kaynaklı olabileceklerine bir işaret olabilir. Fakat bu durumda da bu iyonların yaz aylarında derişimlerinin artması beklenir. Artan sıcaklık ile birlikte havada asılı durumda olan toprak kaynaklı parçacıkların derişimleri de artmaktadır. Fakat Çizelge 7.4 incelendiğinde kaba fraksiyondaki nitrat ve sülfatın özellikle yaz aylarında düşüşe geçtiği görülmektedir. Bu duruma açıklık getirebilmek amacıyla ince ve kaba partiküllerdeki iyon derişimleri için korelasyon analizi yapılarak Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Korelasyon matrisleri Çizelge 7.5–7.7’de verilmiştir.

Çizelge 7.5. Kaba Partikül Korelasyon Matrisi (Şubat Ve Ağustos Ayları)

	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Cl ⁻	1,000 0,53	0,469** 0,0053	0,386** 0,00454	0,272* 0,04853	0,610** 0,00050	0,620** 0,00053	0,120 0,39952	0,113 0,42053
NO ₃ ⁻		1,000 0,57	0,899** 0,00057	0,435** 0,00056	0,845** 0,00054	0,350* 0,00856	-0,79 0,56555	-0,110 0,41856
SO ₄ ²⁻			1,000 0,58	0,402** 0,00257	0,864** 0,00054	0,291* 0,02857	0,006 0,96756	0,031 0,81857
Na ⁺				1,000 0,57	0,453** 0,00153	0,380** 0,00456	0,061 0,65855	0,367** 0,00557
NH ₄ ⁺					1,000 0,54	0,455** 0,00153	-0,036 0,80053	-0,10 0,94153
K ⁺						1,000 0,57	-0,34 0,80555	0,108 0,42956
Mg ²⁺							1,000 0,57	0,728** 0,00055
Ca ²⁺								1,000 0,57

*: 0.05 anlamlılık derecesinde geçerli korelasyon

**: 0.01 anlamlılık derecesinde geçerli korelasyon

Çizelge 7.6. Kaba Partikül Korelasyon Matrisi (Şubat)

	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Cl ⁻	1,000 0,24	0,240 0,27123	0,285 0,18723	0,054 0,80024	0,428 0,06020	0,310 0,14024	0,261 0,24022	0,266 0,20824
NO ₃ ⁻		1,000 0,27	0,870** 0,00026	0,117 0,56227	0,874** 0,00024	0,019 0,92427	0,107 0,61225	0,35 0,86427
SO ₄ ²⁻			1,000 0,27	0,36 0,85927	0,879** 0,00023	0,092 0,64747	0,061 0,77225	0,35 0,86427
Na ⁺				1,000 0,28	0,237 0,26524	0,184 0,34928	0,152 0,45726	0,232 0,23528
NH ₄ ⁺					1,000 0,24	0,116 0,58824	0,041 0,85223	0,020 0,92624
K ⁺						1,000 0,28	0,023 0,91026	0,153 0,43628
Mg ²⁺							1,000 0,26	0,914** 0,00026
Ca ²⁺								1,000 0,28

*: 0.05 anlamlılık derecesinde geçerli korelasyon

**: 0.01 anlamlılık derecesinde geçerli korelasyon

Çizelge 7.7. İnce Partikül Korelasyon Matrisi (Şubat Ve Ağustos Ayları)

	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Cl ⁻	1,000 0,57	0,230 0,9554	0,138 0,32154	0,388** 0,00357	0,261* 0,05057	0,883** 0,00057	0,109 0,42256	0,086 0,52657
NO ₃ ⁻		1,000 0,55	0,762** 0,00053	0,137 0,31755	0,695** 0,00055	0,143 0,29855	0,531** 0,00055	0,408** 0,00255
SO ₄ ²⁻			1,000 0,55	0,149 0,27955	0,736** 0,00055	0,075 0,58755	0,790** 0,00054	0,712** 0,00055
Na ⁺				1,000 0,58	0,346** 0,00858	0,488** 0,00058	0,328* 0,01357	0,492** 0,00058
NH ₄ ⁺					1,000 0,58	0,074 0,57958	0,677** 0,00057	0,526** 0,00058
K ⁺						1,000 0,58	0,059 0,66557	0,126 0,34758
Mg ²⁺							1,000 0,57	0,790** 0,00057
Ca ²⁺								1,000 0,58

*: 0.05 anlamlılık derecesinde geçerli korelasyon

** : 0.01 anlamlılık derecesinde geçerli korelasyon

Korelasyon matrisleri incelendiğinde SO₄²⁻ iyonunun NH₄⁺ ve NO₃⁻ iyonları ile güçlü korelasyonları olduğu görülmüştür. Şubat ayında artan NO₃⁻ ve SO₄²⁻ iyonlarının NH₄⁺ ile korelasyon göstermesi, kente yakın tarımsal bölgelerdeki tarımsal aktivitelerin bir kaynak olabileceğini düşündürmektedir. Şubat ayında pancar ve buğday tarlalarının gübrenmesi, NO₃⁻ ve SO₄²⁻ iyonlarındaki artışı da açıklamaktadır. Zira örnekleme bölgesine birkaç kilometre uzaklıkta pek çok tarımsal arazi bulunmaktadır. Gübre ise kaba partikül için bir kaynak oluşturduğundan kısa mesafede bu partiküller örnekleme noktasına taşınmaktadır. Ayrıca kışın hakim rüzgarlar doğu, güney doğu tarafından esmektedir ve bu yönde pek çok tarım arazisi bulunmaktadır. Tarım arazilerinden kaynaklanan partiküller kışın hakim rüzgarların etkisiyle taşınmaktadır.

7.2.2. Anyon katyon kütle denkliği

Partikül madde yapısındaki suda çözünür bileşenler belirlendiğinde ve anyon ve katyon derişimleri eşdeğer derişimlere dönüştürüldüğünde, anyon eşdeğer derişimlerinin katyon eşdeğer derişimlere eşit olması beklenir. Şubat ve

Ağustos ayı için elde edilen $\mu\text{g}/\text{m}^3$ derişim değerleri ilk olarak $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ 'e dönüştürülmüş ve daha sonra kütle denklęi kurulmuştur. Kullanılan eşitlik aşığıdaki şekilde gösterilebilir.

$$\sum \text{ anyon (eşdeğer derişim)} = \sum \text{ kation (eşdeğer derişim)} \quad (7.4)$$

Tüm örneklerdeki anyon ve kasyonlar için eşdeğer (eşd) kütleler aşığıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\sum (\mu\text{moleşd Cl}^- + \mu\text{moleşd NO}_3^- + \mu\text{moleşd SO}_4^{2-}) = \sum (\mu\text{moleşd Na}^+ + \mu\text{moleşd K}^+ + \mu\text{moleşd NH}_4^+ + \mu\text{moleşd Mg}^{+2} + \mu\text{moleşd Ca}^{+2}) \quad (7.5)$$

Örneklerdeki eşdeğer anyon ve kation derişimleri ince ve kaba partiküller için hesaplanarak Çizelge 7.8'de gösterilmiştir.

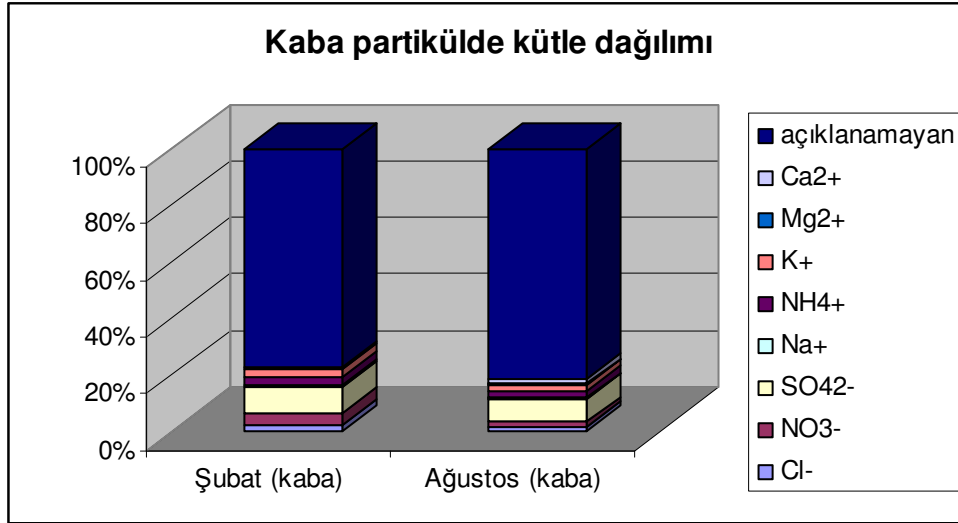
Çizelge 7.8. İnce Ve Kaba Partiküllerde Kütle Denklęi

	$\sum \text{ Anyon } \mu\text{moleşd} / \sum \text{ Kation } \mu\text{moleşd}$
İnce Partikül	0,74
Kaba Partikül	0,94

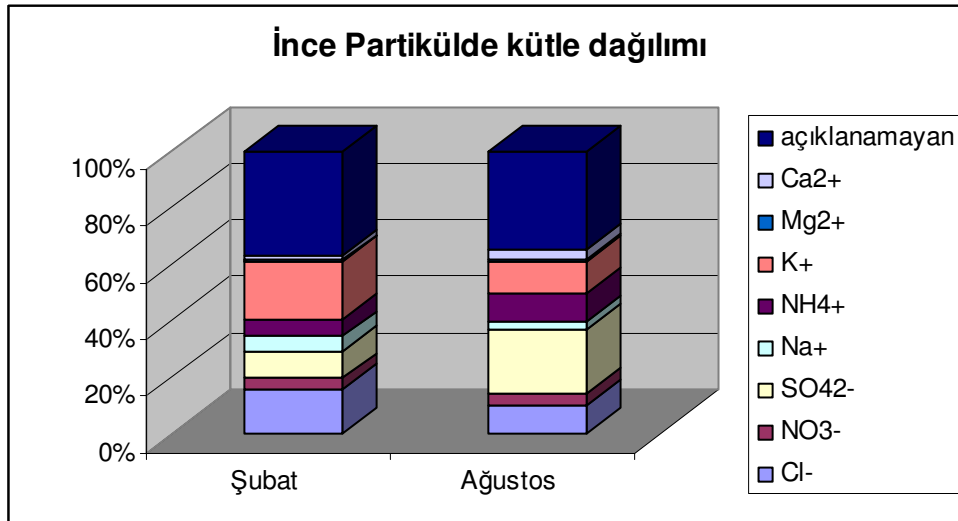
Görüldüğü üzere kaba kısımdaki anyon ve kation kütleleri birbirine eşit çıkmaktadır. Öte yandan ince kısımda anyon açısından eksiklik göze çarpmaktadır. Bu durum ölçümü gerçekleştirilmeyen organik asitlerin ve bikarbonat iyonu varlığı ile açıklanabilir (Karakaş ve Tuncel 1997; Tsitouridou ve ark. 2003).

