

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BÜYÜKÇEKMECE BÖLGESİNE TAŞINAN
AEROSOLLERDEKİ METAL
KONSANTRASYONLARININ İNCELENMESİ VE
MODELLENMESİ**

İnşaat Müh. Ferhat KARACA

**FBE Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Çevre Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi	:11/11/2005
Tez Danışmanı	:Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK
Jüri üyeleri	:Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK
	:Prof. Dr. Mete TAYANÇ
	:Prof. Dr. Cuma BAYAT
	:Doç. Dr. Kadir ALP

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 İstanbul'da Hava Kirliliği Konulu Önceden Yapılmış Çalışmalar	1
1.1.1 Hava Kirliliği Tahmini ve Modellemesi Konulu Çalışmalar	2
1.1.2 Yağmur Suyu Analizleri	3
1.1.3 Aerosol Çalışmaları	4
1.1.4 Diğer Çalışmalar	4
1.1.5 Benzer Çalışmalar	5
1.1.6 Bu Çalışmanın Amacı	6
1.2 Partiküler Madde	6
1.3 Partikül Madde Fiziksel Özellikleri	8
1.3.1 Partikül Boyutu	8
1.3.2 Partikül Boyut Dağılımı Tanımları	9
1.3.2.1 Örnekleyici Kesme Noktası	10
1.3.2.2 Günlük Dozaj veya Mesleki Sağlık Boyutları	11
1.3.2.3 Kanuni Sınıflama	11
1.3.3 Partiküllerin Oluşumu ve Büyümesi	12
1.3.4 Partikül Taşınması ve Yer Değişimi	13
1.4 Partiküler Madde Kimyasal Özellikleri	14
1.4.1 Birincil ve İkincil Partiküler Maddeler	14
1.4.2 Partiküllerin Atmosfer Ömrü ve Taşınma İşlemleri	15
1.5 PM _{2.5} , PM _{2.5-10} ve PM ₁₀ Ölçme Teknikleri	17
2. DENEYSEL YAKLAŞIM	19
2.1 Örnekleme	19
2.1.1 Örnekleme Bölgesi ve Seçimi	19

2.1.2	Büyükçekmece Bölgesinin Hava Kirliliği Emisyon Kaynakları	20
2.1.2.1	Trafik Kaynakları	21
2.1.2.2	Sanayi Bölgeleri	22
2.1.2.3	Yerleşim Bölgeleri	24
2.1.3	Örneklemede Kullanılan Filtreler ve Özellikleri	26
2.1.4	Dichotomous Örnekleyci	27
2.2	Kimyasal Analiz	28
2.2.1	Mikrodalga Örnek Çözünürleştirilme	28
2.2.2	Atomik Absorbsiyon Spektrofotometri (AAS)	29
2.2.3	Grafit Fırın Atomik Absorbsiyon Spektrofotometri (GFAAS)	34
3.	BULGULAR VE TARTIŞMALAR	38
3.1	PM _{2,5} ve PM _{2,5-10} Kütle Miktarları	38
3.2	Eski Yörüngelerin Belirlenmesi	41
3.2.1	HYSPLIT Model	41
3.2.2	NCEP haritaları	42
3.3	Kimyasal Analiz Sonuçları	44
3.3.1	Kadmiyum (Cd)	44
3.3.2	Kurşun (Pb)	46
3.3.3	Nikel (Ni) ve Krom (Cr)	48
3.3.4	Magnezyum (Mg), Demir (Fe) ve Alüminyum (Al)	50
3.3.5	Çinko (Zn)	54
3.3.6	Sodyum (Na)	54
3.3.7	Kalsiyum (Ca)	54
3.4	Meteoroloji Verileri ve Partikül Madde Arasındaki İlişkiler	65
3.5	Atmosferik Metallerin Partikül Kütlelerine Olan Katkıları	71
3.6	Kuru Çökme Yoluyla Büyükçekmece Gölüne Taşınan Metallerin Bilânçosu ...	73
3.7	İstatistiksel Analizler	76
3.7.1	Genel İstatistikler	76
3.7.2	Kaynağa Yönelik İstatistikler	81
3.7.2.1	Zenginleşme Faktörleri	81
3.7.2.2	Faktör Analizi	85
3.8	Potansiyel Kaynak Etki Fonksiyon (PSCF) Değerleri	88
3.8.1	Partiküler Madde Kütle Değerleri için PSCF Değerleri	89
3.8.2	Metal Konsantrasyonları için PSCF Değerleri	90
4.	SONUÇLAR	99
5.	ÖNERİLER	107
	KAYNAKLAR	108

EK 1. Ölçülen Kütle Konsantrasyonları.....	117
EK 2. Fotoğraflar.....	126
ÖZGEÇMİŞ.....	128

SİMGELİSTESİ

β	Beta
α	Alfa
Ci	Curie
cm	Santimetre
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
<i>D_p</i>	Stokes' eşlenik partikül çapı
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
km	Kilometre
m	Metre
NH ₃	Amonyak
NO ₃ ⁻	Nitrat
NO _x	Azotoksitler
O ₃	Ozon
ppb	Milyarda bir parça (Parts per billion)
ppm	Milyonda bir parça (Parts per million)
ppt	Trilyonda bir parça (Parts per trillion)
SO ₂	Kükürtdioksit
SO ₄ ²⁻	Sülfat
µg	Mikrogram
µm	Mikron

KISALTMA LİSTESİ

AAS	Alevli Atomik Absorbsiyon Spektrometre
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
APM	Askıda Partiküler Madde
atm	Atmosfer
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BCF	Bioconcentration factor
BEI	Biological Exposure Index
BSC	Board of Scientific Counselors
CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act
DİE	Devler İstatistik Enstitüsü
EF	Enrichment Factors (Zenginleşme Faktörü)
EF _c	Crustal Enrichment Factors (Karasal Zenginleşme Faktörü)
EF _m	Marine Enrichment Factors (Denizsel Zenginleşme Faktörü)
EK	Elementel Karbon veya İs
EPA	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
GFAAS	Grafit Fırın Atomik Absorbsiyon Spektrometre
Hi-vol	Yüksek Hacimli Örneklem Cihazı
HKKY	Hava Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği
HYSPLIT	HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory
INAA	Instrumental Neutron Activation Analysis (Aletli Nötron Aktivasyon Analizi)
IPM	Inhalable Particles (Solunabilen Partiküller)
ISO	International Standards Organization (Uluslararası Standartlar Organizasyonunun)
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
OSHA	Occupational Safety and Health Agency
PM	Partiküler Madde
PSCF	Potential Source Contribution Function (Potansiyel Kaynak Etki Fonksiyon)
PTFE	Polytetrafloroetilen
RPM	Teneffüs Edilebilen Partiküller
TAP	Toplam Askıda Partikül
THC	Toplam Hidrokarbonlar (Total Hydrocarbones)
TPM	Göğüsel Partiküller
U.S.	United States
VOC	Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Bileşikler)
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
XRF	X-ray Floresans

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	İstanbul'un 1995-2001 yılları arasındaki yıllık ortalama SO ₂ konsantrasyonları	2
Şekil 1.2	PM _{2.5} ve PM _{2.5-10} partikül ideal dağılımı (Wilson ve Suh, 1997).....	11
Şekil 2.1	Örneklem bölgesi ve yerel emisyon kaynakları.....	26
Şekil 2.2	Örnekleyicinin çalışma prensibi	28
Şekil 2.3	Mg elementinin AAS analizleri için kalibrasyon grafiği.....	31
Şekil 2.4	Fe elementinin AAS analizleri için kalibrasyon grafiği	31
Şekil 2.5	Zn elementinin AAS analizleri için kalibrasyon grafiği.....	32
Şekil 2.6	Na elementinin AAS analizleri için kalibrasyon grafiği	32
Şekil 2.7	Al elementinin AAS analizleri için kalibrasyon grafiği	33
Şekil 2.8	Ca elementinin FAAS analizleri için kalibrasyon grafiği	33
Şekil 2.9	Kadmiyum elementinin grafit fırın analizleri için kalibrasyon grafiği.....	36
Şekil 2.10	Pb elementinin grafit fırın analizleri için kalibrasyon grafiği	36
Şekil 2.11	Cr elementinin grafit fırın analizleri için kalibrasyon grafiği.....	37
Şekil 2.12	Ni elementinin grafit fırın analizleri için kalibrasyon grafiği.....	37
Şekil 3.1	PM _{2.5} ve PM _{2.5-10} partiküllerin zamana bağlı kütle değişim grafiği	40
Şekil 3.2	PM _{2.5} ve PM ₁₀ için Karekök-X modeli: $PM_{2.5} = -8,62 + 4,52 \cdot (PM_{10})^{0,5}$	41
Şekil 3.3	Hysplit model verilerinin NCEP basınç haritaları ile kontrolü. NCEP Haritaları sırasıyla 16/07/2003, 17/07/2003 ve 18/07/2003 tarihlerine ait 500 hPa haritalarıdır. Verilen basınç değerleri deniz seviyesine indirgenmiş basınç değerleridir. Jeopotansiyel yükseklikleri dekametre cinsindendir.	43
Şekil 3.4	Hysplit model verilerinin NCEP basınç haritaları ile kontrolü. NCEP Haritaları sırasıyla 29/01/2003, 30/01/2003 ve 31/01/2003 tarihlerine ait 500 hPa haritalarıdır. Verilen basınç değerleri deniz seviyesine indirgenmiş basınç değerleridir. Jeopotansiyel yükseklikleri dekametre cinsindendir.	44
Şekil 3.5	Ölçülen kadmiyum konsantrasyonları	45
Şekil 3.6	Kadmiyum epizot değerleri 500 m irtifa için eski yörüngeleri	46
Şekil 3.7	PM ₁₀ ve PM _{2.5} örneklerinde ölçülen kurşun konsantrasyon değerleri.....	47
Şekil 3.8	PM _{2.5} Pb epizotlarının 500 m yükseklik için izledikleri yörüngeler	48
Şekil 3.9	PM _{2.5} ve PM ₁₀ parçacık maddelerdeki nikel konsantrasyon değerleri	49
Şekil 3.10	PM _{2.5} ve PM ₁₀ örneklerinde ölçülen krom konsantrasyon değerleri	49
Şekil 3.11	PM _{2.5} ve PM ₁₀ magnezyum değerlerinin ölçüm süresince dağılımı.....	51
Şekil 3.12	PM _{2.5} ve PM ₁₀ demir değerlerinin ölçüm süresince dağılımı	52
Şekil 3.13	PM _{2.5} ve PM ₁₀ alüminyum değerlerinin ölçüm süresince dağılımı	52

Şekil 3.14	Düşük seviye demir konsantrasyonu gözlenen bir gün için AI haritası (27-Ocak-2003).....	53
Şekil 3.15	Epizot demir konsantrasyonu gözlenen bir gün için AI haritası (13-Temmuz-2003).....	53
Şekil 3.16	PM _{2.5} ve PM ₁₀ çinko değerlerinin ölçüm süresince dağılımı	54
Şekil 3.17	PM _{2.5} ve PM ₁₀ sodyum değerlerinin ölçüm süresince dağılımı.....	55
Şekil 3.18	PM _{2.5} ve PM ₁₀ kalsiyum değerlerinin ölçüm süresince dağılımı.....	55
Şekil 3.19	Yükseklığe (mb) bağlı sıcaklık (°C)değişim değerleri. 1A ve 1B: 13/5/2003 tarihli epizot değer, 2A ve 2B: 11/9/2002 tarihli düşük seviye değer, 00:00 ve 12:00 radyosonda ölçümleri (Göztepe meteoroloji istasyonu).....	68
Şekil 3.20	Bölgenin ölçüm zaman aralığındaki rüzgârgülü.....	71
Şekil 3.21	PM _{2.5} yaz ve kış dönemi kütle bilânçoları	73
Şekil 3.22	PM _{2.5-10} yaz ve kış dönemi kütle bilânçoları	73
Şekil 3.23	Kuru çökeltme ortalama değerleri	74
Şekil 3.24	Atmosferik parçacıkların karasal zenginleşme faktörleri	84
Şekil 3.25	Atmosferik parçacıkların denizsel zenginleşme faktörleri	84
Şekil 3.26	Karasal zenginleşme faktörlerinin mevsimsel değişimleri	84
Şekil 3.27	Denizsel zenginleşme faktörlerinin mevsimsel değişimleri	85
Şekil 3.28	PM _{2.5} PSCF değerleri (500m).....	90
Şekil 3.29	PM _{2.5} PSCF değerleri (1200m).....	90
Şekil 3.30	Yüksek Cd konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri	91
Şekil 3.31	Yüksek Pb konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri.....	92
Şekil 3.32	Yüksek Na konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri	92
Şekil 3.33	Yüksek Mg konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri	93
Şekil 3.34	Yüksek Cr konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri.....	93
Şekil 3.35	Yüksek Ni konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri	94
Şekil 3.36	Yüksek Fe konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri	94
Şekil 3.37	Yüksek Zn konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri.....	95
Şekil 3.38	Yüksek Al konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri.....	95
Şekil 3.39	Yüksek Ca konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri.....	96

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	Atmosferik partikül maddeler ile ilgili terminoloji (Seinfeld ve Pandiz, 1998).	8
Çizelge 1.2	Atmosferik Partiküllerin Mukayesesi (Wilson ve Suh 1997).....	16
Çizelge 2.1	Büyükçekmece bölgesi trafik kaynaklı emisyon değerleri.....	21
Çizelge 2.2	Bölgedeki çimento fabrikası tahmini günlük emisyon değerleri.....	22
Çizelge 2.3	BOSB PM emisyon değerleri	23
Çizelge 2.4	Kıraç belediyesi sanayi kaynaklı PM emisyon değerleri	24
Çizelge 2.5	Büyükçekmece bölgesi ısınma kaynaklı emisyon değerleri.....	25
Çizelge 2.6	AAS tayinlerinde kullanılan optimum işletme şartları	33
Çizelge 2.7	Magnezyum analiz sonuçlarının mukayesesi	34
Çizelge 2.8	Grafit fırın tayinlerinde kullanılan optimum cihaz işletme şartları	34
Çizelge 3.1	PM ₁₀ ve PM _{2.5} verilerinin lineer bir modele uygunluk sonuçları	40
Çizelge 3.2	Çeşitli bölgelerde ölçülen kurşun konsantrasyon değerleri.....	47
Çizelge 3.3	Çeşitli çalışmalarda ölçülen krom konsantrasyon değerleri	50
Çizelge 3.4	PM _{2.5} konsantrasyonları ve meteorolojik verilerin korelasyon tablosu (R)	66
Çizelge 3.5	PM _{2.5-10} konsantrasyonları ve meteorolojik verilerin korelasyon tablosu (R) ..	66
Çizelge 3.6	Partikül madde kütle ortalama değişimi ve rüzgâr yönleri.....	69
Çizelge 3.7	Kuru çökelme miktarları.....	75
Çizelge 3.8	PM _{2.5} metal konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistik tablosu.....	77
Çizelge 3.9	PM _{2.5-10} metal konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistik tablosu	77
Çizelge 3.10	PM _{2.5} metal konsantrasyonların korelasyon (R) tablosu	78
Çizelge 3.11	PM _{2.5-10} metal konsantrasyonların korelasyon (R) tablosu	78
Çizelge 3.12	Uygunluk test sonuçları*	80
Çizelge 3.13	PM _{2.5} ve PM ₁₀ için tahmin edilmiş bir yıllık yüzdelik dilimleri.....	80
Çizelge 3.14	PM _{2.5} dağılım fonksiyonları [D değeri] test sonuçları.....	81
Çizelge 3.15	PM _{2.5-10} dağılım fonksiyonları [D değeri] test sonuçları	81
Çizelge 3.16	PM _{2.5} partiküller için faktör analizi sonuçları.....	86
Çizelge 3.17	PM _{2.5-10} partiküller için faktör analizi sonuçları	87
Çizelge 3.18	PM _{2.5} partiküller için faktör tablosu.....	87
Çizelge 3.19	PM _{2.5-10} partiküller için faktör tablosu	87

ÖNSÖZ

Ülkemizde ve dünyada çevre ve insan sağlığı açısından önem arz eden konulardan birisi hava kirliliğidir. Herbir bireyin solunum yolu ile maruz olabileceği riskler, endüstri, trafik ve benzeri insan aktivitelerinin artmasıyla her geçen gün daha da önem arz etmektedir. Toplum içersinde yaşayan herkezi aynı derecede ilgilendirmekte olan bir kavramdır hava kirliliği. Temiz bir dünyada yaşayarak, temiz olduğunu bildiğimiz bir havayı solumak hepimizin hakkıdır.

Anadolunun bir dağ köyünde yaşayan dedem yazları gittiğimiz köyünden ve yaşadığı toprakların güzelliğinden bahsederken, soluduğumuz temiz havanın kıymetine değinmeden edemezdi. “Çekin içinize çocuklar” derdi, “bir zaman sonra bulamayacaksınız bu havayı”. Çocukluk yıllarımızdı, anlayamamıştık temiz havanın nedenli kıymetli olduğunu...

Günümüzde kentleşmiş alanlarda yaşayan insan nüfusu her geçen gün artmaktadır. Gelecekte çocukluğumdaki kadar temiz bir hava solumak istiyorum. İstanbul’un son yıllarda hava kalitesinin, bilimsel çalışmalar ve yönlendirmelerin etkisi ile, daha da iyileşmesi ümidimin artmasına neden oldu. Dedelerimizden aldığımız mirası geleceğe daha iyi bir şekilde taşımalıyız düşüncesi, yaptığımız çalışmalarda hep teşvikçim olmuştur.

Bu çalışmaya, çevremizin ve soluduğumuz havanın, hepimizin; belkide bizlerden çok, gelecek nesillerin olduğu düşüncesini taşıyarak başlamıştım. Bu gün -bu çalışmanın tamamlandığı günlerde- daha güzel bir gelecek, daha güzel bir dünya düşüncesine katkıda bulunduğumu düşünüyorum.

Bu çalışmanın gerçekleşmesi için göstermiş olduğu yakın alaka ve yardımlarından dolayı sayın hocam Prof. Dr. Ferruh Ertürk bey ve Yrd. Doç. Dr. Omar Alagha beye şükranlarımı arz ederim. Kendileri bana sadece bilimsel yönlerden destek olmamışlar, aynı zamanda saygıdeğer kişilikleri ve bilim adamı kimlikleri ile hayat rehberi olmuşlardır.

Kimyasal analizler konusunda bana verdikleri destek ve yardımlardan dolayı Dr. Yusuf Ziya Yılmaz, Türkan Özkara ve Halim Taşkın’a teşekkür ederim. Değerli fikir ve önerilerinden dolayı sayın hocam Prof. Dr. Mustafa Öztürk beye, Prof. Dr. Mete Tayanç beye, Yrd. Doç. Dr. A. İnci İşli hanıma, Yrd. Doç. Dr. Sami Gören Beye ve mesai arkadaşım Bertan Başak’a tüm yardım ve destekleri için teşekkür ediyorum.

Bu günlere gelmemde bana gösterdikleri sabır, yardım ve tüm katkılarından dolayı, babama ve anneme; belki de en büyük emeği, bana manevi desteği ve sabrıyla gösteren sevgili eşim Nurcan Karaca hanıma da şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam esnasında kaybettiğim biricik oğlum Mustafa Tamer Karaca’nın zihnimde bıraktığı unutulmaz izlerin anısına...

Ferhat KARACA

ÖZET

Bu çalışmada Temmuz 2002- Temmuz 2003 tarihleri arasında, Büyükçekmece bölgesinde atmosferik $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ aerosollerdeki metal konsantrasyonları incelenmiştir. AAS tekniğiyle Al, Fe, Ca, Zn, Mg, Na ve GF-AAS tekniğiyle Cr, Cd, Ni, Pb tayinleri yapılmıştır. $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ partiküllerinin Cd, Cr, Fe, Mg, Na, Ni, Pb, Zn, Al, Ca ortalamaları $ng\ m^{-3}$ seviyesinde sırasıyla; 2.28, 99, 555, 403, 10555, 381, 78, 96, 3156, 2148 ve 0.68, 101, 967, 657, 6791, 334, 58, 56, 2708, 3251 olarak bulunmuştur. Bölgede, krom ve nikel için endüstrileşmiş bölge değerlerine yakın değerler gözlenirken, diğer konsantrasyonların kent merkezlerinden etkilenen kırsal alan değerlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Tüm yıl boyunca, krom, kurşun, nikel, çinko, kadmiyum partiküllerinin ağırlıklı olarak trafik, çimento fabrikası, yerel ve bölgesel sanayi benzeri kaynaklardan; ilk bahar ve yaz mevsimlerinde ise, alüminyum, sodyum ve demir elementlerinin doğal kaynaklardan zenginleşerek bölgeye taşınmakta oldukları saptanmıştır.

Ortak emisyon kaynaklarından yayılan element grupları $PM_{2.5}$ partikülleri için Fe-Zn (bölgesel endüstri), Mg-Na-Al-Ca (doğal), Cr-Ni (yerel endüstri) ve Cd-Pb (trafik) grupları, $PM_{2.5-10}$ partikülleri için ise Mg-Zn-Ca-Fe (endüstri ve deniz), Na-Al-Pb-Fe; (endüstri ve karasal), Cd-Ni (bölgesel endüstri) ve Cr (yerel endüstri) olarak belirlenmiştir.

Son bölümde, hava yoluyla bölgeye taşınan metallerin Büyükçekmece Gölüne depolanma miktarları hesaplanılarak tartışılmıştır. Atmosferik yolla en çok depolanan elementlerin demir (22~78 ton/yıl) ve alüminyum (14~97 ton/yıl) gibi karasal elementler olduğu ve en az miktarlarda depolanan elementlerin ise zehirli ağır metaller olan Cd (50~100 kg/yıl), Pb (0,20~3,10 ton/yıl) ve Cr (2,10~5,90 ton/yıl) gibi nadir toprak elementleri olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Eser elementler, Hava kirliliği, Alıcı ortam modeli, Faktör analizi, Meteoroloji, Aerosoller.