Şekil 7.17 ve 7.18'de PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} fraksiyonundaki iyon derişimlerinin katkısı aylık bazda görülmektedir. Grafikler, analiz edilen örneklerin ortalama değerleri alınarak oluşturulmuştur. İnce partikül dağılımına bakıldığında toplam kütlede yaklaşık % 65'e yakın bir kısmının iyon bileşenlerle açıklandığı görülmektedir. Öte yandan benzer durum kaba fraksiyon için geçerli değildir. İyon derişimleri toplam kütlede ancak % 20'sini açıklamaktadır. Partikül maddenin tümüyle karakterize edilebilmesi için metal derişimlerinin

belirlenmesinin yanında elemental ve organik karbon miktarlarının da belirlenmesi gerekmektedir.



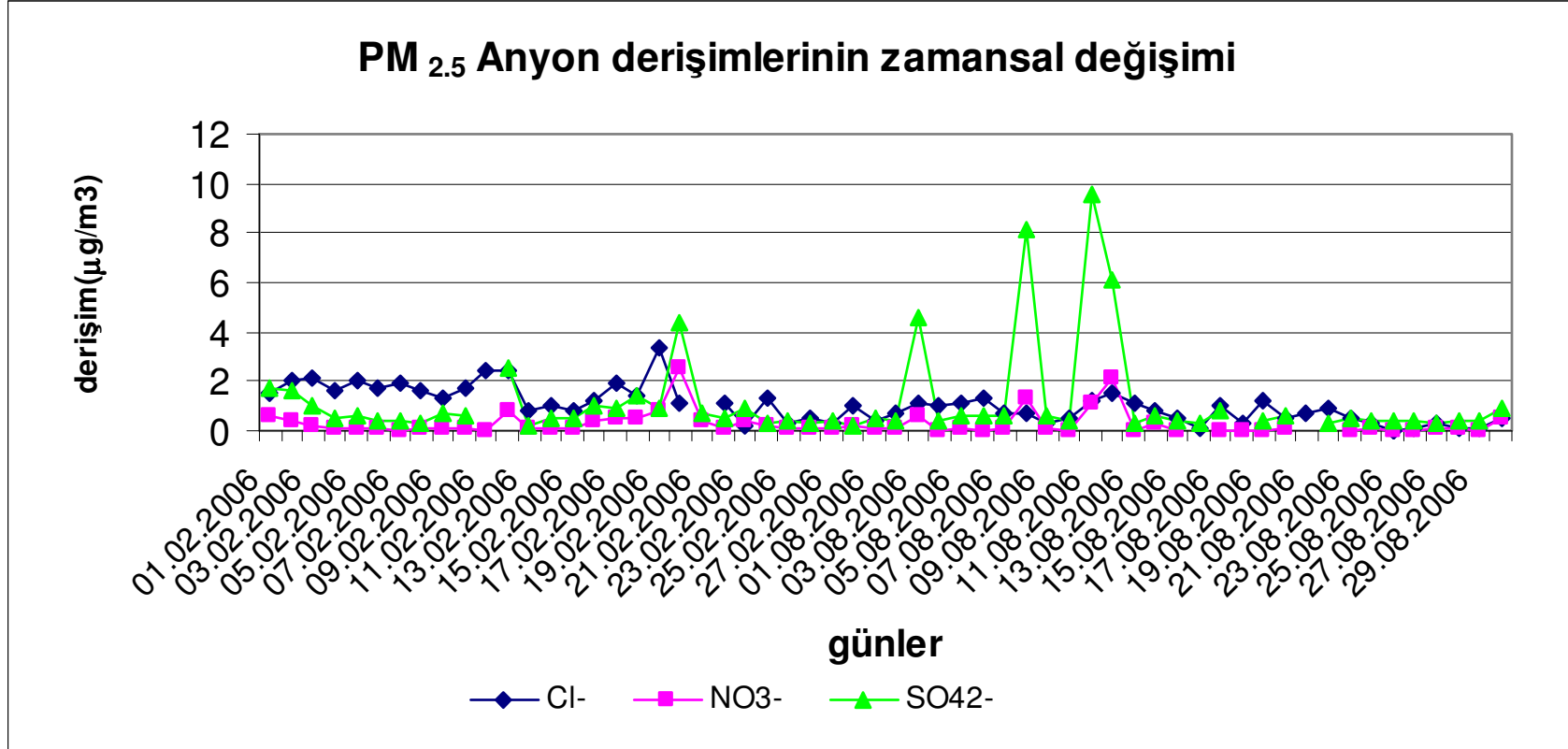
Şekil 7.17. Kaba Fraksiyondaki Kütle Paylaşımı



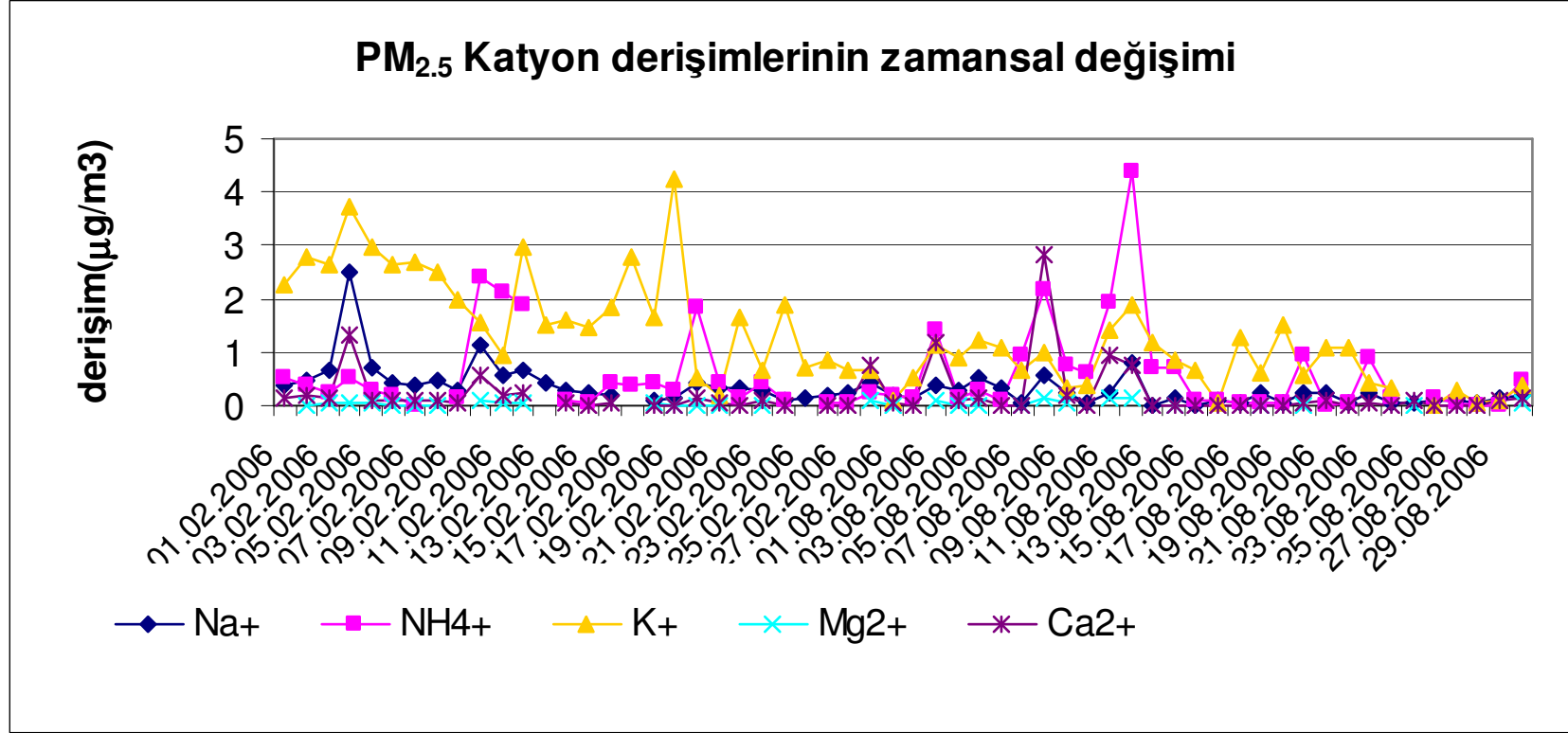
Şekil 7.18. İnce Fraksiyondaki Kütle Paylaşımı

7.3. İyon Derişimlerinin Zamansal Değişimi

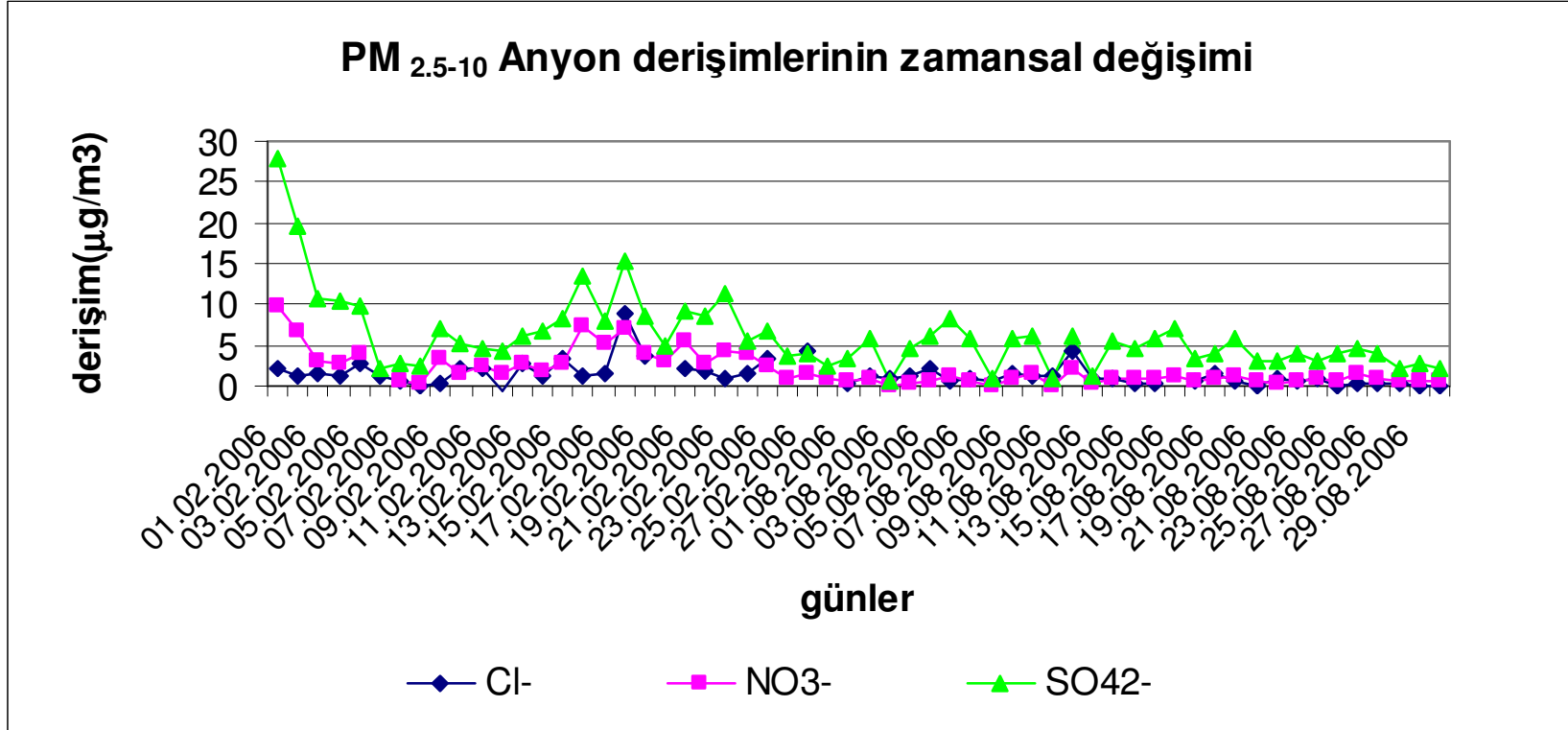
Şubat ve Ağustos aylarında ölçülen iyon derişimlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 7.19 -7.22'de görülmektedir.



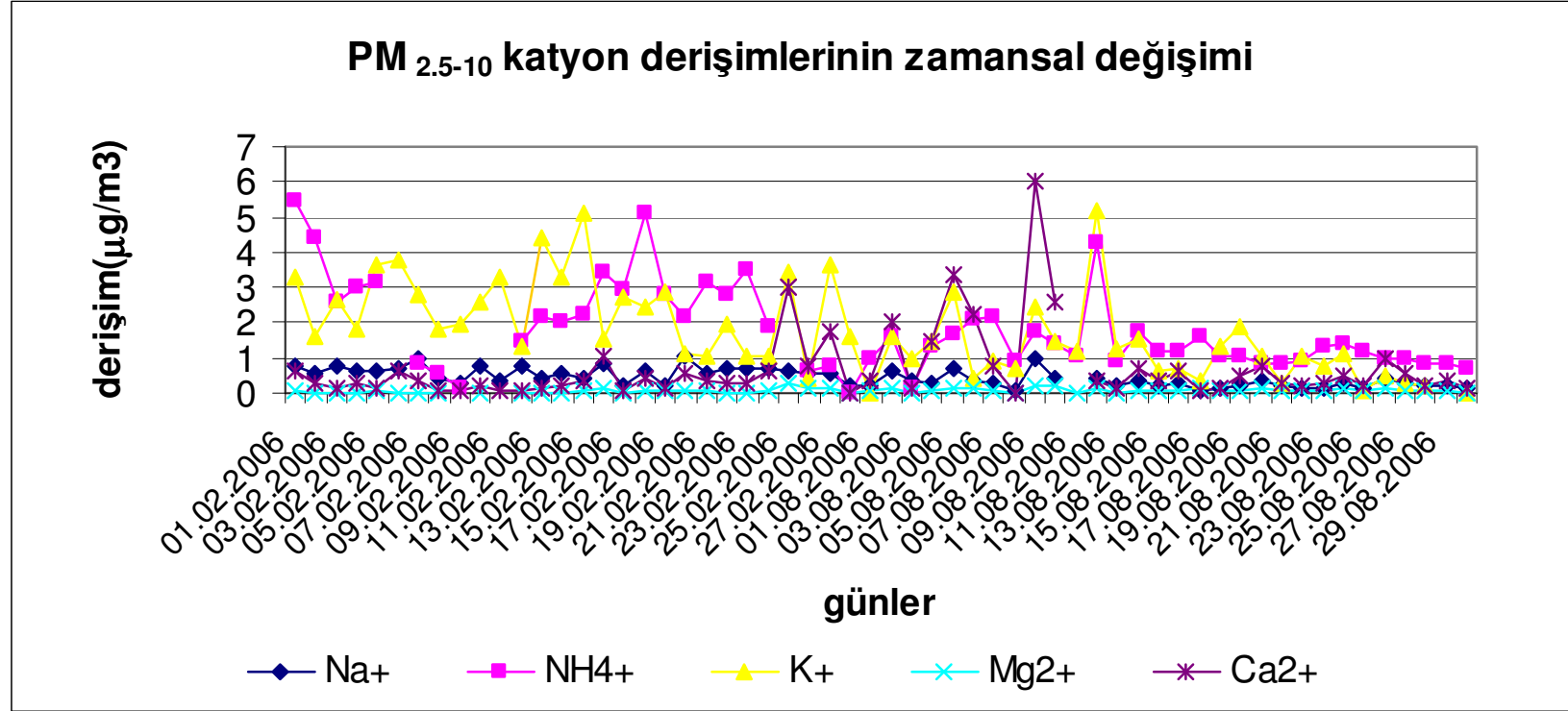
Şekil 7.19. PM_{2.5}'da Ölçülen Anyon Derişimleri



Şekil 7.20. PM 2,5'da Ölçülen Katyon Derişimleri

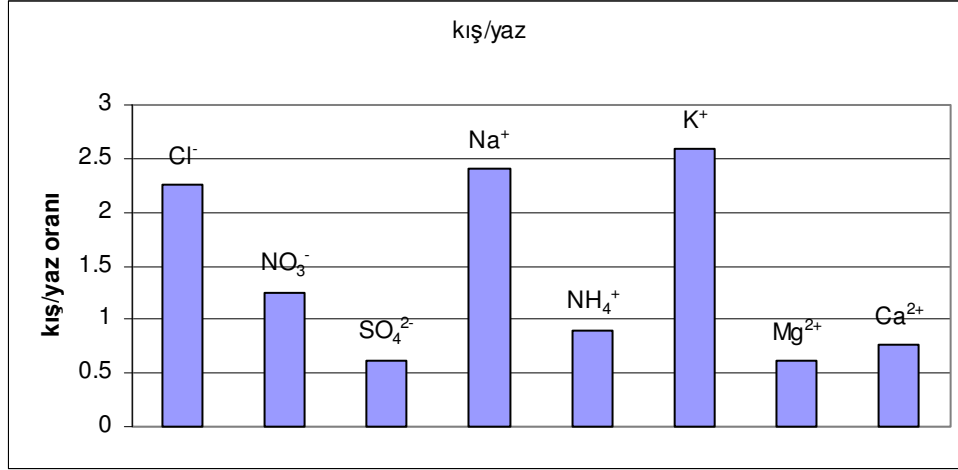


Şekil 7.21. PM_{2.5-10}'da Ölçülen Anyon Derişimleri

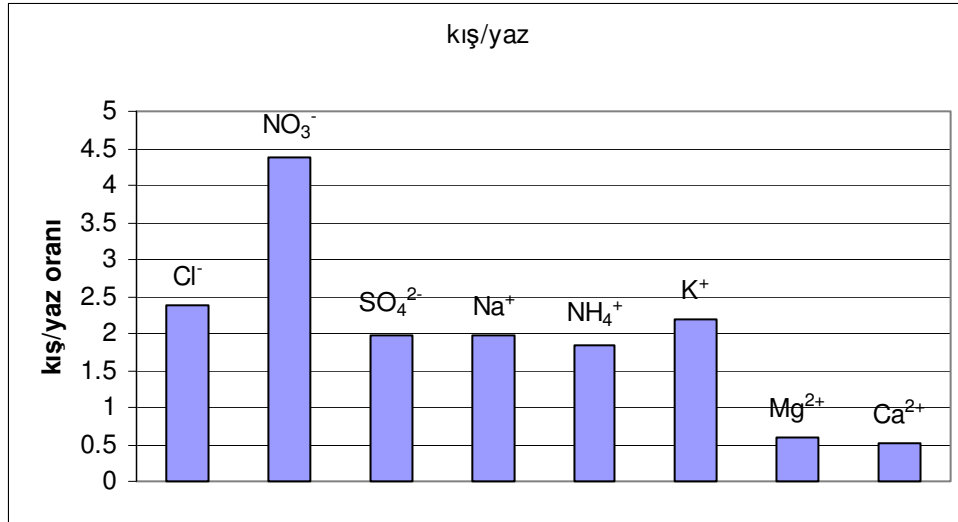


Şekil 7.22. PM_{2.5-10}'da Ölçülen Katyon Derişimleri

Örneklerdeki iyon derişimlerinin zamana bağlı değişimlerini daha iyi inceleyebilmek için Şekil 7.23 ve Şekil 7.24’de örneklerdeki derişimlerin kış/yaz oranları hesaplanmıştır. İnce fraksiyondaki Cl^- , Na^+ ve K^+ , kaba fraksiyondaki Mg^{2+} ve Ca^{2+} dışındaki tüm iyonlar Şubat ayında, Ağustos ayından yaklaşık 2 kat fazla derişimde bulunmuştur.