ABSTRACT

In this study, metallic concentrations of atmospheric PM_{2.5} and PM_{2.5-10} aerosol are measured between July -2002 and July-2003. Concentrations of Al, Fe, Ca, Zn, Mg, Na are measured by AAS technique and Cr, Cd, Ni, Pb are measured by GF-AAS technique. Average values of Cd, Cr, Fe, Mg, Na, Ni, Pb, Zn, Al, Ca for PM_{2.5} and PM_{2.5-10} particles are found as 2.28, 99, 555, 403, 10555, 381, 78, 96, 3156, 2148 and 0.68, 101, 967, 657, 6791, 334, 58, 56, 2708, 3251 as ng m⁻³, respectively. In the region, chromium and nickel concentrations are close values to the atmospheric concentrations of industrialized areas and other concentrations are close values to the concentrations of impacted suburban areas. Atmospheric chromium, lead, nickel, and zinc are generated from anthropogenic sources such as traffic, local and regional industries, and cement factory during all sampling period, while other elements such as aluminum, sodium and iron are generated from natural sources especially during spring and summer times.

Four factor groups of common sources for PM_{2.5} and PM_{2.5-10} particles are found as Fe-Zn (regional industry), Mg-Na-Al-Ca (natural), Cr-Ni (local industry), Cd-Pb (traffic) and Mg-Zn-Ca-Fe (industry and marine), Na-Al-Pb-Fe; (industry and crustal), Cd-Ni (regional industry), Cr (local industry), respectively.

Finally, the amounts of dry deposition of atmospheric metals to the Büyükçekmece Lake are calculated and discussed. The largest amount of depositions belong to some crust oriented elements such as iron (22~78 tons/year) and aluminum (14~97 tons/year) and the lowest amounts are those of toxic metals such as Cd (50~100 kg/year), Pb (195~3100 kg/year) and Cr (2100~5900 kg/year).

Keywords: Trace elements, Air pollution, Receptor site modeling, Factor analysis, Meteorology, Aerosols.

1. GİRİŞ

Hava kirliliği teknoloji ile birlikte gelen modern hayatın yan ürünlerinden biridir. Fabrikalar, motorlu araçlar, elektrik ve ısı enerjisi üretimi, bu kirliliğin önemli kaynaklarındandır. Hava kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri yanmadır. Teorik olarak yanma gerçekleştiğinde yakıt içindeki hidrojen ve karbon havanın oksijeni ile birleşerek ısı, ışık, karbondioksit (CO_2) ve su buharı açığa çıkar. Bununla beraber yakıttaki safsızlıklar, uygun olmayan hava/yakıt oranı veya çok yüksek ya da çok düşük yanma sıcaklıkları karbonmonoksit (CO), kükürt oksitler, azot oksitler, uçucu kül, partikül maddeler ve yanmayan hidrokarbonlar gibi hepsi hava kirleticileri olan maddelerin açığa çıkmasına sebep olabilir.

Hava kirliliğinin çeşitli tanımlarından biri ve en popüler, "atmosferde bulunan kirleticilerin insan sağlığı, bitki, yapı ve malzemelerde zararlı etkiler meydana getirecek miktar (konsantrasyon) ve sürede bulunması" şeklindedir (Wark ve arkdş., 1981).

Çeşitli kaynaklardan yayılan bütün hava kirleticileri, meteorolojik şartlara bağlı olarak taşınır, yayılır veya bir bölgede toplanır. Bu çevrim mekanizması kirleticilerin kaynaktan bırakılması ile başlar ve atmosferde taşınma ve yayılmaları ile devam eder. Çevrim, kirleticilerin yağmur ile atmosferden yıkanması vasıtasıyla, sonuçta bitkiler, yüzey suları, toprak ve diğer malzemeler üzerine çökmesi ile ya da havaya kaçması ile tamamlanır. Bazı durumlarda kirleticiler rüzgar sebebiyle tekrar atmosfere taşınabilirler.

Hava kalitesi standartları, öncelikle insan sağlığı bakımından gittikçe daha düşük seviyelere çekilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği ülkelerinde bu sınır değerler ülkemizle mukayese edildiğinde çok daha kısıtlayıcı oldukları görülmektedir.

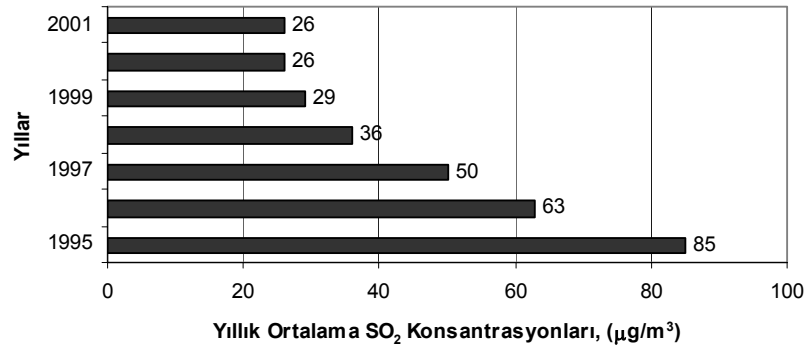
İstanbul'da SO_2 , NO_x , CO , Ozon ve PM_{10} gibi birincil ve ikincil kirleticiler parametreler bir çok istasyonda düzenli olarak izlenmektedir. Yakıt kalitesinde iyileştirme ve doğal gazın yaygınlaşması sonucu 1996 yılından sonra yüksek seviyedeki SO_2 ve PM değerlerinde ciddi düşüşler kaydedilmiştir. Dolayısıyla bu parametreleri konu alan çalışmaların ve analizlerin sürekli olarak yapılması önem arz etmektedir.

1.1 İstanbul'da Hava Kirliliği Konulu Önceden Yapılmış Çalışmalar

İstanbul'un en önemli çevre sorunlarından birisi hava kirliliğidir. İstanbul Türkiye'nin en çok nüfusa sahip olan ilidir. Yaklaşık yüzölçümü 5712 km^2 ve 2000 Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) sayımına göre nüfusu 10 milyonu geçmiş bulunmaktadır (www.die.gov.tr). Arazisi genelde birçok vadi ile birbirinden ayrılmış tepelerden oluşur. Plansız denilebilecek kentleşme

yeşil alanları daraltmış, inşa edilen yüksek binalar hava sirkülasyonunu etkiler hale gelmiştir. Özellikle deniz kıyılarına yakın bölgelerde yapılan yüksek katlı binalar, kirleticileri dağıtabilecek deniz meltemlerini engellemiştir. Önceki yıllarda İstanbul'un bazı bölgelerinde, özellikle ısınma dönemlerinde yüksek miktarlarda kirlilik seviyeleri gözlenmiştir (Gülsoy ve arkdş., 1999; Tayanç, 1997; Karaca ve arkdş., 2002).

1996 yılı öncesinde, İstanbul'da hava kirliliğinin en önemli kaynağını ev ve apartmanlarda kış aylarında ısınma maksadıyla kullanılan yakıtların yakılmasından ileri gelen ve sabit alan kaynak olarak sınıflandırılan kaynaklar teşkil etmekteydi. Bunların yanında, hareketli kaynaklar olarak sınıflandırılan motorlu taşıtlar ve nokta kaynaklar kategorisine giren endüstriyel kaynaklar da bölgesel olarak hava kirlenmesine yol açmaktadır. 1960-1990 yılları arasında tüketim miktarları açısından yaygın şekilde kullanılan yakıtlar çeşitli dönemlerde değişik görüntüler arz etmiş, 1960-1980 yılları arasında fuel-oil, 1980'den sonra ise linyit kömürü ısınma maksadıyla tüketilen yakıtlar arasında öncelik göstermiştir. Son yıllarda ise doğal gaz önemli ölçüde kullanılmaya başlanmıştır (Tayanç, 2000; Saral, 2000; Karaca ve arkdş., 2002). İstanbulda kullanılan kalitesiz kömür ve fuel-oil'in doğal gaz kullanımı ile yer değiştirmesinin bir neticesi olarak son yıllarda kirletici konsantrasyonlarında ciddi düşüşler gözlenmiştir (Karaca ve arkdş., 2002; Saral, 2000). Hıfzıssıhha enstitüsünün İstanbul, Göztepe istasyonunda 1995-2001 yılları arasında kaydedilen SO₂ yıllık ortalama değerleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir (Karaca ve arkdş., 2002).



Şekil 1.1. İstanbul'un 1995-2001 yılları arasındaki yıllık ortalama SO₂ konsantrasyonları

1.1.1 Hava Kirliliği Tahmini ve Modellemesi Konulu Çalışmalar

İstanbul'daki hava kirliliğinin deterministik modellemesi ile ilgili ilk çalışmalar Ertürk (1981 ve 1986) tarafından Haliç bölgesinde alan kaynaklardan ileri gelen hava kirliliğinin göstergesi olarak kükürdioksit ve asılı partiküler madde parametreleri üzerinde, ikinci olarak Öztürk

(1983) tarafından Beyoğlu Caddesi'nde motorlu taşıtlardan ileri gelen CO konsantrasyonu üzerinde yapılmıştır. Her iki çalışmada da gözlenen ve matematik modelle hesaplanan değerler arasında yüksek korelasyonlar bulunmuştur.

Saral'ın (2000) yaptığı bir çalışmada İstanbul için SO₂ verilerini ele alınarak, atmosfer uygulamalarında oldukça yeni ve başarılı sonuçlar veren Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri yardımıyla hava kirliliğinin çeşitli meteorolojik parametreler bazında modellenmesiyle 1 gün sonraki hava kirliliğinin tahmini yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan meteorolojik parametrelerin yanı sıra, yine İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsünün Göztepe Meteoroloji İstasyonunda kurulu bulunan ölçüm noktasında ölçülen günlük ortalama kükürtdioksit parametresi modellenen ve tahmin edilen hava kirliliği parametresi olarak kullanılmıştır. Benzer bir modelleme çalışmasında ise Suni Zeka, Tüme Varım Tekniği kullanılarak günlük SO₂ seviyesinin tahmin edilmesi amacıyla yönelik bir metod geliştirilmiştir (Karaca ve arkdş., 2005). Bir başka çalışma ise İşli (1990) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada meteorolojik parametrelerle kirlilik parametrelerinin birlikte istatistiksel ilişkileri ile beraber kirlilik verileri, zaman serileri şeklinde analiz edilerek geleceğe dönük tahmin çalışması yapılmıştır. SO₂ ve PM emisyon verileri matematiksel modeller yardımıyla incelenmiş ve İstanbul'un Hava Kirliliğinin değerlendirilmesi üzerine çalışma yapılmıştır (Ak, 1995). Benzer bir çalışma, İstanbul şehir bölgesindeki SO₂ ve PM konsantrasyonlarının modellenmesi ve tahmini konusunda yapılmıştır (Şen, 1998).

Isınma dönemleri için İstanbul ilinde kullanılan fosil yakıtların hava kirliliğine olan etkileri Tayanç (2000) tarafından değerlendirilmiş ve 1980-1990 yılları arasındaki hava kirliliğinin hızlı artışının nedeninin; İstanbulda kullanılan fosil yakıtların, linyit/fueloil, kullanılma oranlarındaki değişimler olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada İstanbul ilindeki en yüksek seviyeli hava kirliliğinin Avrupa yakası için; Fatih-Gaziosmanpaşa-Bayrampaşa, Beyoğlu-Şişli, ve Eminönü bölgelerinde, Asya yakasında ise; Göztepe-Kadıköy bölgelerinde meydana geldiği belirtilmiştir.

1.1.2 Yağmur Suyu Analizleri

Literatürde, İstanbul ili hava kirliliğine bağlı olarak meydana gelen asit yağmurları için yapılmış yağmur suyu çalışmaları oldukça azdır. Bahçelievler, Florya ve Göztepe istasyonlarında toplanan yağmur suyu örneklerinde hidrojen, sülfat ve nitrat iyonlarının yanı sıra kalsiyum, bikarbonat ve amonyum temel iyonların incelenmiş ve sonbahar ve kış aylarında sülfat ve nitrat konsantrasyonlarının çok yüksek olduğunu, bahar ve yaz aylarında

ise ciddi bir azalma olduğu belirlenmiştir (Gülsoy ve arkadaş.,1997; Gülsoy ve arkadaş., 1999). Büyükçekmece Gölü havzasında 2001-2002 tarihleri arasında iki ayrı istasyonda toplanan yağmur örnekleri incelenmiş ve her bir örnekte 20 parametre ölçülmüştür (Başak ve Alagha, 2002). Büyükçekmece’de gözlenen insan kaynaklı kirleticilerin yoğunluklarının, Türkiye’deki diğer çalışmalarda ve Avrupa’da gözlenen değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yağmur suyunun asitliğinin Ca^{2+} ve NH_4^+ tarafından nötralize edildiği ve yağmur suyundaki elementlerin zamana bağlı değişimler gösterdiği, ve bu değişimlerin meteorolojik olaylar tarafından etkilendiği, gözlenmiştir. Yapılan faktör analizi sonucunda, Büyükçekmece yağmur suyundaki element ve iyonların, birisi toprak, diğeri deniz ve ikisi de insan kaynaklı olmak üzere dört ayrı bileşenden kaynaklandığı belirtilmiştir. Yağmur suyundaki metallerin analizleri yapılmış ve kaynakları belirlenmeye çalışılmıştır.

1.1.3 Aerosol Çalışmaları

İstanbul’da yapılan bir çalışmada, Topkapı-Avcılar arasındaki E-5 karayolundan toplanan toz örneklerinde Pb, Cu, Mn, Zn, Cd, Ni, metallerini incelenmiştir (Sezgin ve arkadaş., 2003). Örnekleme yaptıkları noktalarda Pb, Cu ve Zn konsantrasyonlarının normal toprak değerlerinden yüksek olduğunu belirtmişler ve bu bölgelerde ağır metal kirliliği oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise, İstanbul’un Kadıköy ve Tuzla bölgelerinde Ocak-Nisan 2002 tarihleri arasında Askıda Partiküler Madde (APM) ölçümleri yapılmıştır (Toröz ve arkadaş., 2002). XRF ve AAS yöntemleri ile bu örneklerdeki Pb, Ni, Cd, Zn, Fe, Mn, Br elementlerini tayin etmişler ve örneklenen dönemler içinde elde edilen değerlerin uluslararası hava kalite standartlarına uygun olduğunu belirtilmişlerdir. İstanbul ilinde uzun taşınım etkilerini ve aerosol ($\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10}) metal konsantrasyonlarını belirlemeye ve incelemeye yönelik bir çalışma henüz yapılmamıştır.

1.1.4 Diğer Çalışmalar

Bektaş ve Öztürk (2002) uçucu organik bileşikler açısından potansiyel bir kaynak olan benzin istasyonlarında, İstanbul bazında meydana gelen benzin buharı kayıplarını hesaplamış ve kontrol yöntemleri üzerine öneriler geliştirmişlerdir. Alp ve arkadaşları (2002) İstanbul’daki mevcut taş ocaklarının ilçe bazında dağılımları, kapasiteleri, emisyonla yönelik kontrol etkinliklerini incelemiş , PM emisyonlarını hesaplamışlar ve yerel ölçekte çevre hava kalitesinde yol açtıkları etkileri irdelemişlerdir. Topcu ve arkadaşları (2001) ozon ve azotoksit konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi meteorolojik parametreleri de göz önüne alarak

incelemişlerdir. Yüksek ozon değerlerinin İstanbul'da hangi meteorolojik şartlarda gerçekleştiğini ve İstanbul üzerindeki ozon formasyonunun meteorolojik verilerle olan ilişkisini belirlemeye çalışmışlardır. Alp ve Eryılmaz (2003) İstanbul'da gece ozonu konulu bir çalışmada 1998-2000 yıllarında yer seviyesinde ölçülen saatlik verileri kullanarak gece ozonunun oluşumunu incelemişler ve mevsimsel dağılımlarını belirtmişlerdir. İstanbul'da yapılan bir doktora çalışmasında kentin fotokimyasal smog mekanizmasının modellenmesine yönelik araştırmalar yapılmıştır (Tecer, 2000).

1.1.5 Benzer Çalışmalar

Partiküllerin ve bunlarla taşınmakta olan iz elementlerin incelenmesi, iz elementlerin jeokimyasal döngüsünün ve taşınmasının anlaşılması açısından oldukça önem arz etmektedir. Ölmez ve Aras (1977) Ankara'da beş ayrı istasyonda iz elementleri ölçmüşler ve zenginleşme faktörlerini yeryüzü konsantrasyonlarını temel alarak hesaplamışlardır. Fe, Si, Al, Sc, Ti, La, Ce, Sm, Eu, Hf, Rb, Y, Zr, Ca, ve Ba, gibi elementlerin toprak konsantrasyonlarına yakın değerlerde olduklarını dolayısıyla yer kabuğu kaynaklı olduklarını belirtirken, Pb, Br, ve Cr gibi elementlerin motorin ve benzin kullanımından dolayı zenginleştiklerini Zn, As, Sb, Se elementlerinin de kalitesiz linyit yakılmasının neticesi olarak zenginleşme gösterdiğini belirtmişlerdir. Benzer bir diğer çalışmada, Sabuncu ve arkadaşları (1986), Ortadoğu Teknik Üniversitesinin kampüsünde aerosol örnekleri toplamışlar ve bu örneklerin iz element konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Buldukları sonuca göre uçucu olan As, Sb, Zn, Br ve Hg elementleri yüksek konsantrasyonlardadır.

Karadeniz üzerinde bir gemide toplanan aerosol örnekleri için yapılan bir çalışmada (Hacısalıhoğlu ve arkadaşları, 1991) Al, Ca, Mg, Ti, V, Cl, I, Mn ve Na elementleri aletli nötron aktivasyon analizi (INAA) kullanılarak ölçülmüştür. Bulunan konsantrasyonlar açık deniz bölgeleri ile kırsal değerlerin arasında bulunmuştur. Geri yörüngeler incelenmiş ve doğu yönünden gelen hava akımlarının etkilerinin hakim olduğu belirlenmiştir. Zenginleşme faktörleri yardımıyla tozların kaynakları incelenmiştir.

Al-Momani ve arkadaşları (1997) 1992-1994 yılları arasında Akdeniz sahilinde sabit bir istasyonda aerosol ve sadece ıslak çökelme yağmur örnekleri toplamış ve uzun mesafe taşınımın etkilerini incelemişlerdir. Gatari'nin (2001) yaptığı çalışmada, yere yakın seviye aerosol örnekleri Dichotomous örnekleyicisi kullanılarak toplanmış ve analizleri yapılarak sekiz iz element Si, Ni, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn incelenmiştir. Aerosollerdeki bu metal konsantrasyonların yerel tozdan ve tarım aktivitelerinden kaynaklandığını uzun taşınımından

etkilenmediğini belirtmiştir.

1.1.6 Bu Çalışmanın Amacı

Antropojenik yolla üretilen iz elementlerin biyosferde taşınabilir hale gelmesi, bu elementlerin jeokimyasal döngüsü açısından önem arz etmektedir. Kentler bu etkinin en büyük nedenini oluşturmaktadır. Kentlerde bir çok sabit kaynaktan ve hareketli kaynaktan (endüstriyel faaliyetler, enerji üretimi, inşaat, katı atık yakma tesisleri, egzoz gazları vs.) çok büyük miktarlarda iz metal atmosfere, toprağa ve su sistemlerine doğal emisyon oranlarını aşan miktarlarda salınmaktadırlar. İz metallerin atmosfer döngüsüne karışmaları partikül emisyonu ile ilişkilidir (Bilos, 2001). İz metallerin en zehirli olanları (Pb, Cd, Zn, Ni, ve Cu) için insan kaynaklı emisyonlar, doğal kaynaklı olanlardan daha önemlidir. Zehirlilik açısından bakıldığında, hava kaynaklı partiküller sağlık açısından çok önemli yere sahiptirler. Temel olarak 10 μm çaptan daha küçük partiküllerin solunum yolu ile yutulması neticesinde bu partiküller alveolar bölgede tutunarak insan sağlığı üzerinde önemli etkilere neden olabilirler ve bilimsel alanda *çok önemli* olarak kabul edilirler (Nriagu, 1989).

Bu çalışmanın amacı, Temmuz 2002 ve Temmuz 2003 yılları arasında (bir yıl boyunca) Büyükçekmece bölgesinde Dichotomous örnekleyicisi yardımıyla toplanan $\text{PM}_{2.5}$ ve $\text{PM}_{2.5-10}$ örneklerinde belirlenmiş bir dizi metali (Al, Fe, Zn, Mg, Na, Cr, Cd, Ni, ve Pb) analiz ederek; bölge havasının ağır metal konsantrasyonları açısından durumunu, bölgeye ulaşan atmosferik partiküler madde iz elementlerinin kaynaklarını, günlük bazda toplanan örnekler sayesinde yıllık, mevsimlik ve aylık olarak bu konsantrasyonların ve partiküler madde karakterizasyonunun değişimini incelemektir.

1.2 Partiküler Madde

“Partikül madde” veya “PM” havada bulunan, saf su hariç sıvı ve katı parçacıkların hepsine birden verilen isimdir. Partikül çapı yaklaşık 0.005 μm ’den 100 μm ’ye kadar değişim gösterebilir. Bunun yanı sıra askıdaki boyut dağılımı genellikle 40 μm çaptan küçük olan parçacıklardan meydana gelmektedir. PM elementel ve organik karbon bileşikler, silikon oksitler, alüminyum, demir, iz metaller, sülfatlar, nitratlar ve amonyum gibi maddeler içerir. PM türlerini tanımlamak için uluslararası literatürde bir çok terim kullanılmıştır. Çizelge 1.1’de bunlardan bazıları gösterilmiştir. “ PM_{10} ” terimi, çapı 10 μm veya daha küçük olan tanecikleri ifade eder. 10 μm ’den küçük boyutdaki parçacıklar aynı zamanda “solunabilen parçacıklar” olarak da tanımlanırlar. Tanımdan da anlaşılacağı gibi bu parçacıklar

solunum yoluyla solunum sistemine, bronşlara ve alveol bölgelerine ulaşabilirler. PM_{10} genellikle çap bazında $PM_{2.5}$ ($<2.5 \mu m$) ve $PM_{2.5-10}$ ($>2.5 \mu m$) olarak ikiye ayrılır ve tipik olarak bimodal (iki tepeli) dağılım gösterir.

Bir diğer tanımla doğadaki partiküller, “birincil” ve “ikincil” partiküller olarak tanımlanmaktadır. Birincil olarak ifade edilen partiküller direkt atmosfere atılmakta olan partiküller olup, ikincil partiküller; bir takım kimyasal ve fiziksel dönüşümler neticesinde atmosferde oluşan partiküllerdir.