Şekil 7.23. İnce Fraksiyondaki Yaz Ve Kış İyon Derişimleri Oranı



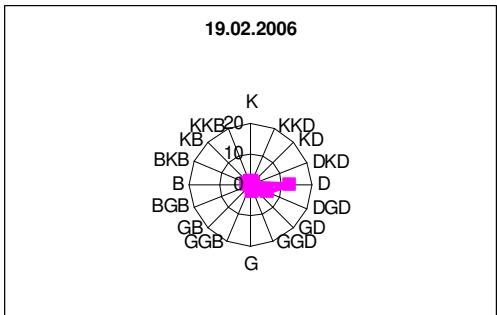
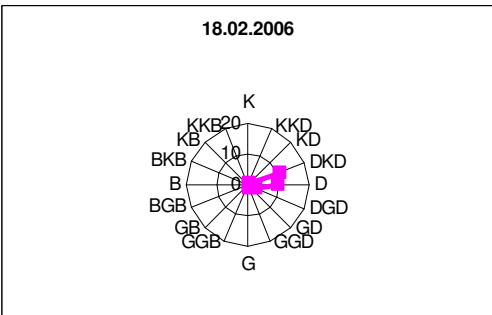
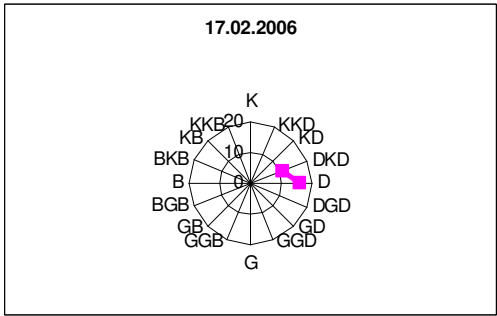
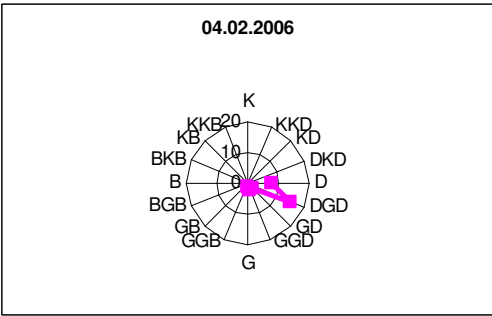
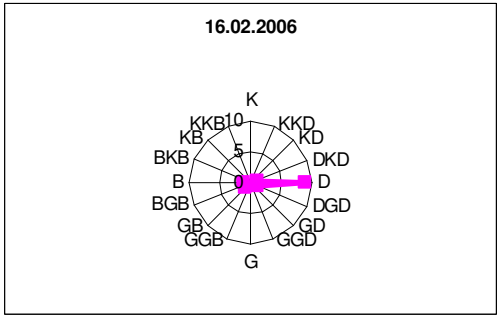
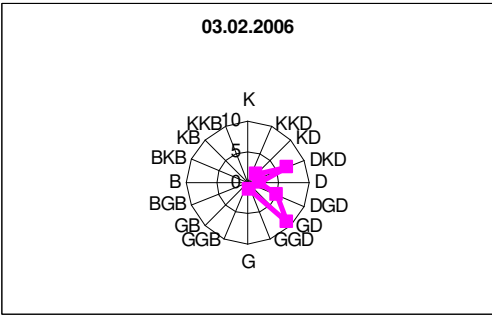
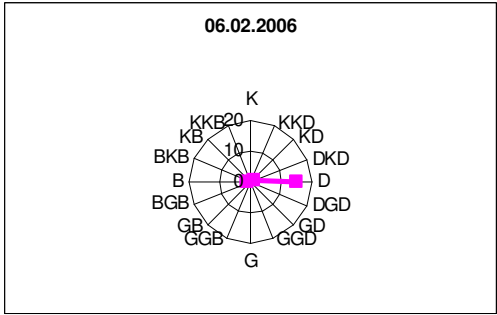
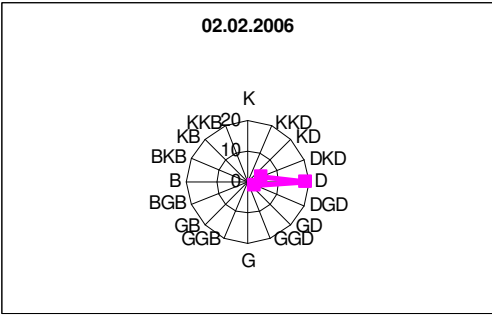
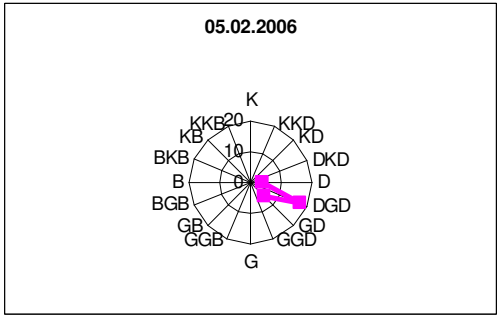
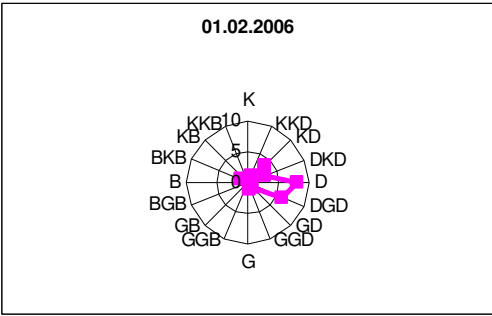
Şekil 7.24. Kaba Fraksiyondaki Yaz Ve Kış İyon Derişimleri Oranı

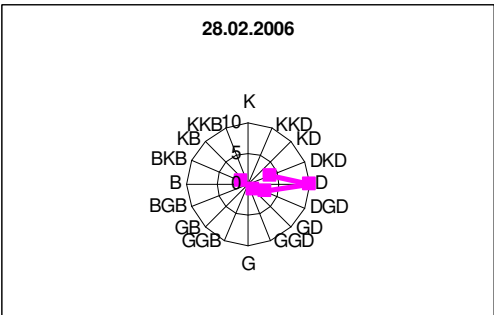
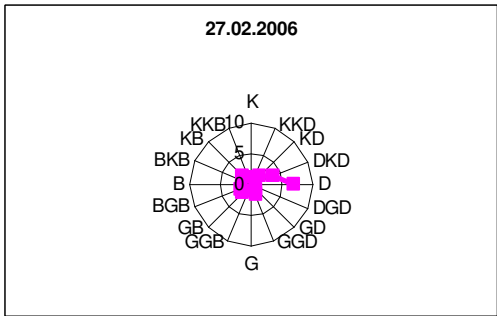
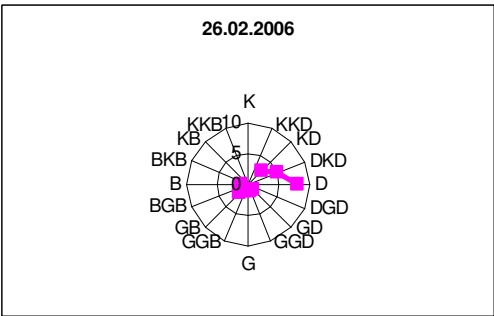
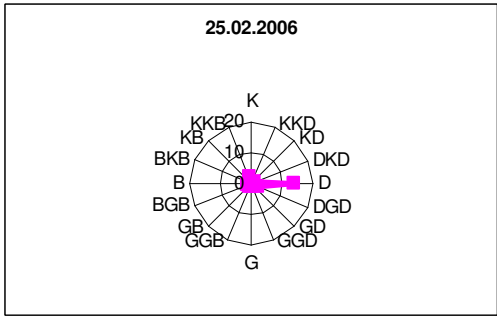
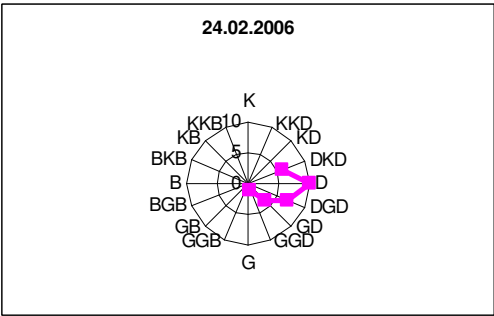
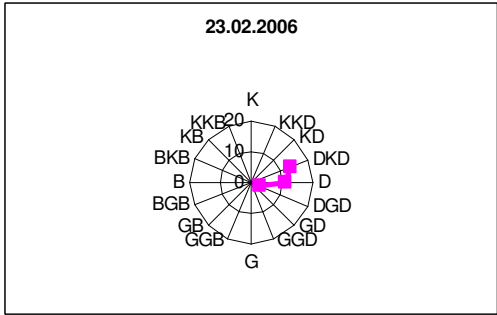
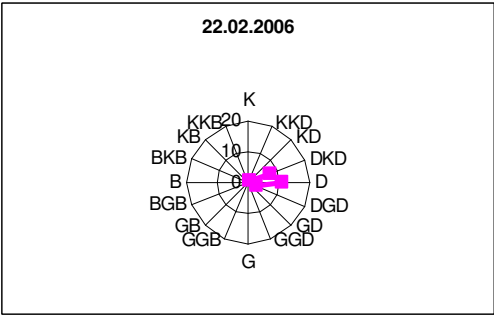
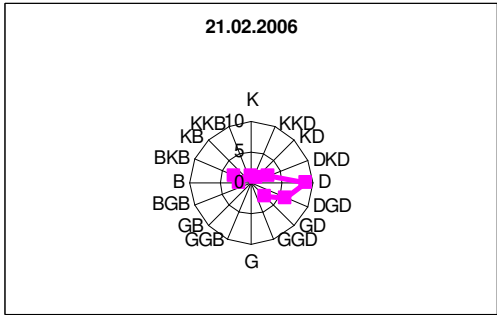
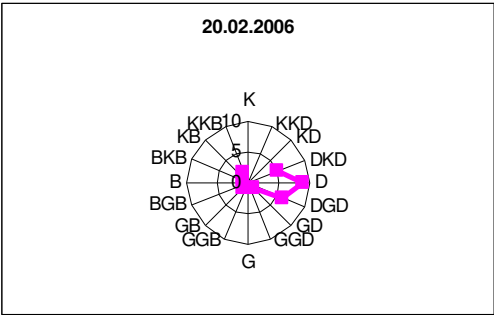
Partikül madde bileşenlerin derişimlerinin kış aylarında artması, kışın artan evsel ısınmanın kirleticiler için önemli bir kaynak olduğunun göstergesidir. Nitekim klor ve potasyumun kömür yanması sonucu açığa çıkan bileşenler olduğu bilinmektedir (Echalar ve ark.1995; Wang ve Shooter 2001). Klor ve potasyumun

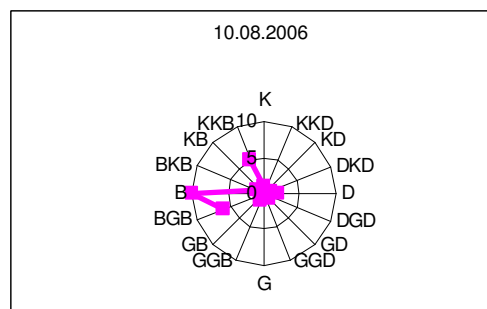
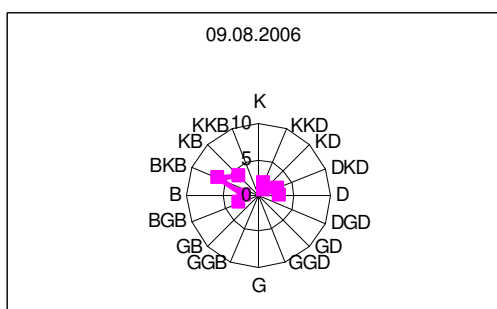
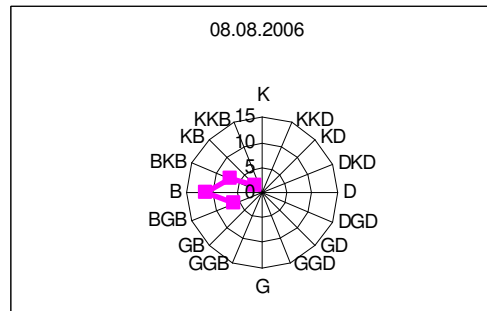
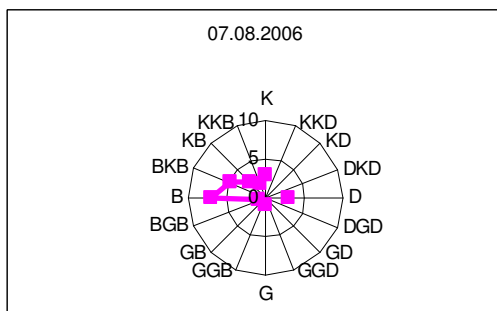
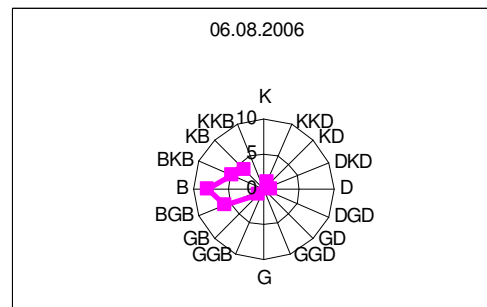
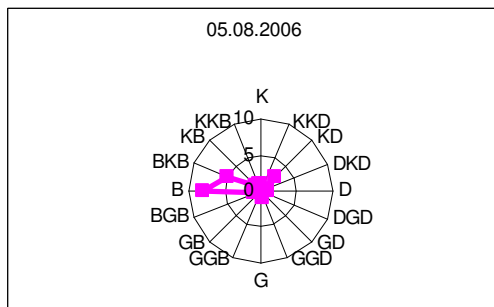
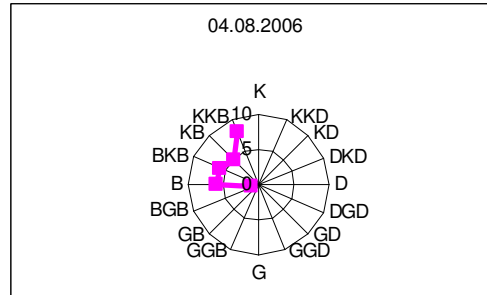
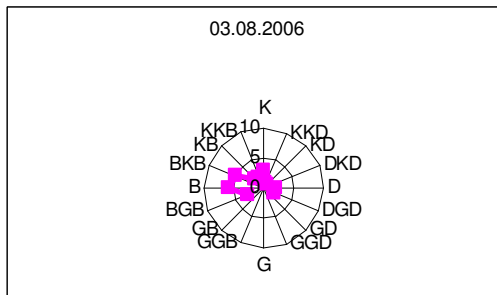
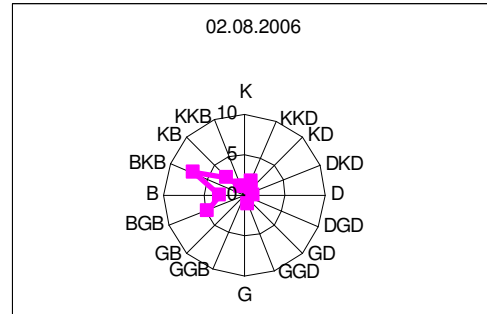
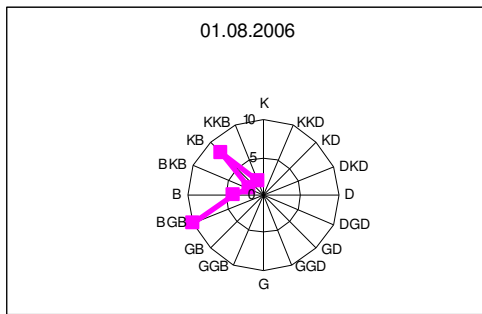
her iki fraksiyonda da şubat ayında yüksek çıkması örnekleme alanı yakınındaki kömürle ısınan konutların emisyonlarının etken olduğunu göstermektedir. Öte yandan şubat ayında Na^+ ve Cl^- derişimlerinin her iki fraksiyonda da Ağustos ayından iki kat fazla çıkması kışın buzlanmayı engellemek için yapılan tuzlama çalışmalarlarıyla da ilişkilendirilebilir. Toprak kaynaklı bileşenlerin derişimleri taşıt trafiği ve oluşan türbilans nedeniyle artmaktadır.