Birincil PM_{10} partikül maddelerin kaynağı doğal kaynaklar ve insan faaliyetlerine bağlı kaynaklar (antropojenik) olmak üzere iki kısma ayrılır. Bunlar rüzgar etkisiyle oluşan tozlar, denizlerden oluşan spreyleyler, volkanlar ve fosil yakıtlarının yakılması gibi insan orijinli faaliyetler olarak tanımlanabilir. Bunlardan doğal partikül kaynakları rüzgar etkisiyle oluşan tozlar, denizlerden oluşan spreyleyler, volkanlar; insan kaynaklı olanlar ise, petrol ve diğer fosil yakıtların yakılması, endüstriyel aktiviteler, taşımacılık vs.dir. Yüksek ısıli yanma sonucu oluşan partikül maddeler solunabilen partiküllerin $PM_{2.5}$ kısmını oluştururken, parçalama ve öğütme işlemleri, rüzgar erozyonu gibi işlemlerden oluşan emisyon ise $PM_{2.5-10}$ kısmı oluşturmaktadır. İkincil partiküller, sülfürdioksit (SO_2), azotoksitler (NO_x) ve amonyak (NH_3) gibi aerosole dönüşebilen inorganik ve organik gazların, sülfat partiküllerinin, nitrat ve yoğunlaşmış organik bileşiklerin meydana gelmesi ile oluşurlar.

Partiküler maddenin atmosferdeki davranışı ve insan sağlığına ve görülebilirlik düzeyine olan etkileri partiküler maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu özellikler maddenin kaynak tipine ve atmosferdeki veya kaynağındaki oluşma özelliklerine bağlıdır. Takip eden bölümlerde partiküler maddenin fiziksel ve kimyasal karakteristikleri üzerinde durulacaktır.

Partikül maddelerin sağlık üzerine etkisi partikül büyüklüğü ve konsantrasyonuna bağlıdır. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ 'in günlük dalgalanmalarına göre sağlık etkileri de değişir. Akut etkileri günlük mortalitede artışa, solunum sistemi hastalıklarının alevlenmesine, hastane başvurularında artışa, bronkodilatör kullanımı ve öksürük prevalansında artışa, solunum fonksiyonlarında azalmaya yol açmaktadır. Çok düşük değerlerde bile ($100 \mu g/m^3$ 'den az) kısa süreli maruz kalım sağlığı etkilemektedir (Goldwater ve Clarkson, 1972). PM 'nin düşük değerlerde uzun süreli etkileri de mortalite ve solunum sistemi hastalıklarında artış ve solunum fonksiyonlarında azalma gibi kronik etkilere yol açmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda çok düşük düzeylerde bile sağlık sorunlarına neden olduğu belirlenmiştir (Laden

ve arkdş., 2002). Bu nedenle sağlık açısından hem kısa süreli hem de uzun süreli ortalama konsantrasyon için önerilen bir eşik değeri yoktur.

Çizelge 1.1 Atmosferik partikül maddeler ile ilgili terminoloji (Seinfeld ve Pandiz, 1998)

Aerosoller, aerokolloidler, hava yayılım sistemleri	Gazlarda yayılmış olan küçük tanecikler
Partikül	Katı maddelerden oluşabileceği gibi, katı ve sıvı boyutları $>0.001 \mu\text{m}$ 'den büyük $500 \mu\text{m}$ 'den küçük parçacıklar.
Toz (Dust)	Kırma, eleme vs. gibi mekanik işlemler neticesinde ortaya çıkan havada askıda bulunan katı parçacıklar. $D_p > 1 \mu\text{m}$.
Sis (Fog)	Görülebilir aerosollerin sıvı faz ortama yayılmış haline verilen isimdir. Genellikle, su veya buzun yer seviyesine yakın bir konumda dağılmasıdır.
Füme	Genellikle erimiş maddelerden uçucu hale geçme sonrası buhar fazından yoğunlaşarak ve oksitlenme gibi bir kimyasal reaksiyon eşliğinde oluşan katı parçacıklardır. $D_p < 1 \mu\text{m}$.
İnce sis, Pus (Haze)	Görüş mesafesini azaltan su damlacıkları, kirleticiler ve tozların bileşimi olan bir çeşit aerosol. $D_p < 1 \mu\text{m}$.
Buğu (Mist)	Sıvı haldedir, genelde atmosferde veya yüzeye yakın bölgelerde askıda bulur. Küçük su parçacıkları, yağmur formuna yaklaşan bir şekilde yüzmekte ve düşüşe geçmektedirler ve genellikle sis ile karıştırılabilirler. Sisden ayırıcı özelliği; daha şeffaf olmaları veya büyük oranda parçacık dağılımının $D_p = 1 \mu\text{m}$ 'dan aşağıda olmasıdır.
Smog	Bu terim ingilizce <i>smoke</i> ve <i>fog</i> terimlerinin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Aerosollerle aşırı şekilde kirlenmiş olma durumunu açıklar, ve günümüzde havadaki kirliliği ifade etmek için kullanılmaktadır.
Duman (Smoke)	Yetersiz yanma sonucu oluşan gaz kaynaklı parçacıkların ve karbon ve yakılabilen materyallerin diğer katı parçacıklardan bağımsız olarak gözlenebilecek miktarda ortamda bulunması durumu duman olarak tanımlanır. $D_p \geq 0.01 \mu\text{m}$.
İs (Soot)	Karbonlu bileşiklerin yetersiz yanması sonucu oluşan, karbon açısından zengin katranlı parçacıkların bir araya gelmesiyle oluşur.

1.3 Partikül Madde Fiziksel Özellikleri

1.3.1 Partikül Boyutu

Partikül maddelerin yer değiştirme işlemleri, atmosferde kalma süreleri, görüş mesafesine olan etkileri gibi fiziksel davranış özelliklerinin belirlenmesinde en önemli parametre partikül boyutudur (Álvarez ve arkdş., 2004). Partikül boyutu tipik olarak partikülün çapıyla ifade edilmektedir. Sıvı parçacıklar genelde küresel şekillere sahiptirler, fakat katı parçacıkların

şekilleri düzensizdir. Bu değişikliği küresellik ile ifade edebilmek için partiküllerin çap ifadesinde eşdeğer çap ifadesi kullanılır. Partikül boyutunun ifadesinde oldukça sık bir şekilde kullanılan ifade “Aerodinamik çap” kavramıdır. Aerodinamik çap, sabit ve durgun bir ortamda düşmekte olan bir parçacığın aynı ortamda aynı çökme hızına sahip bir küre şekilli parçacıkla aynı eşdeğer çapa sahip kabul edilmesidir. Toplanan partiküllerin yoğunluğu biliniyor ise, eşdeğer çap “ D_p ” Stokes’ çapı olarak ifade edilirken, eğer yoğunluk bilinmiyorsa, parçacıkların yoğunluğu 1g/cm^3 kabul edilerek, eşdeğer çap “eşdeğer aerodinamik çap” şeklinde ifade edilir. Stokes kanunu çapları 1 ve 100 μm arasında olan parçacıklar için geçerlidir. 1 μm ’den küçük parçacıklar için, hava akışı içerisindeki eşdeğer çapa sahip taneciklerin davranışı geçerli değildir. Hava molekülleri içerisinde kaymakta olan 1 μm ’den küçük parçacıklar için bir Cunningham düzeltme faktörü uygulanmalıdır. Bu faktör parçacığın yüzeyinin doğal yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Fuchs, 1964).

1.3.2 Partikül Boyut Dağılımı Tanımları

Daha önceki bölümde partiküllerin dağılımı ile ilgili bazı tanımlamalar yapıldı. Bu bölümde partikül boyut dağılımları daha detaylı olarak ele alınacaktır. Aerosol bilimcileri partikül boyutunu esas alarak dört farklı yaklaşım ortaya koyarlar:

1. Modlu sistem: Gözlenen boyut dağılımını ve oluş mekanizmalarını temel alan tanımlamadır,
2. Örnekleyici kesme noktası: Genellikle özel örnekleme cihazlarının %50 kesme noktalarını temel alan tanımlamadır,
3. Günlük dozaj veya mesleki sağlık boyutları: Solunum sisteminin bir çok bölümüne girişini temel alan tanımlamadır,
4. Kanuni sınıflama: Hava kalite standartlarını düzenleyen boyut dağılımıdır.

Modlu sınıflandırma sistemi ilk olarak Whitby (1978) tarafından ifade edilmiştir. Gözlemlenmiş olan modlu yapı genellikle log-normal dağılımlarla ifade edilmiştir. Boyut dağılımının modlu sistemde ifadesinde kullanılan terminoloji aşağıdaki sırayla verilebilir.

Kaba kısım: Çapları esas alındığında, parçacık dağılımının genelde 2,5 μm ’den büyük olması durumudur. Bu parçacıklar genelde mekanik yollarla üretilmektedirler.

İnce kısım: İnce kısım da ise parçacıklar genelde 2,5 μm çaplarından küçük parçacıkları ihtiva

ederler. Bu parçacıklar yanma işlemlerinden sonra ve atmosferdeki gazların dönüşmesiyle meydana gelirler. İnce kısım; yığılma modu ve çekirdek modu olarak isimlendirilen iki kısım parçacık modunu ihtiva etmektedir.

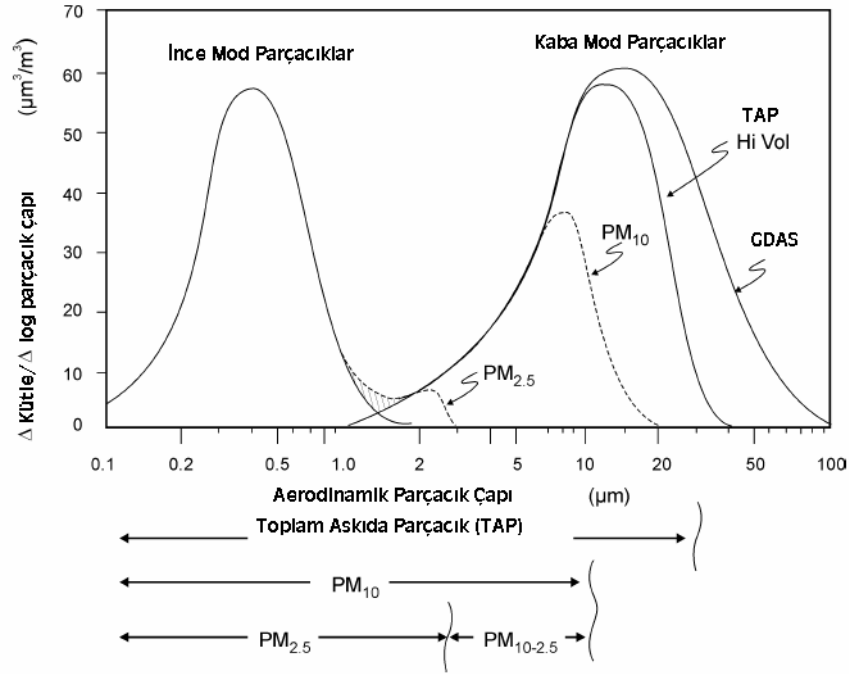
Çekirdek modu: İnce partiküllerin bu kısmı genelde 0.1  m'den küçük çapa sahip partikülleri ihtiva etmektedir. Çekirdek modu sadece temiz ve kirlilik kaynaklarından uzak alanlarda toplanan örneklerde gözlenebilmektedir. Epidemoloji ve sağlık bilimlerinde bu terim “ ok ince” terminolojisi ile kullanılırken; aerosol fizikçileri ve malzeme bilimcileri laboratuvarlarda bu boyut dağılımında üretilen parçacıklar için “nanopartiküller” terimini kullanmaktadırlar.

Yığılma Modu: İnce partiküllerin bu kısmı genelde 0.1  m'den b   k çapa sahip parçacıkları ihtiva etmektedir. Normal olarak PM_{2.5-10} partikül kısmında bulunmazlar. Fakat  ekirdek kısım parçacıkları kaba kısımda koagülasyon veya yapışma yoluyla (düşük eşlenik enerjiye sahip gaz molekülleri bir partiküle yapışabilirler) yığılma yapabilirler.

Bu  alışmada PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} partikül terimleri şekil 1.2'da gösterilen dağılım esas alınarak kullanılacaktır.

1.3.2.1 Örnekleyici Kesme Noktası

Diğer bir partikül boyutu sınıflandırma seti seçici örnekleyici kesme noktalarını esas alan sınıflama sistemidir. Seçici  rnekleme demek, belirli bir aerodinamik çaptan daha küçük yada belirli çaplar aralığında örnekleme yapabilen örnekleyici cihazlarla yapılan örneklemedir. Burada amaç özel bir anlam içeren boyut dağılımında örnekleme yapabilmektir. Mesela, sağlık, görülebilirlik, kaynak belirleme vs. gibi. Bu çalışmada kullandığımız “Dichotomous”  rnekleyicisi atmosferik partikülleri PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} şeklinde ayırarak ayrı filtreler üzerinde toplayabilmektedir. Öte yandan, PM_{2.5} kısımdaki partiküllerin %10'luk kısmı PM_{2.5-10} kısım filtrelerinde toplanmaktadırlar.



Şekil 1.2. $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ partikül ideal dağılımı (Wilson ve Suh, 1997)

1.3.2.2 Günlük Dozaj veya Mesleki Sağlık Boyutları

Günlük dozaj veya mesleki sağlık boyutları insan sağlığını korumak amacıyla belirlenmiş olan boyut dağılımlarıdır. Bu grup kendi içinde “inhalable (IPM)”, “thoracic (TPM)”, ve “respirable (RPM)” parçacıklar olarak üst sınır boyutlarına göre ve solunum yollarında yerleştikleri veya girdikleri bölgelere bağlı olarak sınıflandırılmışlardır. IPM parçacıklar ağız ve burun yoluyla solunum sistemine girerler. TPM parçacıklar gırtlığı geçerek akciğerlere ulaşabilirler. RPM parçacıklar TPM parçacıkların bir alt grubu olup, akciğerlerin içersindeki gaz değişim bölgelerine ulaşabilme kabiliyetinde olan parçacık grubudur (Chapman ve arkdş., 1997; Hu, 1998).

1.3.2.3 Kanuni Sınıflama

1987’de NAAQS (National Ambient Air Quality Standards) askıda katı madde tanımı için PM_{25} yerine PM_{10} ’un kullanılması gerektiğini belirlemiştir. Bu tanımlamanın bir neticesi olarak boyut seçebilen örneklemede temel olarak PM_{10} alınmaya başlanmıştır. Sağlık açısından solunum yollarına girebilen ve zararlı olduğu kabul edilen boyut dağılımı için ise $PM_{2.5}$ baz alınmaya başlanmıştır. Buda boyut seçebilen örnekleme için bir temel oluşturmuştur. Diğer bir taraftan da $PM_{2.5}$ örnekleyicileri, solunabilen partikülleri toplamak

için dizayn edilmemişlerdir. Dizayn edilmelerindeki temel prensip; kaynaklarının özelliklerinden dolayı $PM_{2.5}$ kısımdaki partikülleri toplamaktır.

1.3.3 Partiküllerin Oluşumu ve Büyümesi

Partiküllerin oluşumunda iki temel işlem vardır; parçalama, atomizasyon ve aşırı doymun buharların nükleasyonu (bir araya gelerek partikül oluşturmaları). Parçalama, atomizasyon mekanik işlemlerdir, partiküllerin direkt olarak hava ortamına verilmelerine neden olurlar. Bu tip işlemler sonucu oluşan partiküller işlemin doğası gereği genelde $PM_{2.5-10}$ partikül kısmında yer alırlar. Rüzgar etkisi ile oluşan tozlar, deniz spreyleri bu gruba örnek olarak verilebilir. Aşırı doymun buharların nükleasyonu, bu buharların moleküler aglomerasyonu sonucunda meydana gelir. Bu işlem sırasında başka yabancı partiküller ve iyonlar ortamda mevcut değilse homojen bir çekirdek oluşumu gerçekleşirken ortamda yabancı partiküllerin ve iyonların bulunmasıyla heterojen bir çekirdek oluşumu gerçekleşir. H_2SO_4 'ün hidroksil (OH) radikalinden SO_2 ile reaksiyonu neticesinde oluşması homojen nükleasyona bir örnek olarak verilebilir. Otomobil egzoz gazlarının soğuması sürecinde hidrokarbon buharlarının karbon partikülleri üzerine yapışması ve güç tesisi dumanlarının soğuması sürecinde H_2SO_4 moleküllerinin uçucu küller üzerine yapışmaları heterojen nükleasyona örnek olarak verilebilirler.

Partikül büyümesi, partikül-partikül ve gaz-partikül ilişkilerinden dolayı meydana gelebilir. Partikül-partikül ilişkisi, iki veya daha fazla partikülün birleşerek daha büyük bir partikülü oluşturma işlemidir. Gaz-partikül ilişkisinde ise, sülfatlar ve nitratlar gibi nem kapıcı partiküller su buharını emmeleri esnasında; kirleticiler olan SO_2 , NO_2 ve hidrokarbonları da emerek sülfat (SO_4^{2-}) ve nitrat (NO_3^-) ve organik bileşikli ürünler meydana getirirler. Bu büyüme işlemi genel olarak çapı $1\ \mu m$ 'den küçük çekirdek kısım partiküller ile sınırlıdır (McMurry, 2000).

Kent dış hava ortamında bulunan partiküllerin yüzey alanlarının yapısı yapışmaya müsait olduğu için kolay bir şekilde değişebilme özelliğine sahiptir. Yeni partiküllerin oluşumu yoğunlaşabilen türlerin emisyonuna yakın olmayan bölgelerde pek gözlenmemektedir. Wilson ve arkadaşları (1977) trafikteki *Çekirdek Kısım* partikül oluşumuna dair gözlemlerini yayınlamışlardır. Öte yandan temiz ve uzak bölgelerde bile bu tip partiküllerin meydana geldiği gözlenmiştir. Litaratürde *Çekirdek Kısım* partiküllerin yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu durumlar genellikle düşük partikül kütle konsantrasyonlarının olduğu bölgeler için rapor edilmiştir (Clark ve Whitby, 1967). Atmosferde çekirdek kısım partiküllerin meydana

gelmesine uygun dört ana sınıf partikül türü vardır;

Ağır metal içeren partiküller: Metal ihtiva eden kömür veya petrolün yanma işlemi esnasında, metal oksitlerin, çekirdek kısım partiküllerinin veya metal bileşiklerinin buharlaşmaları ve bu buharın nükleasyona uğraması işlemi ağır metal içeren partikülleri oluşturur. Bunun yanı sıra, metalik içerikli çok ince partiküller, petrol katkıları, motor yağları, benzin ve dizel yakıtların yanmasıyla buhar halinde atmosfere salınırlar.

Elementel karbon (EK) veya İs: Elementel karbon partikülleri yanma işlemi sırasında C_2 moleküllerinden meydana gelirler. Elementel karbon düşük buhar basınç eşleniğine sahiptir, çok ince elementel karbon partikülleri yüksek sıcaklıklarda da partikül haline dönüşebilirler (Kittelson, 1998).

Sülfatlar ve nitratlar: Atmosferde bulunan sülfürik asit (H_2SO_4), amonyak (NH_3), amonyum sülfat ($(NH_4)_2SO_4$) ve amonyum asit sülfat (NH_4HSO_4) ve kükürtdioksitin (SO_2) dönüşümleri sonucunda atmosferik sülfatlar ve nitratlar oluşurlar. Bu oluşum yeni bir partikül biçiminde oluşabileceği gibi, yapışma yoluyla da meydana gelebilir.

Organik karbon: Son zamanlarda yapılan çalışmalar göstermiştir ki, atmosferdeki organik bileşikler atmosferik oksitlenme sonucunda düşük buhar basınçlı bileşiklere dönüşerek organik karbon partiküllerini oluşturabilirler (Kamens, 1999; Weschler ve Shields, 1999).

1.3.4 Partikül Taşınması ve Yer Değişimi

Partiküllerin taşınması ve yer değiştirme mekanizmaları partikül boyutu ile doğrudan ilgilidir. $PM_{2.5-10}$ partiküller tipik olarak yüzeye yakın kaynaklardan yayılırlar ve yerçekiminin etkisi ile $PM_{2.5}$ partiküllere göre daha kolay bir şekilde çökerler (çökelme). $1\mu m$ 'den küçük çapa sahip partiküller için çökelme etkili bir giderim mekanizması değildir. Bunun yerine diğer mekanizmalar etkilidir, bunlar;

Kuru depolanma: Atmosferdeki hava/yüzey etkileşiminin bir neticesi olarak kimyasal türlerin veya partiküllerin atmosferden giderilme mekanizması,

Yaş depolanma: Yağmurla etkileşim sonucu kimyasal türlerin veya partiküllerin atmosferden giderilme mekanizması.

Kuru çökelme bir çok aşamadan oluşan bir işlem olarak görülebilir. Bu aşamalar; sınır tabakasından yüzeye kimyasal türlerin veya partiküllerin kontrolsüz taşınması, yüzeye

difüzyon, ve yüzey tarafından tutulmadır.

1.4 Partiküler Madde Kimyasal Özellikleri

Atmosferik partiküler maddenin genel bileşenleri; sülfat, nitrat, amonyum, hidrojen iyonları, partiküllere bağlı su, elementel karbon, organik bileşikler ve yerkabuğu maddeleridir. Partikül maddeler bir çok elementin oluşturduğu bileşikler değişik konsantrasyonlarda içermektedir.

Sülfat, amonyum, hidrojen iyonları, elementel karbon, yanma ve yemek pişirme işlemlerinden kaynaklanan birincil ve ikincil organikler ve metaller genellikle $PM_{2.5}$ partikül fazında bulunmaktadır. Kalsiyum, alüminyum, silikon, magnezyum, ve demir gibi yeryüzü maddeleri ise ağırlıklı olarak $PM_{2.5-10}$ partikül fazında bulunmaktadırlar. Potasyum ve nitrat gibi bazı bileşenler ise hem $PM_{2.5}$ hem de $PM_{2.5-10}$ partikül fazında bulunabilmelerine rağmen kaynaklarının veya mekanizmalarının farklı olduğu bilinmektedirler (Gatari ve arkdş., 2001). $PM_{2.5-10}$ partiküllerindeki potasyum topraktan gelmektedir. $PM_{2.5}$ partiküllerindeki potasyumun kaynağı ise ağaç yanması ve et pişirme gibi işlemlerdir (Gatari ve arkdş., 2001). $PM_{2.5}$ partiküllerindeki nitrat genellikle nitrik asitin gaz fazda amonyak ile reaksiyonu sonucu amonyum nitrat partiküllerinin oluşmasıyla meydana gelir. $PM_{2.5-10}$ fazdaki nitrat ise, gaz fazdaki nitrik asidin daha önceden ortamda bulunan $PM_{2.5-10}$ partiküllerle reaksiyona girmesinin sonucunda oluşmaktadır.