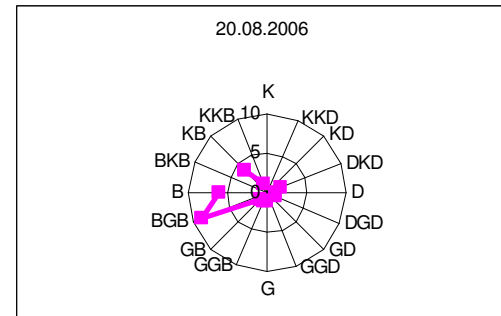
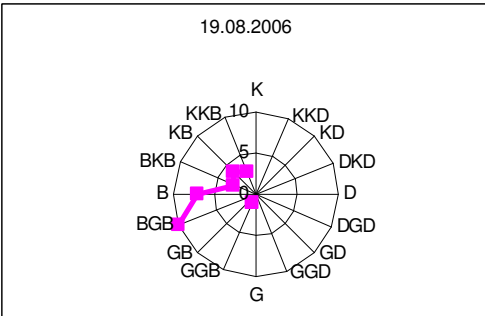
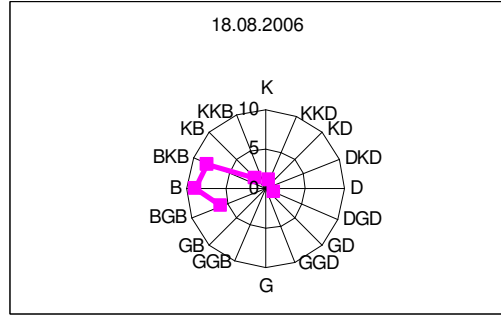
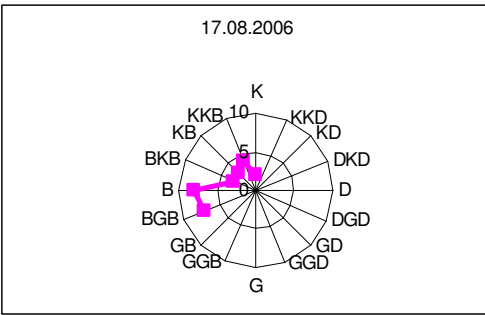
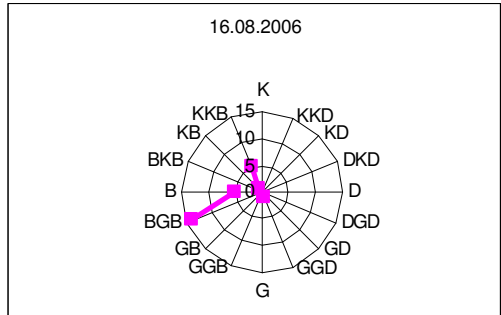
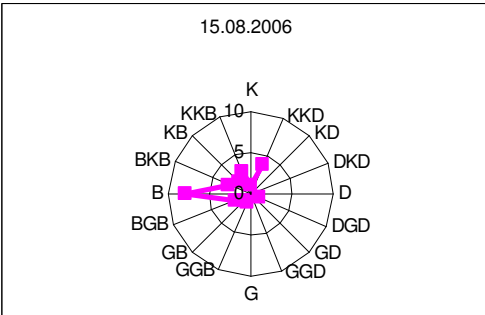
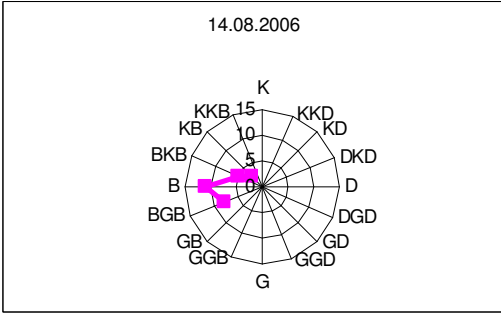
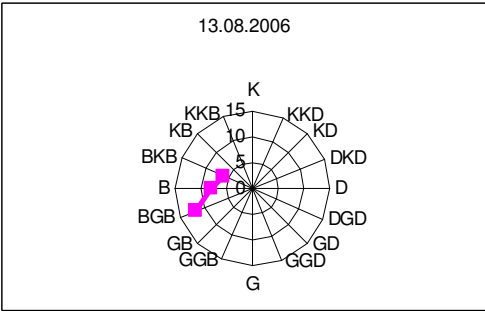
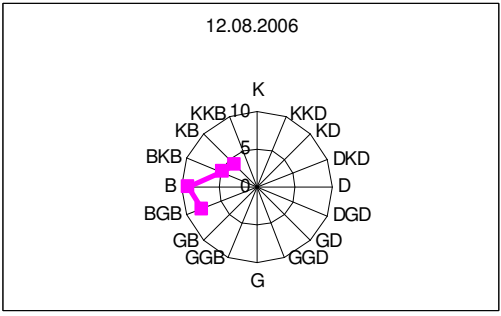
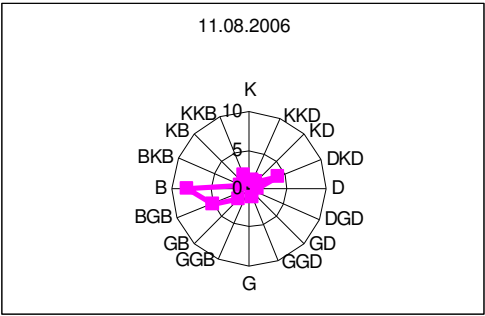
7.4. İyonik Derişimlerin Meteorolojik Parametrelerle İlişkilendirilmesi

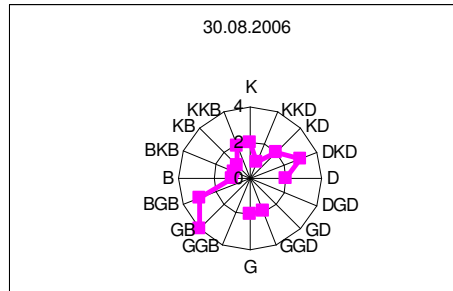
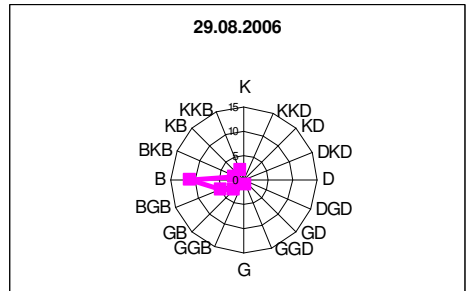
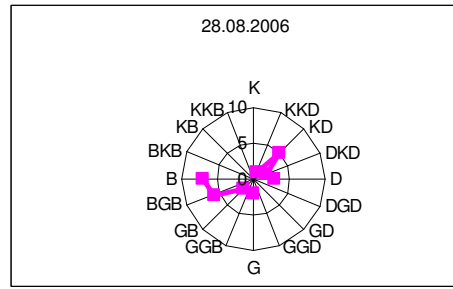
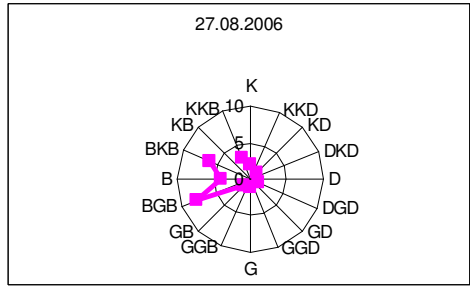
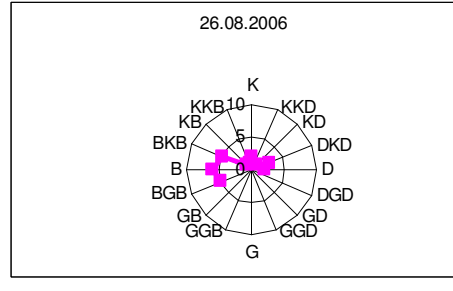
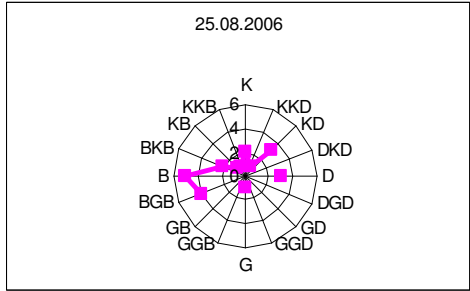
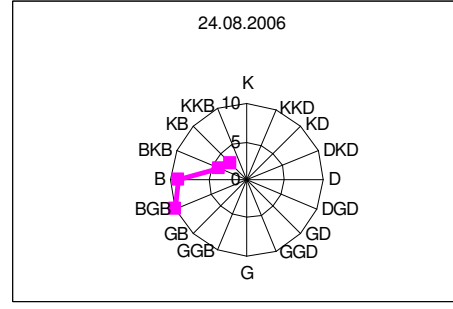
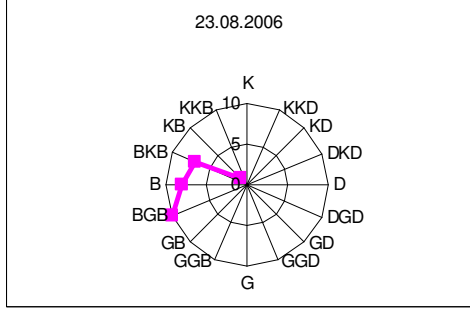
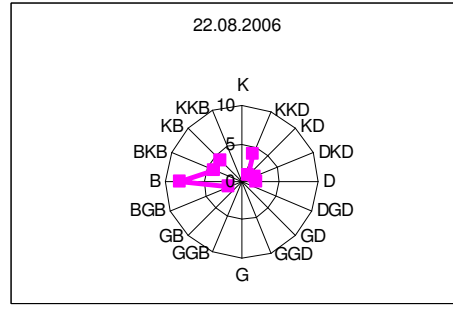
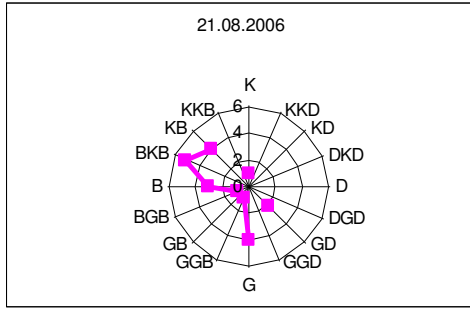
Partikül madde yapısındaki kirletici bileşenler lokal meteorolojik parametrelerden oldukça etkilenmektedirler. Bu nedenle örnekleme günlerine ait rüzgar gülleri oluşturulmuştur (Şekil7.25).











Şekil 7.25. Örnekleme Günlerine Ait Rüzgar Gülleri

Rüzgar gülleri incelendiğinde Şubat ve Ağustos aylarında rüzgar yönündeki değişim göze çarpmaktadır. Ağustos ayı içinde rüzgar sıklıkla Batı, Kuzeybatı yönünden eserken, Şubat ayında Doğu, Güneydoğu yönlerinden esmektedir. Eskişehir'in doğusunda Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi ve tarımsal araziler bulunurken, batısında seramik ve çimento sanayi tesisleri mevcuttur.