1.4.1 Birincil ve İkincil Partiküler Maddeler

Partiküler madde birincil ve ikincil partiküler madde şeklinde ifade edilebilir. Birincil olarak ifade edilen partikül maddeler hava ortamında kaynaklarından çıktıkları formlarını koruyan partiküllerdir. İkincil olarak ifade edilenler ise atmosferde çeşitli reaksiyonlar ile meydana gelen partiküllerdir. Birincil $PM_{2.5-10}$ partiküller genelde mekanik işlemlerin bir sonucu olarak meydana gelirler. Bu işlemlerin oluşturduğu maddelerden bazıları şunlardır; rüzgar etkisiyle esen tozlar, deniz tuzları, toprak tozları, yanma işlemiyle oluşan uçucu kül ve is. Birincil $PM_{2.5}$ partiküller kaynaklardan direkt olarak partikül şeklinde çıkabilecekleri gibi, buhar halindeki emisyonların çok hızlı bir şekilde havada yoğunlaşarak çok ince ($dp < 1\mu m$) ve çekirdek mod partiküllerinin oluşturmasıyla da meydana gelebilirler. Bu grup partiküller, dizel motorlardan gelen isi, yetersiz yanmadan ve pişirme işlemlerinden dolayı oluşan bir dizi organik bileşikler, ve yanma veya metal eritme işlemlerinden oluşan As, Se, Zn, vs. bileşiklerini içermektedir. Birincil partiküllerin konsantrasyonları emisyon oranlarına, yayılma ve taşınma işlemlerine, ve atmosferdeki giderim mekanizmalarına bağlı olarak

değişim göstermektedir. İkincil partiküller serbest haldeki, gazların kimyasal reaksiyonlarının bir neticesinde meydana gelir. İkincil $PM_{2.5}$ partikül maddelerin büyük bir kısmı gaz fazda bulunan öncü maddelerin (precursors) bir dizi kimyasal reaksiyonlar sonunda oluşturduğu yoğunlaşabilen buharlardan meydana gelmektedir. İkincil oluşum işlemi sonucunda yeni partiküller oluşabileceği gibi hali hazırda mevcut bulunan partiküllere eklenme şeklinde de olabilir. Atmosferik partiküllerdeki sülfat, nitrat ve organik bileşiklerin çoğu atmosferde meydana gelen kimyasal reaksiyonların sonucunda oluşur.

İkincil aerosol oluşumu bir çok faktöre bağlıdır. Bu faktörler öncü maddelerin ortamdaki konsantrasyonları, ozon, radikal hidroksil, hidrojen peroksit v.s. gibi diğer reaktif gaz türlerinin konsantrasyonları, solar radyasyon ve rölatif nemlilik gibi atmosferik şartlardır. Birincil partiküllerin emisyonlarına bağlı tahminleri mümkündür, fakat ikincil partiküllerin öncü maddelerinin emisyonlarına bağlı konsantrasyonlarının tahmini birincil partiküllere göre oldukça zordur. Organik bileşikler içeren fotokimyasal dumanın ürünlerinin belirlenmesi ve modellenmesi için ciddi çalışmalar bilimsel alanda teşvik edilmektedir.

1.4.2 Partiküllerin Atmosfer Ömrü ve Taşınma İşlemleri

Partiküllerin ömrü boyutlarına göre değişim gösterir. Çekirdek modundaki partiküller hızla yığılma modu partiküllerine dönüşürler. Fakat yığılma modundaki partiküller kaba partikül boyutuna büyüyemezler. Yığılma modundaki $PM_{2.5}$ partiküller normal hava hareketlerinde askıda kalırlar ve oldukça düşük yüzdelere yüzeylere depolanabilirler. Bunlar atmosferde binlerce kilometre taşınabilirler ve günlerce askıda kalabilirler. $PM_{2.5-10}$ partiküller atmosferde birkaç saat içinde çökebilirler ve yalnızca kısa mesafelere taşınırlar. Eğer küçük boyutlu $PM_{2.5-10}$ partiküller toz fırtınaları şeklinde atmosferde yüksek bir oranda karışım oluşturmuşlarsa daha uzun miktarlarda askıda kalabilirler ve uzun mesafelere taşınabilirler. Kuru depolanma oranları depolanma hızlarına bağlı olarak ifade edilirler ve partikül boyutuna bağlı olarak değişim gösterirler (Satsangi, 2002). Yığılma modundaki partiküller öncelikle yıkanma ile atmosferden ayrılırlar. $PM_{2.5}$ partiküller özellikle de higroskopik içeriğe sahip olanlar, rölatif nem yükseldikçe büyüyerek bulut yoğunlaşma çekirdekleri gibi hareket ederler ve damlacıkların içinde büyümeye devam ederler. Eğer bu damlacıklar yağmur oluşumu için yeterince büyük hale gelirlerse bu partiküller yağmur yoluyla atmosferden taşınırlar. Yağış esnasında yağmur tanecikleri $PM_{2.5-10}$ partiküllere de çarparlar ve bu şekilde havadaki kaba partiküllerin taşınmasına neden olurlar. Partiküllerin taşınması, bileşimleri, oluşumları, kaynakları, atmosfer ömürleri ve taşınabilme mesafeleri Çizelge 1.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 1.2. Atmosferik Partiküllerin Mukayesesi (Wilson ve Suh 1997).

	PM _{2.5} Partiküller		PM _{2.5-10} Partiküller
	Çekirdek Modu	Yığılma Modu	
Oluşum kaynağı	Yanma, Yüksek ısı işlemleri ve atmosferik reaksiyonlar		Katıların parçalanması
Oluşma İşlemi	Nükleasyon Yoğunlaşma Yumaklanma	Yoğunlaşma Yumaklanma gazların partiküllerde ve partiküllerin üzerinde ki reaksiyonları İçinde gazların çözöldüğü sis ve duman damlacıklarının buharlaşması	Mekanik yolla bozulma (kıırma, öğütme ve yüzeylerin aşınması) Spreylerin buharlaşması Tozların askıda kalması Gazların partiküllerde veya partiküllerin üzerinde tepkimeye girmesi
Bileşimi	Sülfatlar Karbon Metal bileşikleri Dış atmosfer sıcaklığında az doymuş buhar basına sahip organik bileşikler	Sülfat, nitrat amonyum ve hidrojen iyonları Karbon Bir çok çeşit organik bileşikler Metaller: Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, v.s bileşikleri Partiküllere bağlı su	Askıda toprak veya sokak tozları Ağaç, kömür ve petrol ürünlerinin kontrolsüz olarak yakılmasıyla oluşan uçucu küller HNO ₃ ve HCl den gelen nitrat ve Klor bileşikleri Yeryüzü elementlerinin (Si, Al, Fe vs.) oksitleri CaCO ₃ , NaCl, deniz tuzu, polen, küf, mantar sporları, bitki ve hayvan parçacıkları Araba lastik parçaları, fren parçaları, yol kaplama parçaları
Çözünürlüğü	Yığılma moduna oranla daha az çözünür	Büyük oranda çözünür, higroskopik, nemlenerek sıvılaşabilir	Büyük kısmı çözünemez ve higroskopik değil
Kaynakları	Yanma, SO ₂ ve bazı organik bileşiklerin atmosferde dönüşümü, Yüksek ısı işlemleri	Dizel, petrol türevleri, kömür, ağaç, vs. yanma işlemleri SO ₂ , NO _x , ve organik bileşiklerin atmosferde dönüşümü, Yüksek ısı işlemleri (çelik işleme, metal ergitme vs.)	Endüstriyel tozların askıda kalması, yol ve caddelerden toprak parçacıklarının askıda kalması tarım, madencilik, döşemesiz yollar gibi ortamlardan toprak ve toz parçalarının askıda kalması İnşaat yapma ve yıkma işlemleri Kontrolsüz petrol ve kömür yakma Okyanus spreyleri Biyolojik kaynaklar
Atmosferik Ömrü	Dakika- saat	Gün- hafta	Dakika-saat
Taşınma İşlemleri	Yığılma modunda büyür	Yağmur damlalarını oluşturur ve yağışla taşınır	Kuru depolanma, yağış esnasında yıkanma yoluyla taşınır
Taşınma Mesafesi	0 ila 10 km	100 ila 1000 km	0 ila 10 km 100 ila 1000 km (kum fırtınası halinde)

Ultra-ince ve çekirdek modu partiküller düşmekte olan yağmur taneciklerine diffüz edebilecek kadar küçüktürler ve bu mekanizma sayesinde yakalanır ve yağmur damlaları ile atmosferden taşınırlar. Yağış mekanizması yığılma modundaki partiküllerin taşınmasında yukarıda anlatılan bulut yoğunlaşma işleminden daha az etkilidir.

Asit depolanması ve PM birbiri ile ilişkidir. Bunun nedenlerinden biri; partiküllerin yağmurun

asitleşmesine yol açması, ikincisi asitliliğin kuru çökmesine neden olan gaz fazındaki maddeleri partiküllerin öncüleri (precursors) olmasıdır. Bu nedenlerden dolayı SO_2 ve NO_x emisyonlarındaki azalmalar asit depolanması ve PM konsantrasyonlarının düşmesine neden olur. Sülfat, nitrat ve kısmi olarak okside olmuş organik bileşikler higroskopiktir ve bulut damlalarının oluşumuna neden olurlar. Bu yağmur damlaları çözülebilen gazların çözünebildiği (az miktarda) kimyasal bir reaktör haline gelir. Dolayısıyla, SO_2 yağmur damlalarında çözünebilir ve çözünmüş ozon ve hidrojen peroksit ile tepkimeye girerek sülfürik asit oluşumuna neden olur. Tüm bu işlemler su fazında gerçekleşir, hava fazında gerçekleşemez. SO_2 çözünmüş oksijenle de okside olabilir. Bu işlem eğer ortamda demir ve mangan gibi metal kristal katalizörleri varsa daha hızlı bir şekilde gerçekleşecektir. Sülfürik asit, amonyum sülfatları ve organik partiküler yüzeylerde kuru çökme işlemiyle de depolanabilirler.

1.5 $\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{2.5-10}$ ve PM_{10} Ölçme Teknikleri

1997 yılında EPA $\text{PM}_{2.5}$ ölçümü için yeni standartlar getirmiştir. EPA tarafından $\text{PM}_{2.5-10}$ partikül boyutunu solunabilen kaba partikül sınıfı olarak tanımlamıştır (EPA/600/P-95/001cF, 1996). $\text{PM}_{2.5-10}$ ölçüm teknikleri $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} ölçümlerinden daha zor ve karmaşıktır. $\text{PM}_{2.5-10}$ örneklerini toplanabilmesi için, $10\mu\text{m}$ D_a kesme noktasının $2.5\mu\text{m}$ D_a kesme noktasından ayrılması gerekmektedir.

Fark Metodu: PM_{10} ve $\text{PM}_{2.5}$ ölçümlerinde kullanılan metotlardan birisi aerosolleri ayrı ayrı PM_{10} ve $\text{PM}_{2.5}$ olarak toplamak ve $\text{PM}_{2.5-10}$ 'un toplanan iki parametrenin farkının alınması yoluyla bulunmasıdır. Bu metodun en olumsuz tarafı örnekleme yapılırken bir boyutta sorun çıkarsa $\text{PM}_{2.5-10}$ değerlerinin hesaplanamamasıdır. Buna ilaveten kesme noktalarının debi ayarlarında, filtrelerde, tartım işlemlerinde, yarı uçucu bileşiklerin kaybından kaynaklanan belirsizliklerde vs. çok dikkatli ve düzenli kontroller yapılmalıdır. Aksi halde yapılan hesaplama ve örneklemler güvenilir olmayacaktır.

Çok Safhalı Örnekleme: İkinci teknik ise kütlelerin çarpma etkilerini kullanılmasıyla aerosollerin iki ayrı boyutta ayırarak eş zamanlı olarak toplanmasıdır. Bu işlem için öncelikle bir giriş boyunca hava akışı sağlanır. Bu akışın yardımıyla partiküller giriş boyunca taşınırlar. Akışın hız ve basıncına bağlı olarak belirli bir boyuttan küçük olan partiküller hava akışını belirli bir yüzey boyunca takip ederken, büyük boyutlu partiküller kütlelerinin etkisi ile hava akışındaki yörüngelerinden çıkarlar ve başka bir kanala aktarılırlar (Şekil 2.2). Benzer prensiple çalışan çok safhalı örnekleyciler geliştirilmiştir. Partiküllerin bu tip örneklemesinde

karşılaşılan en büyük sorun partiküllerin bir yüzeye çarptıklarında sıçrama yapmaları ve hava akışında yollarına devam etmek istemeleridir. Bu konuda yapılan çalışmalar yardımıyla bu durumu minimize eden “Dichotomous” örnekleyicisi gibi örnekleyiciler geliştirilmiştir. Bu çalışmada Dichotomous örnekleyicisi kullanarak örnekleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL YAKLAŞIM

2.1 Örnekleme

2.1.1 Örnekleme Bölgesi ve Seçimi

Atmosferik kirleticilerin konsantrasyonları örneklerin toplandıkları yere ve zamana bağlı olarak değişim gösterebilir. Bu değişiklikler en fazla emisyon kaynaklarına yakın noktalarda görülmektedir. Çünkü hava kütleleri nadiren iyi bir karışıma sahiptir. Örnekleme bölgesi seçilirken en önemli kriterler nerede ve ne sıklıkta örnekleme yapılacağıdır. Her noktada anında örnekleme yapılması; ideal bir örnekleme tanımlar fakat gerçekte bu oldukça zordur. Atmosferik analizler için örnekleme konusu özel önem arz etmektedir. Zira yapılacak örnekleme çalışmanın güvenilirliğini belirleyeceği gibi aynı zamanda yapılan ölçümlerin geçerliliğini de belirleyecektir. Örnekleme alanının seçilmesi zor bir işlemdir, çünkü örnekleme, amacına yönelik istasyon yerinin belirlenmesinde bazı temel kriterler vardır, bunlar ikiye ayrılır:

a. Kent bölgesi için;

- İstasyon bölgesi direkt olarak bir kaynaktan etkilenmemelidir.
- Bölge olarak temsil edici mahiyette olmalıdır.
- Yer seviyesinden en az 2 m yüksek olmalıdır.
- Duvar vs. gibi engellerden en az 1.5 m uzakta bulunmalıdır.

b. Kırsal kesim için;

- Yerleşim bölgeleri ve nokta kaynaklardan en az 5 km uzakta olmalıdır.
- Otoyollara uzaklığı en az 1 km olmalıdır.
- Örnekleme alanına yakın bölgede herhangi bir kaynak olmamalıdır (Küçüksezgin, 1988; Balaji, 1993; Önal, 1996; Alagha, 2000; Samura ve arkdş., 2002).

Çalışmanın doğası gereği, araştırmanın konusu ve seçimi yapılacak bölge kullanılacak olan örnekleme bölgesini direkt etkileyecektir. Kentsel çalışmalar için saatlik veri kaydedebilen ve yüksek konsantrasyonlarda çalışma imkanı sağlayabilecek bir örnekleme seçmek gerekirken, kırsal kesimler için ise daha küçük konsantrasyonları örnekleme bölgesi metotlar tercih edilmelidir.

Bölge seçildiğinde dikkat edilecek diğer bir husus da, örnekleme alanındaki meteorolojik parametrelerin tüm bölgeyi temsil edebilecek nitelikte olmasıdır. Cihazı çalıştırabilmek için elektrik bağlantısı da önemli bir parametredir. Elektrik olmayan bir bölgede örnekleme yapılamaz. Ulaşım imkanı açısından da kolay bir bölge seçilmelidir, zira cihazların bakımı ve filtre vs. gibi ekipmanların değişimi için bu önemli bir parametredir. Ayrıca seçimi yapılan

bölgenin dış etkenlere karşı güvenli ve korumalı olması gerekir, mesela cihazın yanında içilecek bir sigara bile örneklemeyi etkileyebilir yada meraklı kişiler tarafından kıymetli cihazlar ve çalışma zarar görebilir.

Bu kriterler göz önünde tutularak, kent merkezinden etkilenen kırsal kesimde hava kirliliğinin etkilerini gözlemek amacıyla bir adet Dichotomous örnekleme cihazı Büyükçekmece Gölünün kenarında insan kaynaklı noktasal kaynaklardan etkilenmeyecek şekilde İSKİ'ye ait Büyükçekmece Su Arıtma Tesisi'ne (41,0430⁰ N, 28,5898⁰ E) yerleştirildi. İstasyonumuz Marmara Denizi'nden yaklaşık 5 km ve Büyükçekmece Gölünden ise 1 km uzakta bulunmaktadır. İstasyon fiziksel özellikleri açısından deniz seviyesinden yaklaşık 20 m yükseklikte, özel olarak korunan ve serbest girişi mümkün olmayan bir alan üzerine kurulmuştur. Cihazın numune alma başlığının yerden yüksekliği (cihazın standart yüksekliği) 1,30 m'dir. Örnekleme cihazının istasyona yerleştirilebilmesi için bölgeye elektrik bağlantısı tesis yönetimi tarafından sağlanmıştır. Herhangi bir istenmeyen müdahaleye engel olabilmek için etrafı güvenlik alanıyla çevrilmiştir. Şekil 2.1'de harita üzerinde örnekleme bölgesi gösterilmiştir. İlgili haritada bölgesel, noktasal ve alansal emisyon kaynakları belirlenmiştir.

2.1.2 Büyükçekmece Bölgesinin Hava Kirliliği Emisyon Kaynakları

Hava kirliliği açısından örnekleme bölgesini etkilemesi mümkün olan alansal ve noktasal kaynakların PM₁₀ emisyon miktarları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu değerler hesaplanırken belirlenen alan ve noktasal kaynaklar aşağıda verilmiştir.

1. Trafik:
 - a. Yerleşim bölgelerindeki trafik
 - b. E5 otoyolu
 - c. TEM otoyolu
 - d. Bağlantı yolları
2. Sanayi bölgeleri:
 - a. Akçansa çimento fabrikası
 - b. S.S. İstanbul Birlik Küçük Sanayi Sitesi Yapı Kooperatifi
 - c. S.S. İstanbul Bakır ve Pirinç Sanayicileri Toplu İş Yerleri Yapı Kooperatifi
 - d. S.S. İstanbul Beylikdüzü Mermer Sanayicileri Küçük Sanayi Sitesi Yapı Kooperatifi
 - e. Kıraç ve Çakmaklı sanayi bölgeleri
 - f. Hadımköy sanayi bölgesi
3. Yerleşim bölgeleri:
 - a. Büyükçekmece belediyesi
 - b. Mimarsinan belediyesi
 - c. Kıraç belediyesi
 - d. Beylikdüzü ve Gürpınar belediyeleri
 - e. Hadımköy belediyesi

2.1.2.1 Trafik Kaynakları

E5 otoyolu, oldukça işlek ve önemli bir trafik kaynağıdır. Örnekleme bölgesinin Güney-Doğusundan başlayarak Güney-Batı kesimine kadar devam etmektedir. İstanbul Ulaşım Koordinasyon Merkezi (UKOME) bir çok bölgede trafik sayımları yapmaktadır. İlgili bölgedeki E5 yolu üzerindeki trafik verileri UKOME'den temin edilmiştir. Bu verilere göre yol boyunca trafik kapasitesi önemli bir değişim göstermemektedir. Düzenli ve düzgün bir kapasitesi olduğu söylenebilir. Günlük ortalama araç sayısı 75.000 taşıttır. Bölgeyi etkilediği düşünülen E5 yolunun uzunluğu yaklaşık 20 km olarak alınabilir.

Çizelge 2.1. Büyükçekmece bölgesi trafik kaynaklı emisyon değerleri

	Taşıt dağılımı*	Trafik kaynaklı emisyon değerleri***			
		E5 Otoyolu (~20 km)			Günlük toplam
		Egzoz		Egzoz harici	
		PM ₁₀ (gr/km)**	PM ₁₀ (gr/gün)	PM ₁₀ (gr/gün)**	
Benzinli Otomobil	18%	0,1	2	0,8	38
Dizel Otomobil	55%	0,2	4	1,6	234
Minibüs	4%	0,3	6	3	26
Otobüs	2%	0,5	10	5	22
Kamyonet	15%	0,5	10	5	172
Kamyon	6%	0,5	10	5	71
Toplam	100%	2,1	42	20	563
		TEM otoyolu (~15 km)			Günlük toplam
		Egzoz		Egzoz harici	
		PM ₁₀ (gr/km)**	PM ₁₀ (gr/gün)	PM ₁₀ (gr/gün)**	
		PM ₁₀ (gr/km)**	PM ₁₀ (gr/gün)	PM ₁₀ (gr/gün)**	
Benzinli Otomobil	18%	0,08	1,2	0,48	11
Dizel Otomobil	55%	0,16	2,4	0,96	93
Minibüs	4%	0,24	3,6	1,8	12
Otobüs	2%	0,4	6	3	10
Kamyonet	15%	0,4	6	3	117
Kamyon	6%	0,4	6	3	65
Toplam	100%	1,7	25	12	307

* 2003 yılı Türkiye genelindeki taşıt oranları baz alınmıştır (www.die.gov.tr)

** Değerler EPA'nın resmi el kitabı (HBEFa2.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

*** UKOME sayımları esas alınmıştır.

TEM otoyolu, örnekleme bölgesinin Kuzey-Doğusundan başlayarak Kuzey-Batı kesimine

uzanmaktadır. TEM otoyolu için örnekleme bölgesini etkileyen mesafe yaklaşık 15 km kabul edilmiştir. Günlük trafik kapasitesi yaklaşık 55.000 taşıttır. Bu veriler eşliğinde trafik kaynaklı PM₁₀ emisyon değerleri günlük yaklaşık olarak E5 otoyolu için 563 kg/gün ve TEM için 307 kg/gün olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2.1).