Günlük bazda elde edilen rüzgar güllerinden sonra daha kantitatif bir sonuç elde edebilmek için rüzgar sektör analizi yapılmıştır. Zira alıcı ortamdaki derişimler sadece rüzgar yönüyle değil her sektörden esen rüzgarın frekansıyla da ilişkilidir. Her rüzgar sektörünün örnekleme alanındaki derişimlere olan katkısını inceleyebilmek için Vossler ve ark.(1989) tarafından kullanılan prosedür kullanılmıştır (7.6).

$$\frac{C_{kj}}{C_k} = \frac{1}{N} \sum \frac{C_{ik} * F_j}{C_k} \quad (7.6)$$

Eşitlikte

F_j: rüzgar frekansı,

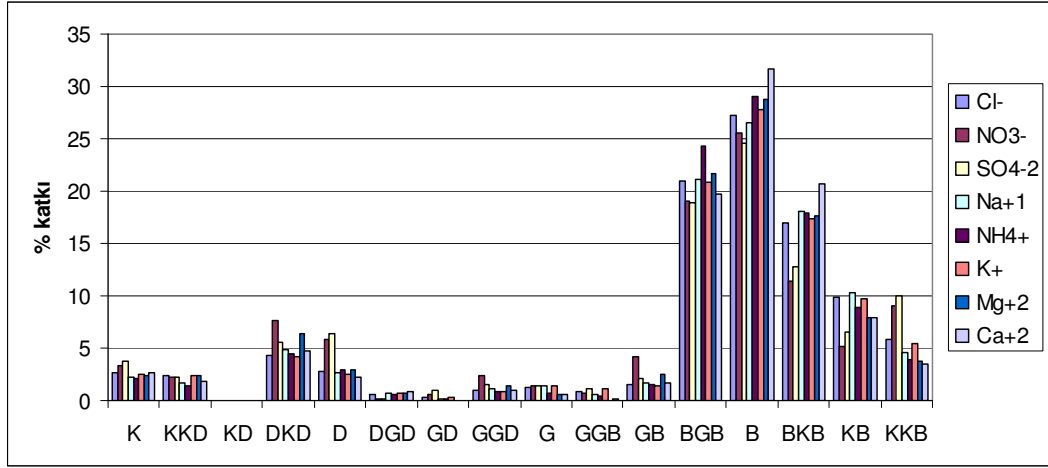
C_{kj}: j sektörden esen rüzgarların k bileşeni ortalama derişimi,

C_k: k bileşeninin ortalama derişimi,

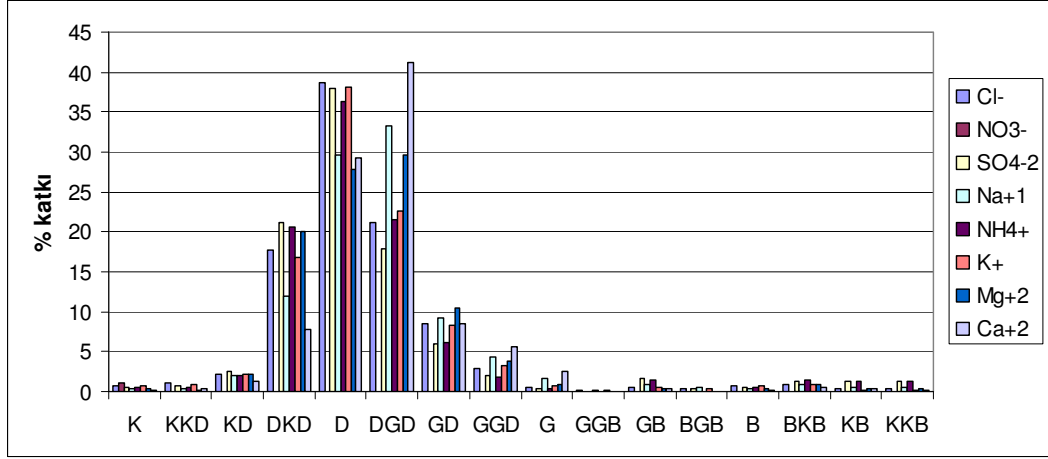
C_{ik}: k bileşeninin örnekleme periyodu için olan derişim değeridir.

Rüzgar sektör analizleri hem Ağustos hem de Şubat ayları için her iki fraksiyondaki derişimler kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 7.26–7.29'da rüzgar sektör analizleri görölmektedir.

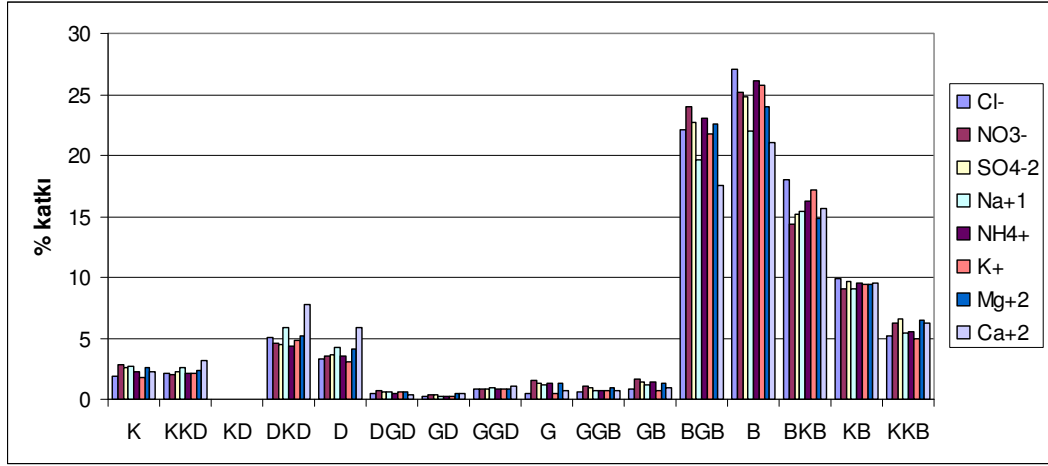
Şekil 7.26 ve 7.27 incelendiğinde ince partiküllerdeki iyon derişimlerine ağustos ayında büyük oranda batı yönünden esen rüzgarların (BGB, B,BKB, KB, KKB) katkısı olduğu, şubat ayı içinde ise doğu yönünden (DKD, D,DGD, GD) esen rüzgarların katkısı olduğu görölmektedir. Kaba partiküller için oluşturulan şekiller (7.28–7.29) incelendiğinde de benzer durum göze çarpmaktadır.



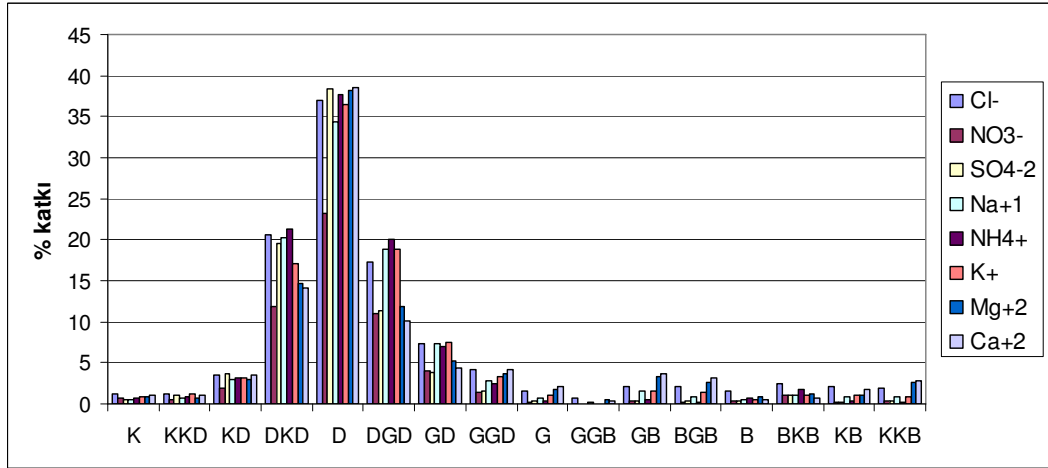
Şekil 7.26. Farklı Rüzgar Yönlerinden Yüzde Katkı (İnce Partikül, Ağustos Ayı)



Şekil 7.27. Farklı Rüzgar Yönlerinden Yüzde Katkı (İnce Partikül, Şubat Ayı)



Şekil 7.28. Farklı Rüzgar Yönlerinden Yüzde Katkı (Kaba Partikül, Ağustos Ayı)



Şekil 7.29. Farklı Rüzgar Yönlerinden Yüzde Katkı (Kaba Partikül, Şubat Ayı)

8. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında Eskişehir kent merkezinde Şubat ve Ağustos aylarında toplanan ince (PM_{2.5}), ve kaba (PM_{2.5-10}) partikül örneklerinde anyon (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) ve katyon (Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Mg⁺², Ca⁺²) derişimleri belirlenmiştir. Bunun yanı sıra ince ve kaba partiküller için kütle derişimleri de incelenmiştir. Şubat ve Ağustos ayları için karşılık gelen ortalama PM_{2.5} kütle derişimleri 9,12 ve 6,35 µg/m³ iken PM_{2.5-10} derişimleri 86,8 ve 51,2 µg/m³ dür.

Hem ince hem de kaba partikül fraksiyonunda Mg⁺², Ca⁺² derişimlerinin Ağustos ayı içinde arttığı gözlemlenirken, her iki fraksiyondaki Na⁺ ve Cl⁻ iyon derişimlerinin yaz aylarında azaldığı görülmüştür. Toprak kaynaklı olan Mg⁺², Ca⁺² derişimlerindeki artış sıcaklık artışı sonucu toprak kaynaklı bileşenlerin askıdaki derişimlerinin artmasıyla açıklanabilir. Öte yandan Na⁺ ve Cl⁻ iyon derişimlerindeki azalma ise kışın buzlanmayı engellemek amacıyla yapılan tuzlama çalışmaları ile ilişkilidir. Özellikle kaba fraksiyondaki SO₄²⁻, NO₃⁻ ve NH₄⁺ derişimlerinin şubat ayında Ağustos ayından yaklaşık 2 kat fazla oluşları ise örnekleme alanı civarında şubat ayında tarım arazilerine uygulanan gübre ile ilişkilendirilmiştir. Yapılan korelasyon analizi sonucunda SO₄²⁻, NO₃⁻, ve NH₄⁺ arasında ikili güçlü korelasyonlar saptanmıştır. Öte yandan kömür yanması sonucu açığa çıkan potasyumun şubat ayında yüksek çıkması, potasyum için olası kaynağın evsel ısınma olduğunun bir göstergesidir.

Anyon ve katyon derişimleri için kütle denklikleri oluşturulmuş, ince fraksiyon için anyon/katyon oranı 0,74, kaba fraksiyon için 0,94 olarak hesaplanmıştır.

İyonik bileşenlerle meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiş SO₄²⁻, NO₃⁻ ve NH₄⁺ derişimlerinin şubat ayındaki yükselmelerinde, kentin doğusunda yer alan tarımsal arazilerdeki aktiviteler sonucu atmosfere salınan bileşenlerin doğu yönünden esen rüzgarların da etkisiyle örnekleme alanına taşınmasının etkili olduğu görülmüştür. Rüzgar sektör analizlerinde, farklı sektörlerden esen rüzgarların tüm iyonik bileşenleri benzer şekilde etkilediği

görülmüştür. Bu durum kirleticilerin daha çok lokal kaynaklı olduğunun da bir göstergesidir.