2.1.2.2 Sanayi Bölgeleri

Akçansa Çimento fabrikası örnekleme bölgesine 5 km mesafede bulunan en yakın ve önemli noktasal kaynaktır. Yıllık üretim kapasitesi 2.500.000 tondur. Çimento fabrikalarının tipik emisyon özellikleri literatürde belirtilmiştir (Işıklı ve arkdş., 2003; Işıklı ve arkdş., 2005). Alüminyum, kalsiyum, demir temel bileşenler olmak üzere krom, nikel, kadmiyum, türü metaller çimento fabrikalarının tozlarında ve baca emisyonlarında yoğun olarak gözlenebilmektedir. Mesela; çimento tozundaki krom konsantrasyonu 17 ila 19 gr/kg oranında değişim gösterebilmektedir (Işıklı ve arkdş., 2003). Çimento fabrikasının emisyonları AP 42 (EPA, 2005) emisyon faktörleri kullanılarak hesaplandığında günlük PM emisyon miktarları ~2,3 ton olarak bulunmuştur. Bazı ağır metaller için de hesaplanan emisyon değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir. İlgili çizelge incelendiğinde eğer emisyon kontrolü olmaksızın üretim yapılırsa, günlük emisyonların nedenli yüksek olabileceği görülmektedir.

Çizelge 2.2. Bölgedeki çimento fabrikası tahmini günlük emisyon değerleri

Kirletici	Emisyon faktörü*	Emisyon	
	[kg/ton]	[kg/gün]	
		ESP kontrollü	Kontrolsüz
PM₁₀	0,33	2270	684110
Al	0,029	196	8053
Ca	0,053	362	14866
Cd	1,83E-05	0,13	5
Cr	1,70E-05	0,12	5
Fe	0,037	257	10530
Pb	1,57E-03	10,7	440

*Bu değerler EPA, AP 42 resmi el kitapçığından alınmıştır.

Birlik Sanayi Sitesi, 235 dönüm arazi üzerinde, 272 üyeden oluşmaktadır. Arazisi 16 ayrı

parselde 400 adet 200 m²'lik birim atölyeler halinde planlanmıştır. Bunlardan 18 adedi 600 m², 74 adedi 400 m², 198 adedi de 200 m² büyüklüğünde bulunuyor. Küçük sanayicilerden oluşmaktadır. İstanbul Beylikdüzü Organize Sanayi Bölgesi (BOSB) kendi yönetim yapısıyla tüm işletmeleri emisyon değerlerini kontrol etmekte ve denetlemektedir. Bölgede sınır değerleri aşan emisyonlara izin verilmemektedir.

Bakırcılar Sanayi Sitesi, 550 dönüm arsa üzerinde, önce 156 parsel olarak yapılmış, daha sonra birleştirmelerle 116 parselde indirilmiş durumdadır. Bunlardan 3 parsel boş olup, 113'ünde tesisler kuruludur. Kurulu gücü 50.000 KVA kadardır.

Mermerciler Sanayi Sitesi, 780 dönüm arazi üzerinde, 147 fabrika parseli (85 adedi ortalama 4.5 dönümlük, 11 adedi 3'er dönümlük, 51 adedi de 2 dönümlük) 100 atölye parseli ve 20 dükkan parseli olmak üzere 280 parselden meydana gelmiştir. Doluluk oranı %80 kadardır. Kurulu gücü 60.000 KVA kadar olup, bu güç 29 trafo ve 2 ana indirici ile sağlanmaktadır.

Aynı bölgede bulunan bu üç sanayi bölgesindeki dikkate değer emisyon hacmi olan tesisler teker teker incelenmiştir. Tesislerin kapasiteleri, baca gazı debileri ve günlük toz emisyon değerleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. BOSB PM emisyon değerleri

BOSB					
Firma türü	Miktar	Baca gazı debisi*	PM Emisyon değeri*		
		[m ³ /saat]	[mg/m ³]	[kg/saat]	[kg/gün]
Madencilik firması	1	4200	4,1	17,2	121
Metal işleme (alüminyum)	8	32160		2	112
Seramik üretimi	1	183	2,1		4
Dökümhane	1	13478	7,1		670
Toplam					906

*Firmaların emisyon raporlarından alınmış değerler

Kıraç ve Çakmaklı sanayi; bölgede irili ufaklı 450 civarında tesis ve işletme bulunmaktadır. Bölgenin denetlemeleri ve kontrolleri Kıraç belediyesi tarafından yapılmaktadır. Belediye yönetimi sanayi tesislerinde fueloil kullanımına izin vermemektedirler, hemen hemen tüm tesisler doğal gaz kullanımına geçmiş bulunmaktadır. Bölge sanayinin çok ağırlıklı bir kesimi tekstil türü firmalardan oluşmaktadır. Hava kirliliği emisyonları dikkate alındığında bölgede 1

adet döküm fabrikası ve 5 adet alüminyum ergiten veya işleyen tesis bulunmaktadır. Bunun haricinde daha önceki dönemlerde faaliyet gösteren bir boya fabrikası emisyonları nedeniyle bölgeden uzaklaştırılmıştır. Diğer tüm tesisler ısınma amaçlı doğal gaz kullanımı haricinde dikkate değer emisyon kapasitelerine sahip değildir. Bölgedeki tesislerin kapasiteleri, baca gazı debileri ve günlük toz emisyon değerleri Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kırac belediyesi sanayi kaynaklı PM emisyon değerleri

Kırac ve Çakmaklı Sanayi					
Firma türü	Miktar	Baca gazı debisi*	PM Emisyon değeri*		
		[m ³ /saat]	[mg/m ³]	[kg/saat]	[kg/gün]
Metal işleme (alüminyum)	4	30000		2	56
Dökümhane	1	15000	7,1		746
Toplam					802

Firmaların emisyon raporlarından alınmış değerler

2.1.2.3 Yerleşim Bölgeleri

Örnekleme alanımızın Güney ve Güney-Batı kesimlerinde yerleşimi bulunan Büyükçekmece belediyesi sınırları içerisinde sanayi alanı bulunmamaktadır. Bir kaç tane tekstil firması mevcut olmasına rağmen bunlar emisyon yayan tesisler değildirler, sadece dikim ve çeşitli tekstil işlemleri yapmaktadırlar. Büyükçekmece belediyesi sınırlarında etkili olan hava kirliliği emisyonlarının sadece trafik ve evsel kaynaklı olduğu söylenebilir. Örnekleme bölgesinin Güney-Doğu kesiminde Beylikdüzü ve Gürpınar belediyeleri, Güney-Batı kesiminde Mimarsinan belediyesi ve Kuzey-Doğu bölgesinde de Kırac, Çakmaklı ve Hadımköy belediyeleri bulunmaktadır. Genel olarak bölgede ısınma amaçlı doğal gaz kullanıldığı için yerleşimden kaynaklanan önemli miktarlarda atmosferik emisyonlar olmamaktadır. Sadece bu çalışmanın yapıldığı dönemlerde Büyükçekmece belediyesinin bir kısmında ve Mimarsinan belediyesinde doğal gaz kullanımına henüz yaygın olarak başlanmamıştı. Örnekleme döneminde kış aylarında ısınma amaçlı kömür ve kalorifer yakılmasından kaynaklanan emisyonlar mevcuttur. Bölgede mevcut bulunan yerleşim amaçlı yapılaşmanın ve ısınma amaçlı kullanılan ağırlıklı yakıt türlerinin genel bir değerlendirmesi şu şekilde yapılabilir:

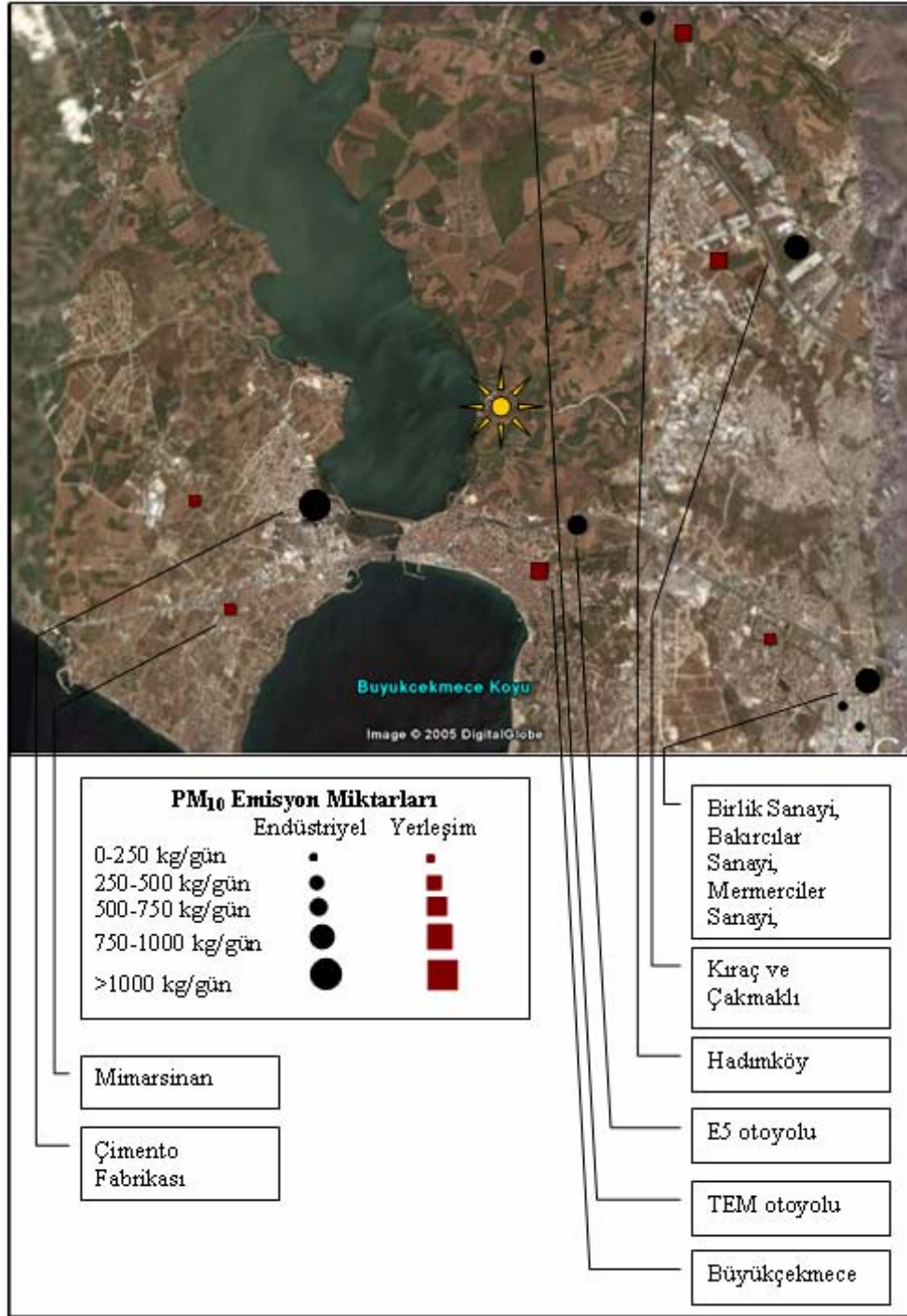
- Büyükçekmece belediyesi (köyler dahil): %50 müstakil ev (kömür), %50 apartman tipi yapılaşma (doğal gaz+fueloil)
- Beylikdüzü belediyesi: %10 müstakil ev (kömür), %90 çok katlı apartman tipi yapılaşma (doğal gaz+ fueloil)
- Kiraç ve Çakmaklı belediyeleri: %90 müstakil ev, %10 apartman tipi yapılaşma (kömür)
- Mimarsinan belediyesi: %50 müstakil ev (kömür), %50 apartman tipi yapılaşma (fueloil)
- Hadımköy belediyesi: %80 müstakil ev (kömür), %20 apartman tipi yapılaşma (fueloil)

Devlet istatistik enstitüsünün 1997 yılında yaptığı nüfus sayımlarına göre bu bölgelerin toplam nüfusu 300.000 civarındır. Yaklaşık olarak hesaplanan günlük ısınma amaçlı PM₁₀ emisyon değerleri Çizelge 2.5’de verilmiştir. Bölgede ısınma amaçlı kömür, fueloil ve doğal gaz kullanımından oluşan toplam PM₁₀ miktarı ~1.500 kg/gün bulunmuştur.

Çizelge 2.5. Büyükçekmece bölgesi ısınma kaynaklı emisyon değerleri

	Müstakil ev	Apartman		PM ₁₀ emisyon değerleri*
	Kömür	Fueloil	Doğal gaz	(kg/gün)
Büyükçekmece	%50	%25	%25	250
Beylikdüzü	%10	%30	%70	195
Kiraç ve Çakmaklı	%90	%10	-	440
Mimarsinan	%50	%50	-	280
Hadımköy	%80	%10	-	350

*Emisyon değerleri EPA, AP42 resmi el kitabı referans alınarak hesaplanmıştır.
Hane başına yıllık 2 ton yakıt kullanımı öngörülmüştür



Şekil 2.1. Örnekleme bölgesi ve yerel emisyon kaynakları

2.1.3 Örneklemede Kullanılan Filtreler ve Özellikleri

Örneklemede kullanılan filtreler 37 mm çaplı ve 2 µm gözenek çaplı Politetra-floroetilen (PTFE) membran filtrelerdir (Teflon® marka). Aerosol örnekleme için kullanılan filtre

tipinin seçilmesinde iki temel unsur göz önünde bulundurulmuştur; hava akımına filtrenin göstereceği dayanım (basınç kaybı) ve boş filtre özellikleri. İdeal olan filtre türü, hava akımına karşı düşük dirençli olması ve temiz filtre için düşük konsantrasyon değerleridir. Örneklemeye yapılan filtrelerdeki metal konsantrasyon değerlerinin örneklenen değerlerden çok düşük olması bir zorunluluktur. Membran filtreler düşük hacimli örnekleyiciler için idealdirler; temiz konsantrasyonları, boşluk çapları vs. özellikleri çok iyi bilinmektedir, fakat çok pahalı olmaları bir dezavantajdır.

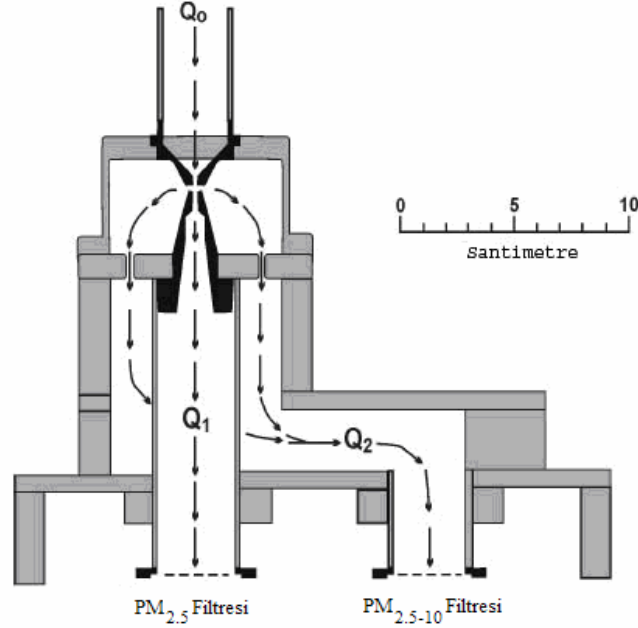
Nemden kaynaklanabilecek kütle değişikliklerini engellemek amacıyla filtreler kullanılmadan önce ve kullanıldıktan sonra kurutma kutusunda (desikatör) 24 saat süreyle bekletilerek tartılma şartlarının aynı olması sağlanılarak nemden kaynaklanacak olan hatalar minimize edildi. Her filtre tartıldıktan sonra hava geçirmez plastik petri tabaklarına yerleştirildi ve numaralandırıldılar.

2.1.4 Dichotomous Örnekleyici

Atmosferik partiküllerin kimyasal özelliklerinin belirlenebilmesinde ilk adım partiküllerin uygun bir metot kullanılarak toplanmasıdır. Bu çalışmada Andersen® marka otomatik Dichotomous örnekleyicisi (seri 245) kullanıldı. Atalet kuvvetlerinin çarpma etkisi prensibine göre farklı boyuttaki parçacıkları ayıran örnekleyici şematik olarak Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Dichotomous örnekleyicisi aerosolleri iki ayrı boyutta ayırarak toplama özelliğine sahip bir örnekleyicidir. Cihazın başlığından (PM_{10} ayırıcı başlık) sadece PM_{10} boyutundaki parçacıklar girebilmektedir, cihazın içersindeki kütleli ayırıcı sayesinde $PM_{2.5}$ partiküller bir filtre üzerinde toplanırken $PM_{2.5-10}$ partiküller ise bir başka filtre üzerinde toplanmaktadır. Birinci boyut aerodinamik çapı $2.5 \mu m$ den küçük partikülleri ($PM_{2.5}$) diğeri ise aerodinamik çapı $2.5 \mu m$ ile $10 \mu m$ arasında olan partikülleri içerir ($PM_{2.5-10}$).

Sistemin toplam debisi tek bir girişten olmak üzere $1 m^3/saattir$. Bu debinin % 90’ı $PM_{2.5}$ partiküllerin % 10’u ise $PM_{2.5-10}$ partiküllerin kütleli olarak ayrılmasında kullanılmaktadır. Partiküller atalet etkilerine göre bu iki ayrı debi sayesinde ayrılarak farklı kanallardan farklı filtreler taşıyınrlar. Bu debilerin ayarlanma işlemi cihazın deniz seviyesine olan mesafesine ve örneklenmek istenen partikül boyutlarına göre değişim gösterebilir. Bu çalışmada cihaz üretici firmasının önerdiği şartlara göre işletilmiştir. Örneklemeye değerleri incelendiğinde her bir filtre üzerinde günlük ortalama 200 ~500 mg partiküler madde toplandığı görülmüştür. Toplanan örnekler $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ partiküllerin kütleli analizleri, kimyasal analizleri vs. için uygundur. Kullanmış olduğumuz örnekleyici iki kısımdan oluşmaktadır; birinci kısım

elektronik parçaların pompa ve kontrol panelinin bulunduğu kontrol ünitesi, diğer kısım ise aerosol ayırıcı ünitenin ve filtrelerin yerleştirildiği ünitenin bulunduğu örnekleme ünitesidir.



Şekil 2.2. Örnekleycinin çalışma prensibi

2.2 Kimyasal Analiz

2.2.1 Mikrodalga Örnek Çözünürleştirilme

Örneklerinin çözünürleştirilmesinde CEM MARS 5 CEM Corporation, Matthews, NC, USA model mikrodalga fırın kullanılmıştır. Aerosol örneklerinin çözünürleştirilmesi için literatürde (Dong-Mei ve arkdş., 2003 ve Karl ve arkdş., 2002) asit kombinasyonları çeşitli matrisler halinde kullanılmış ve optimum olan asit karışımı belirlenmiştir. Kullanılan asit kombinasyonu HNO_3 (nitrik asit), H_2O_2 (hidrojen peroksit), HF (hidroflorik asit) ve H_3BO_3 (Borik asit) den oluşmaktadır. Bu çalışmada en iyi asit kombinasyonu referans madde temel alınarak bir dizi çözünürleştirme işlemi yapıldıktan sonra şu şekilde belirlenmiştir: 5 ml of konsantre HNO_3 (Ultrex, J.T. Baker, Phillipsburg, NJ 08865, USA), 4 ml H_2O_2 (30-32%, semikondüktör grade, Aldrich Chemical Company, Inc., Milwaukee, WI, USA), 0.5 ml HF (47-51%, environmental grade plus, Alfa AESAR, Ward Hill, MA. 01835, USA), ve 5 ml doymuş H_3BO_3 solüsyonu 5%, puratronic, 99.9995%, Alfa AESAR, Ward Hill, MA 01835, USA).

İşlem sırası aşağıdaki gibidir:

- 37 mm Teflon[®] filtre mikrodalga fırın için üretilmiş olan teflon kabın içine yerleştirildi. Üzerine HNO₃ (nitrik asit), H₂O₂ (hidrojen peroksit) ve HF (hidroflorik asit) karışımı sırası ile ilave edildikten sonra teflon kaplar cihaz prosedürüne uygun şekilde kapatıldılar ve çözünürleştirilme işlemi için mikrodalga fırına yerleştirildiler.
- 20 dakikalık sürede cihazın maksimum gücünde (1200W) ısı 210°C'ye yavaş yavaş yükseltildi.
- 20 dakika süreyle ulaşılan basınç ve ısı şartları altında bekletildi.
- Cihaz kapatıldı ve 15 dakika teflon kapların soğuması için beklenildi. Kaplar havalandırıldıktan sonra açılarak borik asit işlemine geçildi.
- Her bir kaba borik asit ilave edildikten sonra kaplar tekrar kapatılarak mikrodalga fırına yerleştirildi ve borik asit çözünürleştirme programı uygulandı (5 dakikada 110°C ısıya yükseltilerek bu şartlarda 10 dakika bekletildi).
- Kaplar tekrar soğutulduktan sonra açılarak çözünürleştirilmiş örnekler balon jojelere alındı ve 25 ml'ye çift distile-diyonize su ilave ederek tamamlandı.

2.2.2 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometri (AAS)

Atomik Absorbsiyon Spektrofotometri (AAS) gaz fazındaki atomların ışığı emme miktarlarını ölçme tekniğine dayalı bir sistemdir. Tayini yapılacak örnek sıvı veya katı olabilir, ancak analit atomları veya iyonları bir alev yardımı ile buharlaştırılmalıdırlar. Buharlaştıran atomlar görünebilen ve ultraviyole ışığı emer ve yüksek elektron enerji seviyelerine geçiş yaparlar. Analitin miktarı (konsantrasyonu) emme (absorbsiyon) miktarı ölçülerek tayin edilir. Tayini yapılacak elementin konsantrasyon değerleri cihazın konsantrasyon değerleri bilenen bir standart kullanarak kalibre edilmesinden sonra ölçüm eğrisinin çıkarılması sureti ile yapılabilmektedir. Kullanılan ışık kaynağı genellikle içi boş bir katot lambadır, ve tayini yapılacak her bir element için ayrı ve özel bir katot lamba vardır (Skoog and Leary, 1991). Bu çalışmada Varian[®] SpectrAA.200 model cihaz kullanılmıştır. Kalibrasyon işlemleri, standart çözeltiler ve seyreltme işlemlerinde %2'lik HNO₃ çözeltisi kullanılmıştır. Analizle ilgili diğer teknik bilgiler Çizelge 2.6'de verilmiştir.