Eskişehir kent merkezinde gerçekleştirilen bu çalışmada kaba fraksiyon kütle derişimlerinin ince fraksiyon kütle derişimlerinden yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle örnekleme periyodu süresince kent merkezinde hız kazanan yol ve inşaat aktivitelerinin kaba fraksiyona katkısı olduğu düşünülmektedir. İyon derişimleri partikül maddenin sadece çözüner fraksiyonunu açıkladığından daha net sonuçlara ulaşabilmek için suda çözünmeyen kısmın da açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Momani, IF., Daradkeh, AS., Haj-Hussein, AT., Yousef, YA., Jaradat, QM. ve Momani, KA. (2005), *Trace elements in daily collected aerosols in Al-Hashimya, central Jordan*, Atmospheric Research, **73**, 87–100.
- Andrea, MO. ve Crutzen, PJ. (1997), *Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry*, Science, **276**, 1052–1058.
- Ariola, V., D'Alessandro, A., Lucarelli, F., Marcazzan, G., Mazzei, F., Navase, S., Garcia-Orellana, I., Prati, P., Valli, G., Vecchi, R. ve Zucchiatti, A. (2006), *Elemental characterization of PM10, PM 2.5 and PM1 in the town of Genoa Italy*, Chemosphere, **62**, 226-232.
- Baumbach, G. (1996), *Air quality control*, Springer-Verlag, Berlin.
- Bayraktar, H. (2006), *Kentsel atmosferde partikül madde kompozisyonu*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Berico, M., Luciani, A. ve Formignani, M. (1997), *Atmospheric Aerosol in an urban area-measurments of TSP and PM10 standards and pulmonary assessments*, Atmospheric Environment, **31(21)** 3699- 3665.
- Boubel, R.W., Fox,DL., Turner DB. ve Stern AC. (1994), *Fundamentals of AirPollution*, Third Edition, Academic Pres.
- Chan, C.Y., Xu X.D., Li Y.S, Wong K.H., Ding G.A., Chan L.Y. ve Cheng X.H. (2005), *Characteristics of vertical profiles and sources of PM2.5, PM10 and carbonaceous species in Beijing*, Atmospheric Environment, **39**, 5113-5124.
- Cotham, WE. ve Bidleman, TF. (1996), *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Polychlorinated biphenyls in air at an urban and a rural site near lake Michigan*, Environ. Sci.Technol, **29**, 2782-2789.
- Covert, DS., Kapustin, VN., Quinn, PK. ve Bates, TS. (1992), *New particle formation in the marine boundary layer*, J Geophys Res, **97**, 20581-20587.
- Echalar, F., Gaudichet, A., Cachier, H. ve Artaxo, P. (1995), *Aerosol emissions by tropical forest and Savannah biomass burning: characteristic trace elements and fluxes*. Geophysical Research Letters, **22**, 3039–3042.
- Finlayson ~Pitts, BJ. ve Pitts, JN. (2000), *Atmospheric Chemistry Fundamentals and Experimental Techniques*, Wiley.

- Godish, T. (2004), *Air quality control*, Lewis Publisher,.USA.
- Harrison R.M. (2004), *Key Pollutants-airborne particles. Science of the totalEnvironment*, , **3-8**, 334–335.
- Harrison, R.M., Jones, A.M., ve Lawrence, R.G. (2004), *Major component of PM₁₀ and PM_{2.5} from roadside and urban background sites*, Atmospheric Environment, **38**, 4531-4538.
- Harrison, R.M. ve Yin, J. (2000), *Particulate matter in the atmosphere:which particle properties are important for its effects on health*, Science of the Total Environment **249**,(1-3) 85-101.
- Hering, S., Eldering, A. ve Seinfeld, J.H. (1997), *Bimodal character of accumulation mode aerosol mass distributions in Southern California*, Atmospheric Environment,**31**,1-11.
- Hopke, PK., Gladney, ES., Gordon, GE., Zoller, WH. ve Jones, AG. (1976), *Theuse of Multivariate analysis to identify sources of selected elements in the Boston urban Aerosol*, Atmospheric Environment, **10**, 1015-1025.
- http1: <http://www.eskisehir.gov.tr/iklim.asp>
- Karaca, F., Alagha, O. ve 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.
- Karakas, S.Y. ve Tuncel, S.G. (1997),*Chemical characteristics of atmospheric aerosols on a rural site of northwestern Anatolia*, Atmospheric Environment, **31(18)**, 2933–2943.
- Karpuzcu, M.(1994), *Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü*, Kubbealtı Neşriyatı, İstanbul.
- Karthikeyan, S. ve Balasubramanian R. (2006), *Determination of water-soluble inorganic and organic species in atmospheric fine particulate matter*, Microchemical Journal, **82**, 49-55.
- Khandekar, R.N., Ragnuth, R. ve Mishra, V.C. (1987), *Levels of lead, cadmium, zinc and copper in the blood of an urban population*, The Science of The Total Environment, **66**, 185-191.
- Kim, KH., Mishra, VK., Kang, CH., Choi, KC., Kim, YJ. ve Kim, DS. (2006), *The ionic compositions of fine and coarse particle fractions in the two*

- urban areas of Korea*, Journal of Environmental Management, **78**, 170–182.
- Kleefeld, S., Hoffer, A., Krivacsy, Z. ve Jennings, SG. (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. ve Schutz, LW. (1998), *Sources, determination, monitoring, and transport of carbonaceous aerosols in Mainz, Germany*, Atmospheric Environment, **32(6)**, 1097–1110.
- Li, J., Khan, AJ. ve Husain, L. (2002), *A technique for determination of black carbon in cellulose filters*, Atmospheric Environment, **36**, 4699–4704.
- Louie, PKK., Chow, JC., Chen, LWA., Watson, JG., Leung, G. ve Sin, DWM. (2004), *PM_{2.5} Chemical composition in Hong Kong: urban and regional variations*, The Science of the Total Environment, baskı aşamasında.
- McMurry, PH. (2000), *A review of atmospheric aerosol measurement*. Atmospheric Environment, **34**, 1959–1999.
- Morawska, L. ve Zhang, J.J. (2002), *Combustion sources of particles. 1. Health relevance and source signatures*, Chemosphere, **49**, 1045–1058.
- Müezzinoğlu, A. (2000), *Hava Kirliliğinin Kontrol Esasları*, Dokuz Eylül Yayınları, İzmir.
- Odabasi, M., Vardar, N., Sofuoğlu, A., Tasdemir, Y. ve Holsen, TM. (1999), *Polycyclic Aromatic hydrocarbons (PAHs) in Chicago air*, The Science of the Total Environment, **227**, 57-67.
- Öztürk, M. (2005), *Hava kalitesi indeksi*, Ankara <http://www.rshm.saglik.gov.tr>
- Seinfeld, J. ve Pandis, S. (1998), *Atmospheric chemistry and physics of air pollution: from air pollution to climate change*, New York, Wiley.
- Sun, Y., Zhuang, G., Wang, Y., Han, L., Guo, J., Dan, M., Zhang, W., Wang, Z. ve Hao, Z. (2004), *The air-borne particulate pollution in Beijing-concentration, composition, distribution and sources*, Atmospheric Environment, **38**, 5991-6004.
- Thomaidis, NS., Bekeas, EB. ve Siskos, PA. (2003), *Characterization of lead, cadmium, arsenic and nickel in PM_{2.5} particles in the Athens atmosphere, Greece*. Chemosphere, **52**, 959–966.

- Tsapakis, M. ve Stephanou, E.G. (2005), *Occurrence of gaseous and particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: study of sources and ambient temperature effect on the gas/particle concentration and distribution*, Environmental Pollution, **133**, 147–156.
- Tsitouridou, R., Voutsas, D. ve Kouimtzis, Th. (2003), *Ionic composition of PM 10 in the area of thessaloniki, Greece*. Chemosphere, **52**, 883–891.
- Tünay, O. ve Alp, K. (1996), *Hava Kirlenmesi Kontrolü*, İstanbul Ticaret Odası, Yayın no: 1996-36, İstanbul.
- Vossler, T.L., Lewis, C.W., Stevens, R.K., Gordon, G.E., Tuncel, S.G., Russwarm, G.M. ve Keeler, S.G. (1989), *Composition and origin of summertime air pollutants at Deep Creek Lake, Maryland*, Atmospheric Environment, **23**, 1535-1547.
- Wahlin, P., Berkowicz, R. ve Palmgren, F. (2006), *Characterisation of traffic-generated particulate matter in Copenhagen*, Atmospheric Environment, **40**, 2151-2159.
- Wang, H. ve Shooter, D. (2001), *Water soluble ions of atmospheric aerosols in three New Zealand cities: seasonal changes and sources*, Atmospheric Environment, **35**, 6031–6040.
- Wark, K., Warner, C.F. ve Davis, W.T. (1998), *Air Pollution, Its origin and Control*, Addison Wesley.
- Wight, G. (1996), *Fundamentals of Air Sampling*, Lewish Publishers, Newyork.
- William, T. ve Winberry, Jr. (1999), *Sampling of ambient air for PM 10 using an andersen dichotomous sampler*. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/inorganic/mthd-2-2.pdf>
- Xiu, G., Zhang, D., Chen, J., Huang, X, Chen, Z., Guo, H. ve Pan, J. (2004), *Characterization of major water-soluble inorganic ions in size-fractionated particulate matters in Shanghai campus ambient air*, Atmospheric Environment, **38**, 227-236.
- Yatın, M., Tuncel, S., Aras, NK., Olmez, I., Aygun, S. ve Tuncel, G. (2000), *Atmospheric trace elements in Ankara, Turkey, 1. Factors affecting chemical composition of fine particles*. Atmospheric Environment, **34**, 1305–1318.

Yeşilyurt, C. ve Akcan, N. (2001), *Hava kalitesi izleme metodolojileri ve örneklem kriterleri*, http://www.rshm.saglik.gov.tr/hki/pdf/hava_metod.pdf