Magnezyum kalibrasyon eğrisi 2000 µg/L standart çözeltisinin otomatik seyreltme yoluyla 0,0; 0,2; 0,5; 1,0 ve 2,0 mg/L konsantrasyonlarına karşılık gelen absorpsiyon değerlerini kullanılmak sureti ile çizilmiştir (Şekil 2.3). Magnezyum kalibrasyon eğrisinin denklemi $y =$

$0,5091x + 0,0417$ ve R^2 değeri 0,9994 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada Mg tayininde yayımlamayı artırıcı ajan (Releasing Agent) olarak lantan (La) çözeltisinin kullanılmasının etkisi özel olarak incelendi. Zira bu tip çalışmalarda genellikle bu tip ajanlar kullanılmadığı için hatalı sonuçlar tayin edilmesine neden olabilmektedir. Hava örneklerinde La'ın yayımlayıcı ajan olarak kullanılmadığı taktirde %10 ila %34 oranlarında (% 95 güven aralığında) hatalı konsantrasyon ölçümleri yapıldığı belirlenmiştir (Çizelge 2.7).

Demir kalibrasyon eğrisi 0,0; 0,2; 0,5; 1,0 ve 2,0 mg/L konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbans değerleri kullanılarak çizilmiştir (Şekil 2.4). Elde edilen kalibrasyon eğrisinin denklemi $y = 0,5091x + 0,0417$ ve R^2 değeri 0,9996 olarak hesaplanmıştır.

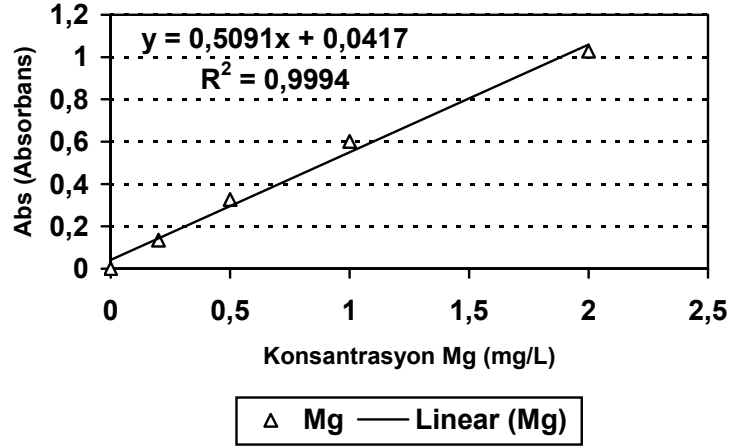
Çinko elementinin ölçümleme eğrisi 0,0; 0,1; 0,2; 0,5 ve 1,0 mg/L konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbans değerlerini kullanılmak sureti ile çizilmiştir (Şekil 2.5). Elde edilen kalibrasyon eğrisinin denklemi $y = 0,0031x + 0,0021$ ve R^2 değeri 0,9951 olarak hesaplanmıştır.

Sodyum elementinin ölçümleme eğrisi 0,0; 0,2; 0,5; 1,0 ve 2,0 mg/L konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbans değerlerini kullanılmak sureti ile çizilmiştir (Şekil 2.6). Elde edilen kalibrasyon eğrisinin denklemi $y = 0,3824x + 0,0526$ ve R^2 değeri 0,9996 olarak hesaplanmıştır. Alkali elementlerin AAS ile analizlerinde emisyon tekniği daha etkili olarak kullanıldığı ve iyi sonuçlar verdiği yaptığımız çapraz analizler sonucunda görülmüştür. Dolayısı ile sodyum tayininde emisyon tekniği kullanılmıştır. Bu teknik kullanılırken iyonizasyon suprasam olarak 2500 ppm'lik potasyum çözeltisi kullanılmıştır.

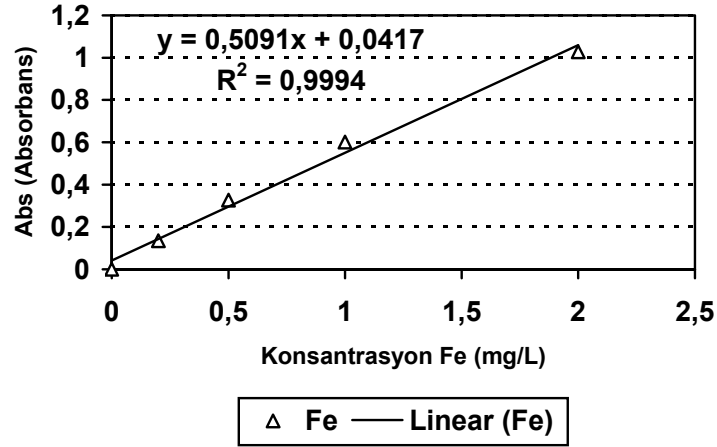
Alüminyum elementinin ölçümleme eğrisi 10 mg/L standart çözeltisinin otomatik seyreltme yoluyla 0,0; 1,0; 2,0; 5,0 ve 10,0 mg/L konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbans değerlerini kullanılmak sureti ile çizilmiştir (Şekil 2.7). Örneklerde Al konsantrasyonlarının genellikle yüksek olduğu gözlenmiştir ve örnekler seyreltilmek sureti ile uygun tayin aralığında çalışılmıştır. Elde edilen kalibrasyon eğrisinin denklemi $y = 0,0041x + 0,0003$ ve R^2 değeri 0,9998 olarak hesaplanmıştır.

Kalsiyum elementi ölçümleme eğrisi alüminyum tayininde olduğu gibi 10 mg/L standart çözeltinin otomatik seyreltme yoluyla 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 ve 4,0 mg/L konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbans değerlerini kullanılmak sureti ile çizilmiştir (Şekil 2.8). Elde edilen kalibrasyon eğrisinin denklemi $y = 0,1266x + 0,012$ ve R^2 değeri 0,9991 olarak hesaplanmıştır.

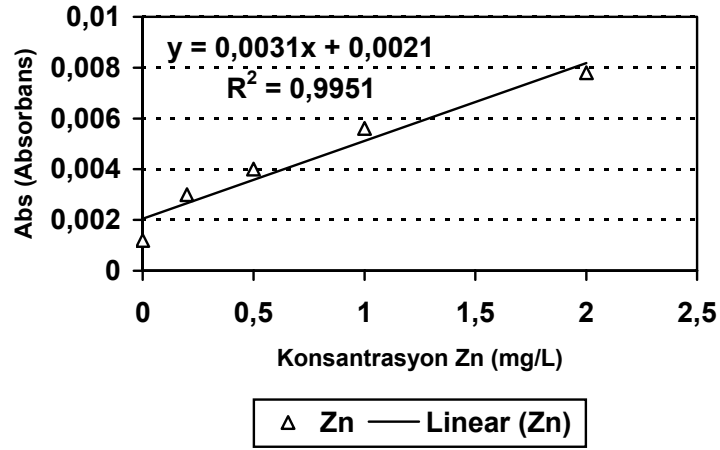
Yapılan analizlerin kontrolü için iki 4 ayrı referans madde (Nist CFA (1633b), IAEA-336, IAEA:Soil-5, IAEA:Soil-10) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre referans maddelerin AAS ile tayin verimleri %92,7 ila % 112,1 aralığında değişim göstermiştir.



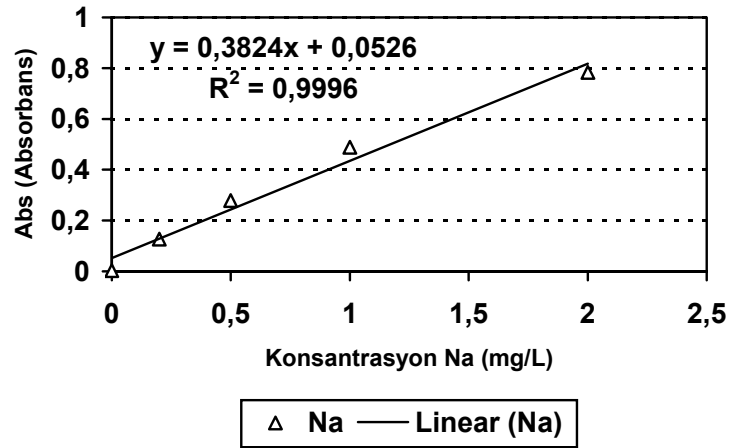
Şekil 2.3. Mg elementinin AAS analizleri için kalibrasyon grafiği



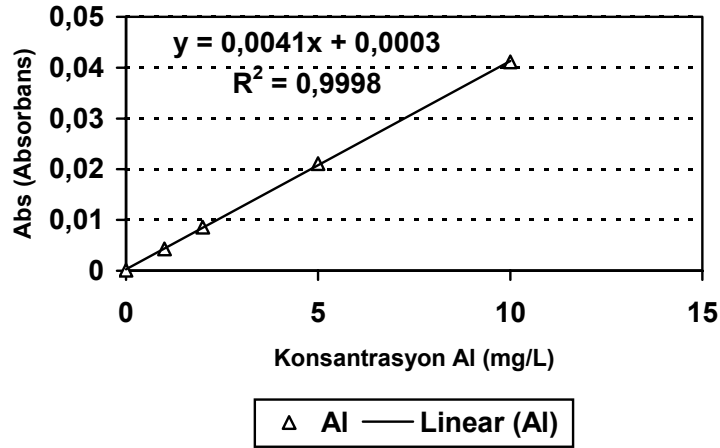
Şekil 2.4. Fe elementinin AAS analizleri için kalibrasyon grafiği



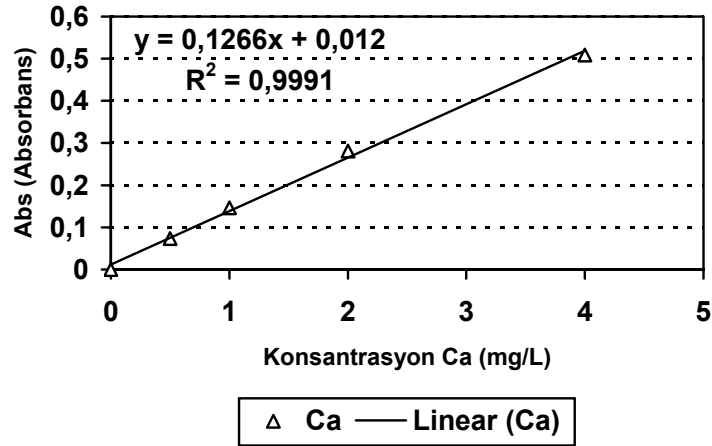
Şekil 2.5. Zn elementinin AAS analizleri için kalibrasyon grafiği



Şekil 2.6. Na elementinin AAS analizleri için kalibrasyon grafiği



Şekil 2.7. Al elementinin AAS analizleri için kalibrasyon grafiği



Şekil 2.8. Ca elementinin FAAS analizleri için kalibrasyon grafiği

Çizelge 2.6. AAS tayinlerinde kullanılan optimum işletme şartları

İşletme Şartları	Mg	Fe	Zn	Na	Al	Ca
Background lambası	açık	açık	açık	açık	açık	açık
Dalga boyu, l (nm)	285,2	248,3	213,9	589	309,3	422,7
Tayin limiti (µg/ml)	0,0005	0,02	0,005	0,002	0,1	0,003
Optimum aralık (µg/ml)	0,02-2,0	0,3-10,0	0,05-2,0	0,03-1	5-100	0,2-20
Yayımlayıcı ajan (2500 ppm)	La	-	-	-	-	La

Çizelge 2.7. Magnezyum analiz sonuçlarının mukayesesi

Sertifikalı referans materyal (SRM) adı	SRM (mg)	0,1 -1,0 ppm kalıb. Std. Çözeltileri (yayımlayıcı ajan kullanılmadı)	0,2-2,0 ppm kalıb. Std. çözeltileri (yayımlayıcı ajan kullanılmadı)	0,2-2 ppm kalıb. Std. çözeltileri 2500 ppm La kullanıldı
IAEA / Soil-7	11,3 ±11,0-11,8 mg/g	9,22 ± 0,11 9,25 ± 0,11 mg / g	9,11 ± 0,045 mg / g	11,53 ± 0,36 mg / g
IAEA / SL-3	wt % 2,7 ± 2,46-2,94	wt % 2,04 ± 0,01 wt % 2,38 ± 0,00	wt % 2,39 ± 0,03	wt % 2,78 ± 0,05
IAEA-336	CRM değeri verilmemiş	427,29 ± 3,72 µg / g	-	528,11 ± 4,99 µg / g (0,10-1,0 ppm)
NIST Coal Fly Ash (1633b)	wt % 0,482 ± 0,008	wt % 0,269 ± 0,004 wt % 0,274 ± 0,001	wt % 0,270 ± 0,000	wt % 0,494 ± 0,010

2.2.3 Grafit Fırın Atomik Absorbsiyon Spektrofotometri (GFAAS)

Tayini yapılacak analit için gerekli tayin sınırları µg/L düzeyinde ise grafit fırın kullanılabilir. Çalışmamızda Cd, Pb, Cr ve Ni elementleri örneklerdeki düşük konsantrasyon değerleri nedeniyle bu metot kullanılarak tayin edilmişlerdir. Bu yöntem kurutma, kül etme ve atomlaştırma biçiminde gelişen evrelerden oluşmaktadır. Grafit fırın işletme koşulları Çizelge 2.8’de verilmiştir. Çizelge 2.8’de verilen bu işletme koşulları cihazın (Varian® marka GTA 100 model) kullanım kılavuzu (Varian, 1988) içersinde belirtilen sınırlarda en ideal şartların tayini yapılarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.8. Grafit fırın tayinlerinde kullanılan optimum cihaz işletme şartları

İşletme Şartları	Cd	Pb	Cr	Ni
Lamba akısı (mA)	4	5,5	7	6,7
Işın bant genişliği (nm)	0,5	0,5	0,2	0,2
Dalga boyu (nm)	228,8	283,3	357,9	232
Maksimum absorbans	0,7	0,1	2	2
Background lambası	açık	açık	açık	açık
Düzenleyici, %1 (v/v)	HNO ₃	HNO ₃	HNO ₃	HNO ₃ ve askorbik asit
Hacim konsantrasyonu (µg/L)	100	100	100	100
Değiştirici	(NH ₄)H ₂ PO ₄	(NH ₄)H ₂ PO ₄	-	-

Kadmiyum ölçümleme eğrisi 100 µg/L standart çözeltisinin otomatik seyreltme yoluyla 0, 2, 5 ve 10 µg/L konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbans değerlerini belirlemek suretiyle çizilmiştir (Şekil 2.9). Elde edilen ölçümleme eğrisi Şekil 2.9’de gösterilmiştir. Kalibrasyon

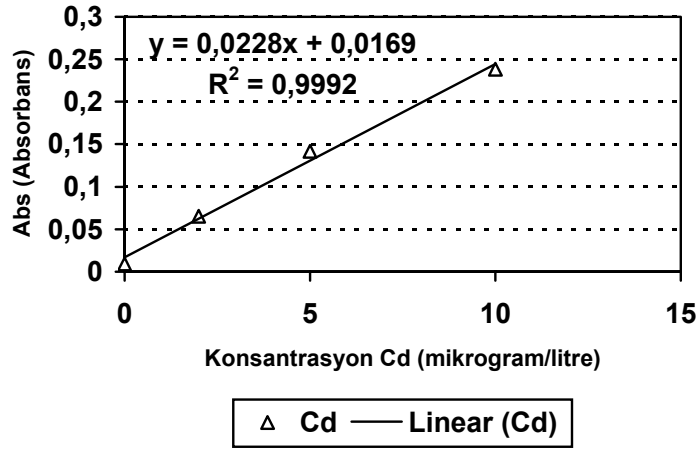
eğrisinin denklemi $y = 0,00228 x + 0,0169$ olarak ifade hesaplanmıştır. Burada y değeri cihazda okunan absorbands değerine ve x değişkeni ise konsantrasyon ($\mu\text{g/L}$) değerine karşılık gelmektedir. Kalibrasyon eğrisinin R^2 değeri 0,9992 olarak hesaplanmıştır, bu değer kalibrasyon eğrisi için ölçüm hassasiyetini ifade etmektedir. Bu çalışmada R^2 değerinin 0,999 hassasiyetinde olmasına dikkat edilmiştir. Eğer bu değer sağlanamaz ise başka eğri denklemleri (kübik, rasyonel vs.) kullanılarak kalibrasyon eğrisi çizilerek gerekli hassasiyet elde edilebilir.

Kurşun ölçümleme eğrisi 0, 20, 40 ve 60 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbands değerlerini belirlemek sureti ile çizilmiştir (Şekil 2.10). Kalibrasyon eğrisinin denklemi $y = 0,0038x$ ve R^2 değeri 0,9994 olarak hesaplanmıştır.

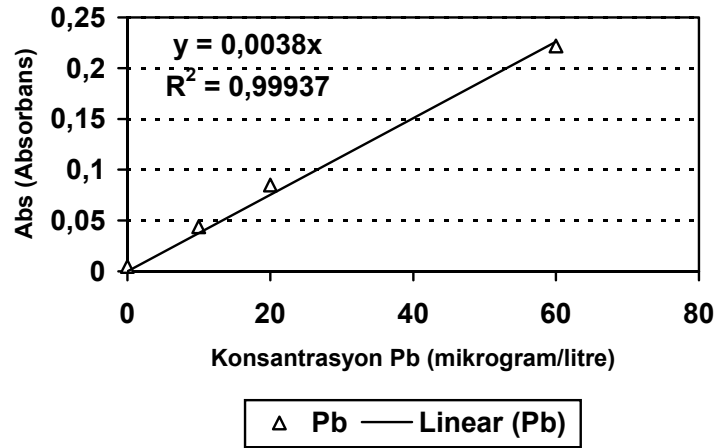
Krom ölçümleme eğrisi 0, 20, 50 ve 100 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbands değerlerini kullanılmak sureti ile çizilmiştir (Şekil 2.11). Krom kalibrasyon eğrisinin denklemi $y = 0,0096x$ ve R^2 değeri 0,947 olarak hesaplanmıştır.

Nikel analizlerinde iki ayrı modifiyer (düzenleyici) kullanıldığında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. İkinci modifiyerimiz %2'lik askorbik asittir. Nikel elementinin ölçümleme 0, 10, 20 ve 40 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbands değerlerini kullanılmak suretiyle çizilmiştir (Şekil 2.12). Nikel kalibrasyon eğrisinin denklemi $y = 0,0066x + 0,0122$ ve R^2 değeri 0,9996 olarak hesaplanmıştır.

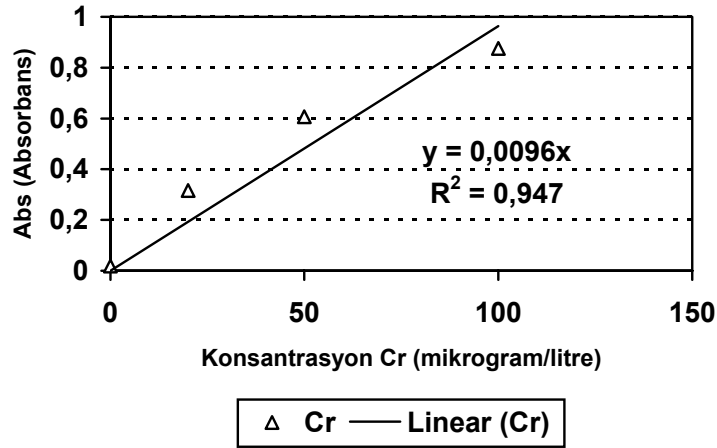
Yapılan analizlerin kontrolü için iki 4 ayrı referans madde (Nist CFA (1633b), IAEA-336, IAEA:Soil-5, IAEA:Soil-10) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre referans maddelerin tayin verimleri %96,5 ila % 108,3 aralığında değişim göstermiştir.



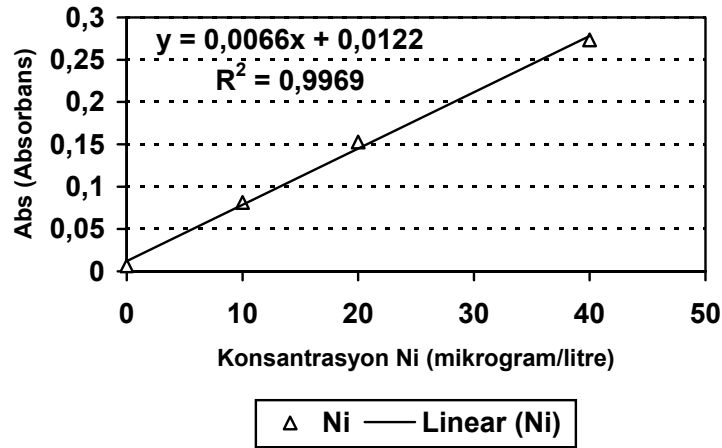
Şekil 2.9. Kadmiyum elementinin grafit fırın analizleri için kalibrasyon grafiği



Şekil 2.10. Pb elementinin grafit fırın analizleri için kalibrasyon grafiği



Şekil 2.11. Cr elementinin grafit fırın analizleri için kalibrasyon grafiği



Şekil 2.12. Ni elementinin grafit fırın analizleri için kalibrasyon grafiği

Bu çalışmada her 10 örnek başına 1 adet arazi ve 1 adet de asit boş örneği alınarak tüm elementlerin benzer metotlarla tayinleri yapılmıştır. Boş örneklerdeki konsantrasyonların 3 katından daha düşük seviyede okunan filtre değerleri dikkate alınmamıştır (tayin limiti olarak belirlenmiştir).

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

3.1 PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} Kütle Miktarları

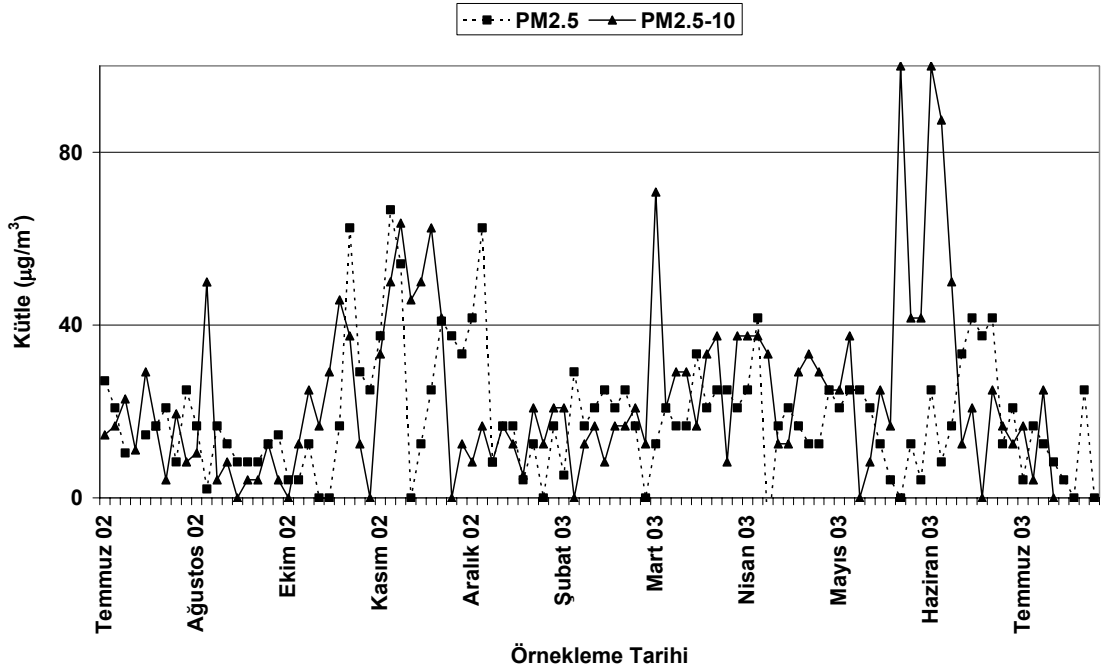
Temmuz 2002- Temmuz 2003 tarihleri arasında toplanan 24-saatlik PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} örneklerinin kütle konsantrasyonları gravimetrik metot kullanılarak tayin edilmiştir. Elde edilen kütle konsantrasyonları verilerin genel eğiliminin anlaşılabilmesi için zaman-konsantrasyon grafiği şeklinde Şekil 3.1’de ve sayısal değerler tüm detayları ile çalışmanın sonunda “EK 1. Ölçülen Kütle Konsantrasyonları” şeklinde verilmiştir. PM₁₀ ve PM_{2.5} konsantrasyonları için, yıllık ortalama değerler ve standart sapma değerleri sırasıyla 47,11 µg/m³, 20,76 µg/m³ ve 32,56 µg/m³, 13,60 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. PM₁₀ için bulunan yıllık ortalama değer 47,11 µg/m³ değeri, HKKY yıllık ortalama PM₁₀ değeri olan 60 µg/m³ değerinden küçüktür. Fakat Avrupa Birliğinde PM₁₀ parametresi için kullanılan sınır değeri 40 µg/m³’dir. Ölçülen değer Avrupa Birliği sınır değerlerinin üzerindedir. Amerika Birleşik Devletleri EPA standartlarına göre PM_{2.5} için belirlenen yıllık ortalama sınır değeri 15 µg/m³’tür. Büyükçekmece bölgesinde ölçülen 20,76 µg/m³ değerinin belirtilen sınır değerden büyük olduğu görülmüştür. HKKY de 24 saat ortalama yoğunlaşma için günlük ortalama sınır değer ise 150 µg/m³ olarak belirlenmiştir. Rasgele yapılan örnekleme serisinde bu değer bir yıllık veri (95 örnek) içerisinde 3 defa aşılmıştır.

PM_{2.5} ve PM₁₀ arasındaki ilişki lineer regresyon analizinin yanı sıra eğri-lineer regresyon analizleriyle tanımlanmıştır. Her bir model için P-değeri, korelasyon katsayısı, gözlem ve hesap sonuçları arasındaki farkın standart sapma değeri ve R² değeri hesaplanmıştır ve Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. P-değeri gerçekte gözlenen test istatistiklerinin, en az geçersiz hipotez ile uyumsuz olduğu bir test istatistiği için gözlenen bir değer olasılığıdır. P-değeri 0.01’den küçük bir değer veriyorsa iki parametre arasında %99 güven aralığında bir ilişki vardır. Tüm p-değerleri 0.01 değerinden küçük bulunmuştur.

Kullanılan regrasyon modellerinden PM₁₀ ve PM_{2.5} arasındaki ilişkiyi en iyi tanımlayan model Karekök-X modelidir ve iki veri arasındaki değişim bu modelle % 53,94 oranında açıklanabilmiştir (R² = 0,75). Hesaplanan model ve ölçülen değerler Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

PM_{2.5} ve PM₁₀ arasındaki ilişki atmosferik partiküllerin kaynaklarının ve oluşum nedenlerinin anlaşılabilmesi açısından kritik öneme sahiptir. PM₁₀ ve PM_{2.5} arasındaki ilişki Karekök-X modeli ile oldukça başarılı bir şekilde (R² = 0.73) ifade edilmiştir (Şekil 3.2). Bu ilişki örnekleme periyodu boyunca PM_{2.5} verisinin büyük oranda PM₁₀ verisine bağlı sabit bir kesir

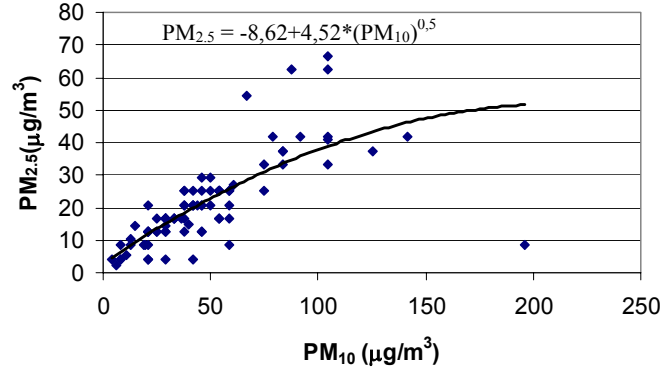
olduğunu ifade etmektedir. İki partikül boyutunun bu şekilde kuvvetli bir ilişki göstermesi bölgede gözlenen kütleli konsantrasyonların temel kaynaklarının ortak olabileceğini ifade etmektedir. Atmosferdeki taşınım süreleri de dikkate alındığında; sonuç olarak, bölgedeki $PM_{2.5}$ ve PM_{10} kütle yoğunlaşmalarının genel olarak uzun taşınmadan değil yerel kaynaklardan meydana geldiği söylenebilir. Bu durumun netlik kazanabilmesi için partiküllerin metal muhtevalarının incelenmesi ve enverziyon etkisi gibi meteorolojik faktörler ışında daha detaylı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Tüm sezonlar boyunca iki parametrenin de aynı şekilde artış göstermesi aralarında kaynaklar ve etkilendikleri faktörler açısından bir ilişki olduğunu göstermektedir. Isınma (kış) sezonu boyunca kütleli olarak $PM_{2.5}$ ve PM_{10} için yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir. Isınma sezonunda iki parametrenin ilişki katsayısı hesaplanmış ve 0,88 olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer ısınma sezonunda iki parametrenin tüm yılda olduğundan daha kuvvetli bir şekilde ilişkili olduğunu ifade etmektedir. Özellikle bölgenin kış mevsiminde enverziyon etkisine sık sık maruz kaldığı düşünülürse bölgesel kaynakların bu mevsim boyunca konsantrasyonların ana kaynağı olduğu söylenebilir. Yaz mevsiminde ise (Haziran ve Temmuz aylarında) PM_{10} için yüksek aylık ortalama konsantrasyon değerleri gözlenmiştir. Bu aylar süresince ölçüm yapılan bölgede ve İstanbul ilinde yüksek sıcaklık değerleri gözlenmiş ve hiç yağış olayı yaşanmamıştır. Bu aylardaki bu yüksek konsantrasyonlar kurak iklimlerin tipik konsantrasyon değerleri ile uyum göstermektedir. Kurak iklimlerde topraktan doğal etkilerle ayrılan partiküllerin miktarları artmakta ve askıda kalma süreleri de artış göstermektedir (Chaloulakou ve ark., 2003). Bu kurak dönem incelendiğinde PM_{10} ve $PM_{2.5}$ arasındaki korelasyon 0.54 değerine düşmektedir. Bu dönemde iki kirleticinin kaynakları farklılık göstermiş ve birbirleri ile olan ilişkileri azalmıştır. Özellikle ilkbahar aylarında bölgeye uzun taşınma ile Afrika üzerinden mineral tozlar gelmektedir. Mineral tozların boyutları yoğunluklu olarak $PM_{2.5-10}$ sınıfına girdiği için $PM_{2.5}$ ve PM_{10} arasındaki bu uyumsuzluğu açıklayan diğer bir önemli neden bölgeye taşınmakta olan mineral tozlardır. Kış ve yaz dönemleri için ortalama değerler hesaplandığında sırasıyla, $PM_{2.5}$ için; $24,77 \mu g/m^3$, $18,11 \mu g/m^3$ ve PM_{10} için; $47,10 \mu g/m^3$, $47,54 \mu g/m^3$ bulunmuştur. $PM_{2.5}$ ortalamaları kış döneminde yaz dönemine nazaran yaklaşık 1.53 kat daha fazla iken bu değer PM_{10} için ciddi bir değişim göstermemiştir. Böylece PM_{10} emisyonunun kış ve yaz dönemleri boyunca fazla değişim göstermediği fakat $PM_{2.5}$ değerinin PM_{10} partiküllerindeki oranının kış döneminde arttığı söylenebilir. Genelde doğal yollarla oluşan $PM_{2.5-10}$ partiküllerinin kış döneminde azalma ve yaz döneminde artış göstermeleri bu farklılığın nedenidir.



Şekil 3.1. PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} partiküllerin zamana bağlı kütle değişim grafiği

Çizelge 3.1. PM₁₀ ve PM_{2,5} verilerinin lineer bir modele uygunluk sonuçları

Model fonksiyonları	R ²	Standart sapma	R ²	P-değeri
Karekök-X modeli: $PM_{2,5} = -8,62 + 4,52 * (PM_{10})^{0,5}$	%53,94	9,23	0,73	<0.01
Logaritmik-X modeli: $PM_{2,5} = -29,06 + 13,75 * \ln(PM_{10})$	%52,79	9,40	0,73	<0.01
Lineer model: $PM_{2,5} = 7,46 + 0,28 * PM_{10}$	%45,64	10,09	0,68	<0.01
Karekök-Y modeli: $PM_{2,5} = (2,89 + 0,03 * PM_{10})^2$	%42,94	1,13	0,66	<0.01
Evrık değer-X modeli: $PM_{2,5} = 27,82 - 197,6 / PM_{10}$	%28,06	11,60	-0,53	<0.01
Üssel model: $PM_{2,5} = \exp(a + b * PM_{10})$	Uygun değil			
Evrık değer: $PM_{2,5} = 1 / (a + b * PM_{10})$	Uygun değil			
Çarpımsal Model: $PM_{2,5} = a * PM_{10}^b$	Uygun değil			
S-eğrisi modeli: $PM_{2,5} = \exp(a + b / PM_{10})$	Uygun değil			



Şekil 3.2. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} için Karekök-X modeli: $PM_{2.5} = -8,62 + 4,52 * (PM_{10})^{0,5}$.

$PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ partiküllerin solunabilen partiküllere olan katkısı ve mevsimsel ilişkilerinin anlaşılabilmesi için aylık ortalama değerlerin $PM_{2.5}/PM_{2.5-10}$ oranlarının hesaplanması faydalı bir metottur. Böylece dönemlere bağlı olarak kirleticilerin birbirine olan oranlarını mukayese etme şansı bulunabilir. Hesaplanan $PM_{2.5}/PM_{2.5-10}$ oranlarının yıllık ortalaması 0,46 ve standart sapması 0,12 bulunmuştur. Standart sapma değeri, ortalama değer yaklaşık %25'i kadardır. Bu fazla olmayan değişim yıl boyunca $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ partiküllerin oranlarının solunabilen partiküllere olan katkısının çok fazla değişim göstermediğini ifade eder. Aylık $PM_{2.5}/PM_{2.5-10}$ oranlarından en düşük değer; Haziran 2003'de 0,28 (kurak dönem) ve en büyük değer ise; Eylül 2003'de 0,74'dür (yağışlı dönem). Kasım 2002 de ise birincil ve ikincil kaynaklardan her iki kirleticinin de bölgeye taşınması en yüksek değerlere ulaşmıştır. Kasım 2002'de gözlenen yüksek konsantrasyonların temel nedeni bu dönemin düşük seviyeli enverziyon özellikleri ile birlikte ısınma amaçlı üretilen partiküller miktarlarının artış göstermesidir.

3.2 Eski Yörüngelerin Belirlenmesi

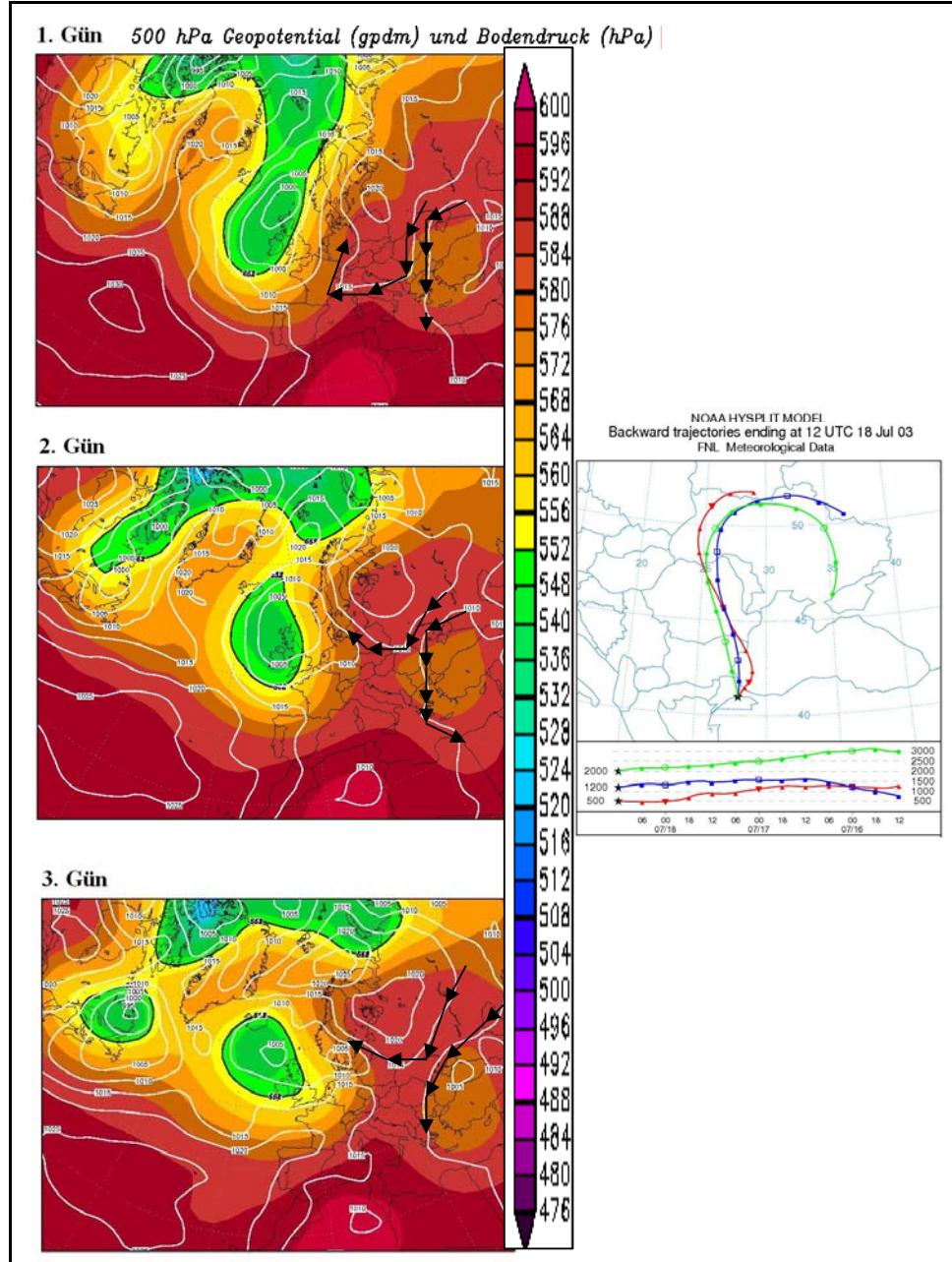
3.2.1 HYSPLIT Model

Hysplit Model Web üzerinden READY sistem ile interaktif olarak kullanılabilir (Draxler ve Rolph, 2003). Bu çalışmada eski yörüngelerin belirlenmesi amacıyla bu model kullanılmıştır. Modelin geliştirilmesi ve test edilmesi konusunda literatürde yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Draxler ve Rolph, 2003; Draxler, 2002; Siems ve arkdş., 2000; Draxler, 1999; Hess ve Draxler, 1998; Hess ve arkdş., 1997; Draxler ve Hess, 1998; Draxler 1996; McQueen ve Draxler, 1994). Örnekleme yapılan tüm günler için üçer günlük eski yörüngeler 6 saatlik aralıklarla ve üç ayrı yükseklik için (2000m, 1200m ve 500 m)

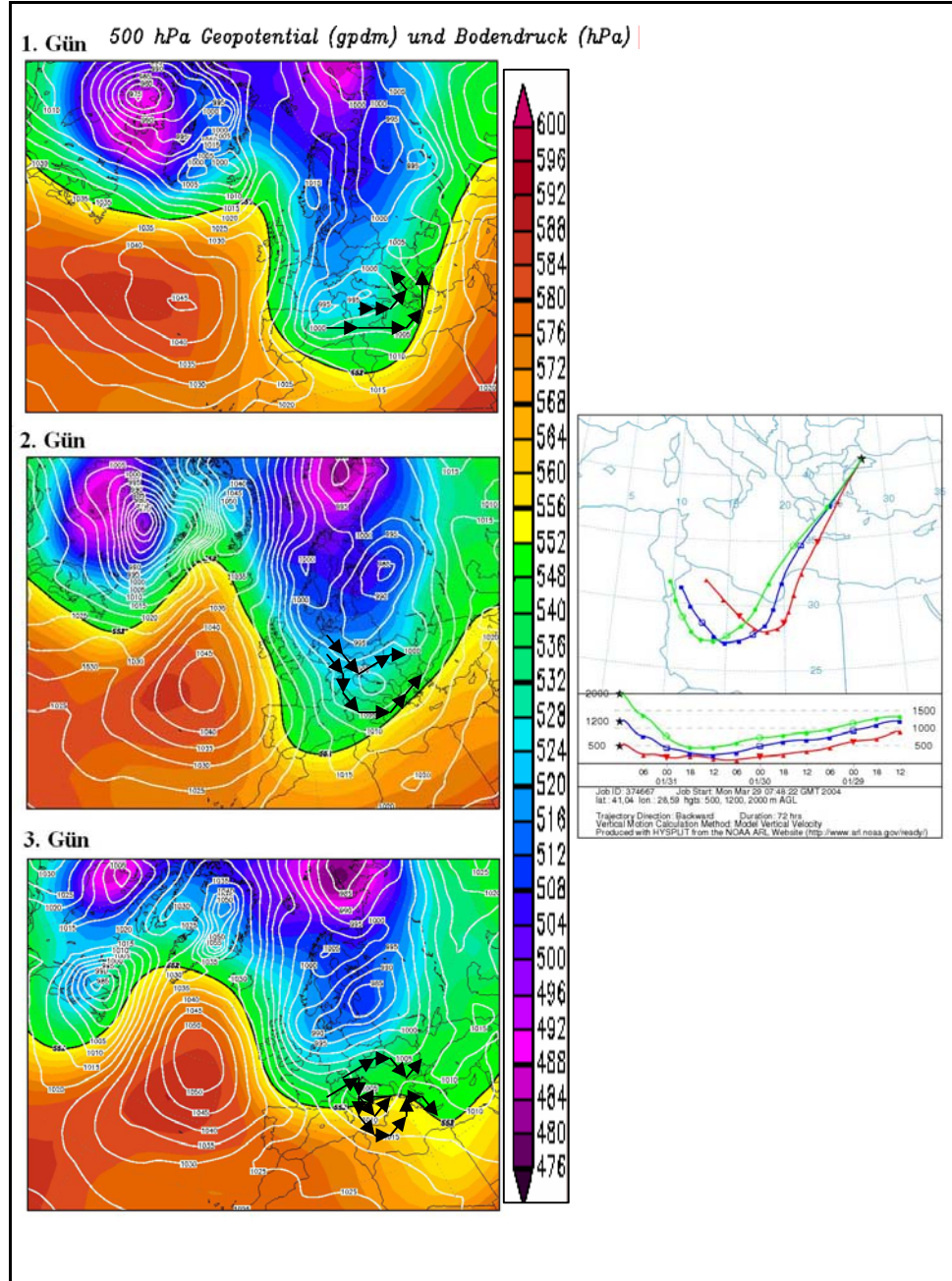
hesaplanılmıştır. Haritalar üzerinde dünya koordinat sistemine göre x ve y eksenleri baz alınarak eski yörüngeler çizilirken, haritanın alt kısmındaki grafikte ise hava parsellerinin düşey konumları belirtilmiştir. Bu metotla hava parsellerinin üç boyutlu eski yörüngelerinin grafik olarak ifade edilmesi sağlanmıştır. Programın çalıştırılması ile bu veriler sayısal ortamda da alına bilmektedir.

3.2.2 NCEP haritaları

Hysplit model sonuçları NCEP-500 hPa ölçülmüş basınç haritaları incelenerek kontrol edilmiş ve doğruluğu test edilmiştir. Her örnekleme için üç günlük haritalar <http://www.wetterzentrale.de> web sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Üç günlük basınç haritalarındaki hava hareketleri bu haritalardan rahatlıkla izlenebilmektedir. Alçak basınç merkezlerinde bu hareket saat yönünün tersine doğru olurken yüksek basınç sistemlerinde saat yönünde gerçekleşir. Bu şekilde alıcı ortama hava hareketinin hangi parsellerden geldiği tahmin edilebilmektedir. Bu metotla yapılan tahminler, Hysplit model kullanılarak elde edilen haritalarla mukayese edilmiş ve her örnek için elde edilen model sonuçlarının doğruluğu test edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar birbirini doğrulamıştır. Örnek olarak 1-1ve 5-4 kodlu örnekler için elde edilen eski yörünge haritaları ve NCEP basınç haritaları Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Örneklerdeki üç basınç haritası örnekleme gününden geriye doğru üç günlük haritalardır. İlk örnekten de görüleceği üzere, Karadeniz bölgelerinin üst kısımlarından ve Ukrayna üzerinden bir alçak basınç etkisi ile İstanbul üzerine bir hava hareketi oluşmaktadır. Zamanla bu hareket genişlemekte ve Doğu Avrupa bölgesine doğru kaymaktadır. Hysplit modelle elde edilen veriler bu gözlemlerle tam olarak uyum göstermektedir. İkinci örnekte ise, Akdeniz üzerinden Türkiye’ye doğru bir hava hareketi olduğu rahatlıkla izlenebilmektedir. Bu hareket daha sonra genişleyerek kuzey Akdeniz üzerine yayılacaktır. Basınç haritalarında gözlenen bu yörünge sistemi, Hysplit modelle elde edilen verilerle tam uyum göstermektedir.



Şekil 3.3. Hysplit model verilerinin NCEP basınç haritaları ile kontrolü. NCEP Haritaları sırasıyla 16/07/2003, 17/07/2003 ve 18/07/2003 tarihlerine ait 500 hPa haritalarıdır. Verilen basınç değerleri deniz seviyesine indirgenmiş basınç değerleridir. Jeopotonsiyel yükseklikleri dekametre cinsindendir.



Şekil 3.4. Hysplit model verilerinin NCEP basınç haritaları ile kontrolü. NCEP Haritaları sırasıyla 29/01/2003, 30/01/2003 ve 31/01/2003 tarihlerine ait 500 hPa haritalarıdır. Verilen basınç değerleri deniz seviyesine indirgenmiş basınç değerleridir. Jeopotonsiyel yükseklikleri dekametre cinsindendir.

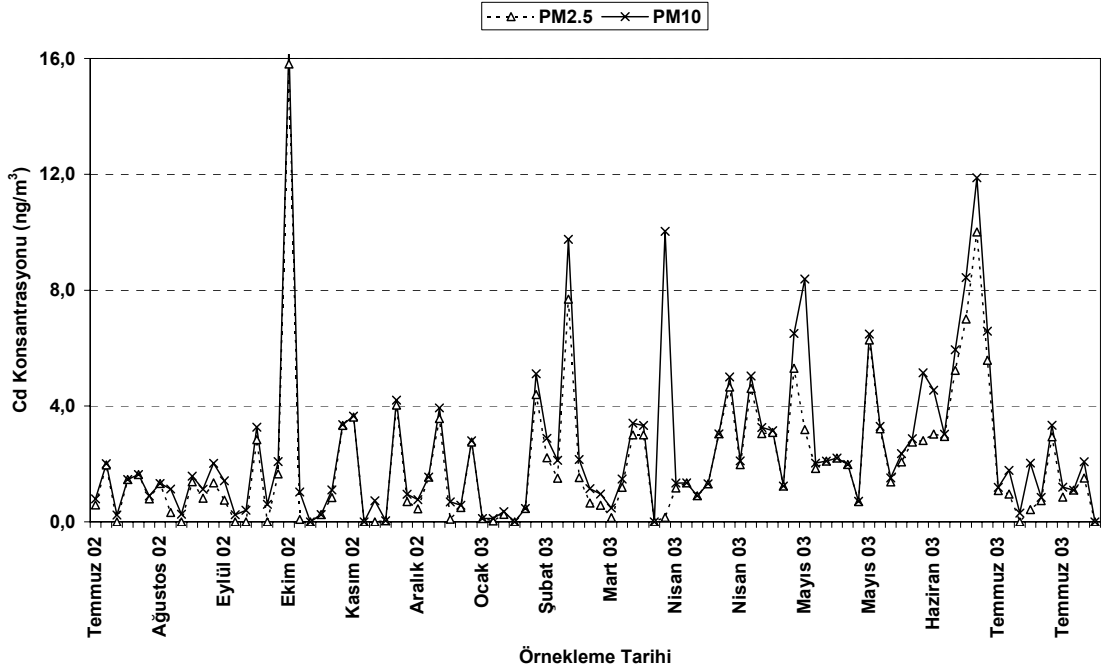
3.3 Kimyasal Analiz Sonuçları

3.3.1 Kadmiyum (Cd)

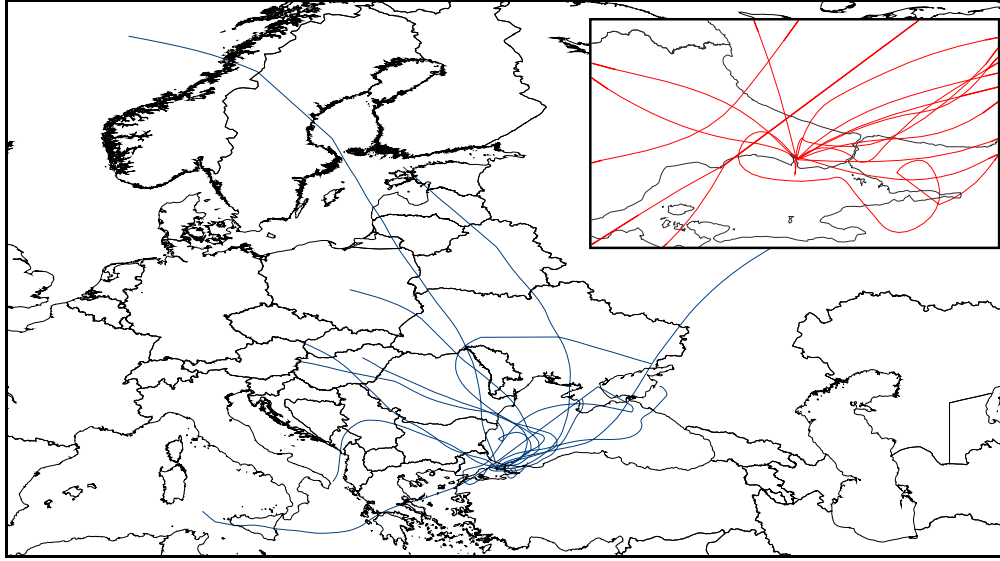
PM_{2.5} ve PM₁₀ kadmiyum yoğunlaşma değerleri Şekil 3.5’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre

bir yıllık $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ ve PM_{10} kadmiyum konsantrasyon ortalamaları sırasıyla $2,00 \text{ ng m}^{-3}$, $0,52 \text{ ng m}^{-3}$ ve $2,51 \text{ ng m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Yıllık ortalama $PM_{2.5}/PM_{2.5-10}$ değeri 3,81 (yaklaşık 4 kat) olarak bulunmuştur. Örnekleme tekniği göz önüne alındığında $PM_{2.5}$ partiküllerde gözlenen kadmiyum değerinin yaklaşık %6'lık kısmı $PM_{2.5-10}$ partiküllere yapışan $PM_{2.5}$ partiküllerden kaynaklanabilir. Bu doğrulama hesapları yapıldığında bu oran 5 katı geçmektedir. Doğrulanmış yoğunlaşma değerleri ise $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ partiküller için sırasıyla $2,11 \text{ ng/m}^3$ ve $0,40 \text{ ng/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Özellikle bu tip metallerde epizot harici değerler genellikle yerel kaynaklardan gelmektedir. Fakat yüksek değerlerin uzun taşınma veya enverziyon gibi bazı özel etkiler sonucunda bölgede zenginleşmiş olma ihtimali mevcuttur. Kadmiyumun hava ortamına atılmasına neden olan önemli işlemler; plâstik, boya muhteva eden malzemeler, lastikler, araba lastikleri vs. türü maddelerin yanması ve yakılması işlemleridir. Epizot değer olarak $5,0 \text{ ng/m}^3$ değeri sınır olarak alınmıştır. Zira literatürde bu değerden daha büyük değerler yüksek konsantrasyonlara (endüstri bölgelerinde gözlenen değerlere) karşılık gelmektedir (WHO, 1992; EPA, 1998a; EPA, 1998b). Bu değerlere ait eski yörüngeler HYSPLIT model kullanılarak 500 m yükseklik değeri için belirlenmiş Şekil 3.6'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Ölçülen kadmiyum konsantrasyonları

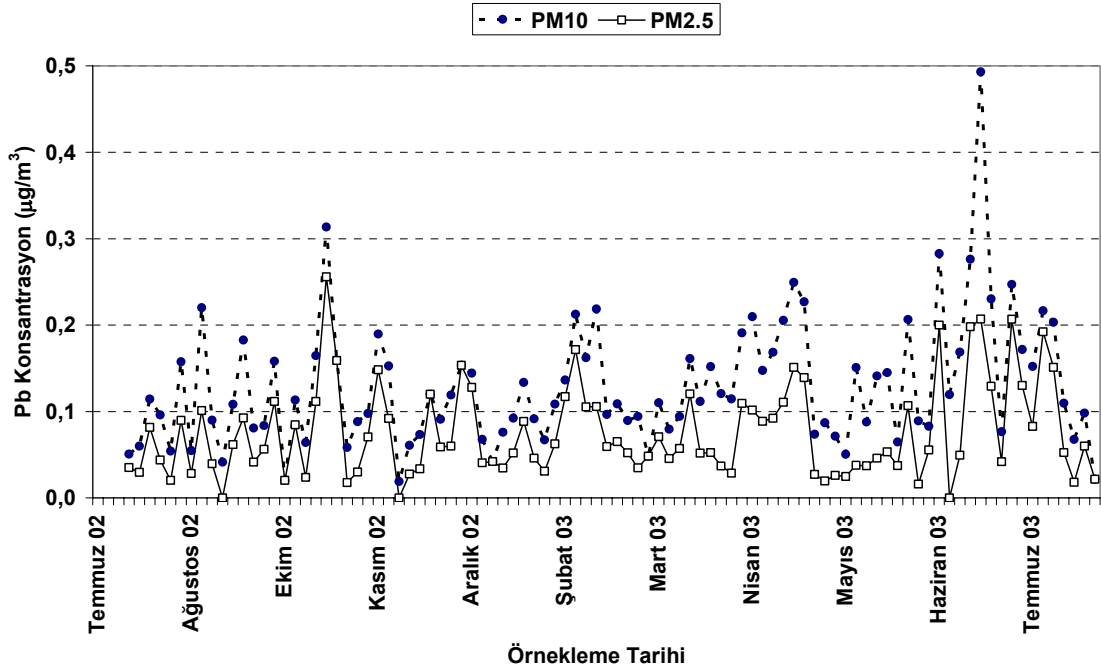


Şekil 3.6. Kadmiyum epizot değerleri 500 m irtifa için eski yörüngeleri

3.3.2 Kurşun (Pb)

PM örneklerinde tayin edilen kurşun sonuçları Şekil 3.7’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre bir yıllık $PM_{2.5}$, PM_{10} ve $PM_{2.5-10}$ Pb konsantrasyon ortalamaları sırasıyla $0,075 \mu g m^{-3}$, $0,129 \mu g m^{-3}$ ve $0,054 \mu g m^{-3}$ olarak bulunmuştur. Bulunan değerlerin diğer ülkelerde ve Türkiye’de yapılmış çalışmalarla mukayesesi Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Solunabilen parçacıklardaki Pb konsantrasyonlarına zamansal doğrultuda $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ partiküllerinin ne oranda etkili olduklarının daha iyi anlaşılabilmesi için $PM_{2.5}/PM_{10}$ ve $PM_{2.5-10}/PM_{10}$ oranlarının hesaplanması faydalı olacaktır. Bu suretle solunabilen parçacıklara olan etkilerinin mevsimsel olarak değişimi anlaşılabilir.

Alıcı ortamda ölçülen partikül madde, gaz kirleticiler vs. gibi birçok hava kirliliği parametresi meteorolojik parametrelere ve hava şartlarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Belirli bir bölgede yapılan ölçümlerde hava kirliliği parametrelerinin meteorolojik faktörlerden ne oranda etkilendiği ve ne tür bir ilişki içersinde olduğunun anlaşılması hava kirlililiği modelleme çalışmaları ve hava kalitesi yönetimi açısından son derece önem arz etmektedir.

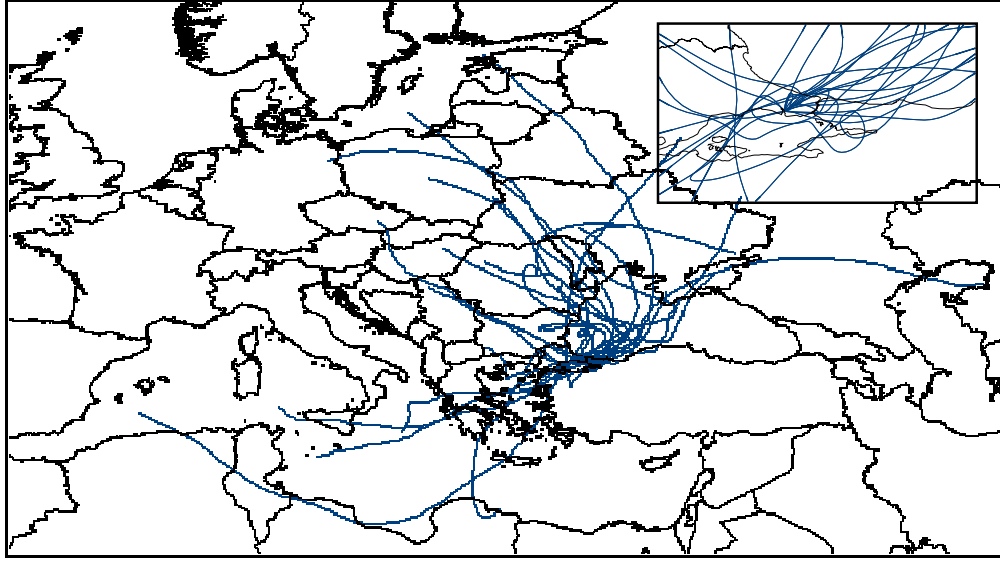


Şekil 3.7. PM₁₀ ve PM_{2.5} örneklerinde ölçülen kurşun konsantrasyon değerleri

Çizelge 3.2. Çeşitli bölgelerde ölçülen kurşun konsantrasyon değerleri

Bölge	Ölçülen konsantrasyon ($\mu\text{g m}^{-3}$)		
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}
Büyükçekmece (bu çalışma)	0,129±0,074	0,075±0,054	0,054±0,038
Geneva (Switzerland) (Chiaradia ve Cupelin, 2000)	0,045±0,016		
Milan (Italy) (Vaccaro ve arkadaş., 2001)	0,215±0,112	0,138±0,75	
Shanghai (China) (Zheng ve arkadaş., 2004)	0,515		
Bursa (Türkiye) (Samura ve arkadaş., 2003)	0,151	0,120	0,031

Alıcı ortamda örneklenmiş olan PM_{2.5} partiküllerindeki yüksek kurşun konsantrasyonlarının olduğu örnekler ($> 0,100 \mu\text{g m}^{-3}$) ayrılarak eski yörüngeleri belirlenmiştir. Böylece yüksek kurşun konsantrasyonlarının örnekleme bölgesine yoğunlukla hangi bölgelerden taşındığı incelenebilir. Şekil 3.8’de 500 m yükseklikte alıcı ortamın bulunduğu bölgeye üç günlük eski yörüngeleri izleyerek gelen hava parsellerinin eski yörüngeleri belirlenmiştir.



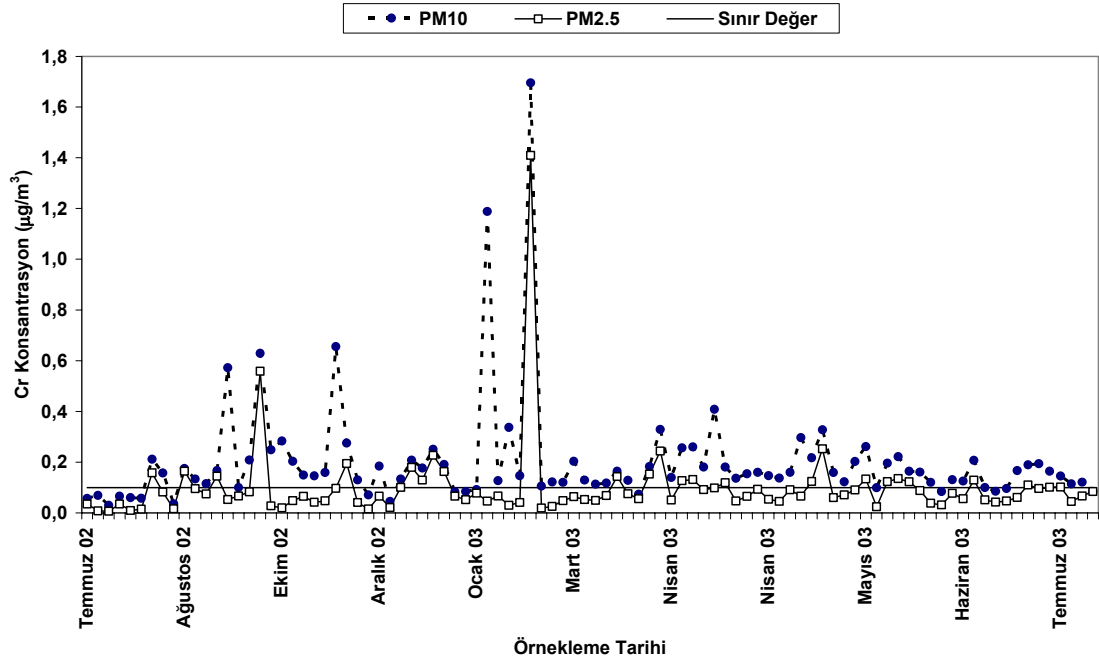
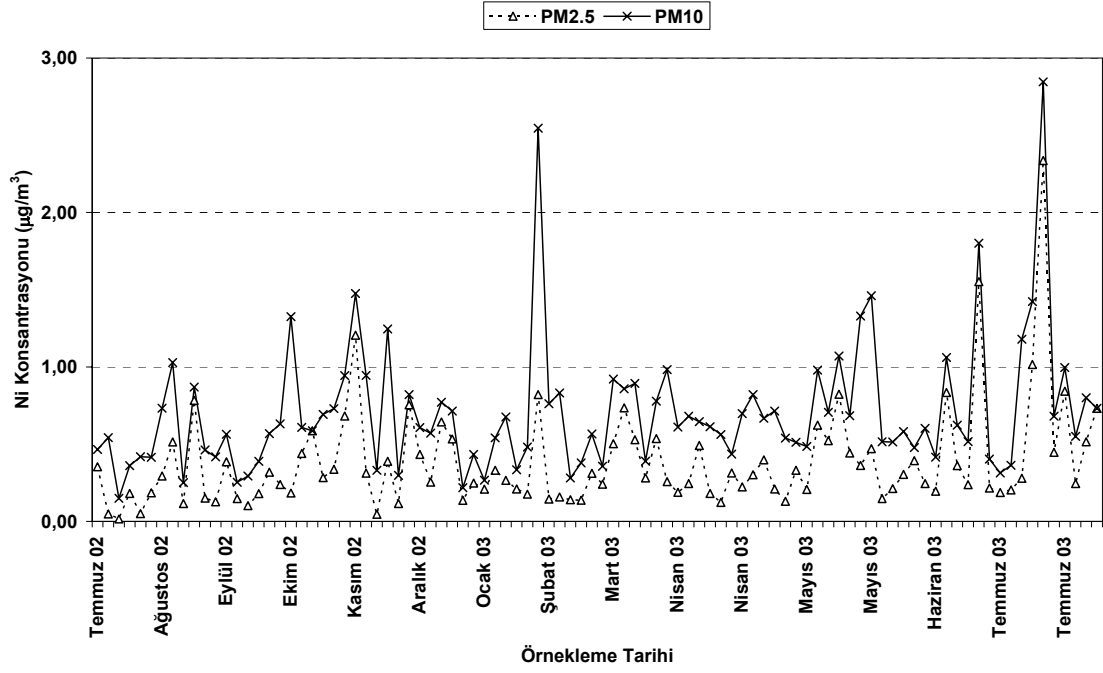
Şekil 3.8. PM_{2.5}Pb epizotlarının 500 m yükseklik için izledikleri yörüngeler

3.3.3 Nikel (Ni) ve Krom (Cr)

Nikel yıllık konsantrasyon ortalamaları PM_{2.5}, PM_{2.5-10} ve PM₁₀ (toplam) partiküllerde sırasıyla 0,381 µg/m³; 0,327 µg/m³ ve 0,708 µg/m³ ve krom konsantrasyon ortalamaları sırasıyla 0,099 µg m⁻³, 0,101 µg m⁻³ ve 0,200 µg m⁻³ olarak bulunmuştur. PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} partiküllerin yıllık ortalamaları birbirlerine oldukça yakın değerlerdir. Literatürde de benzer verilere rastlanmaktadır. Samura ve arkadaşlarının (2003) yaptıkları çalışmada Bursa ilinde benzer ölçümler yapılmıştır. Toplanan örnekler daha kırsal bir bölgede toplanmış olmasına rağmen ölçülen konsantrasyonlar bu çalışmadaki verilerden (2 kat) daha fazladır. Ölçülen nikel ve krom değerlerinin örnekleme süresi boyunca elde edilen sonuçları Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'de gösterilmiştir.

Krom değerleri yıl boyunca genellikle sabit ilerleyen bir yapıya sahip olmalarına karşın Ağustos 2002; Mart 2003 zaman aralığında çok fazla değişim gözlenmiştir. Yıllık ortalama değerler her iki partikül grubu için birbiri ile hemen hemen aynı miktardadır. Toplanmış olan aerosol örneklerindeki bu değerlerin yıllık ortalamalarının birbirine yakın olması endüstriyel kaynaklardan yayılan krom miktarlarının her iki partikül grubuna da eşit miktarlarda katkıda bulunduğu işaret emektedir. Literatürde yapılmış olan benzer çalışmalarda da bulunan sonuçlar bu çalışmada bulunan sonuçlarla uyum göstermektedir (Marcazzan ve arkdş., 2003). Bulunan krom değerlerini diğer ülkelerde ve Türkiye'de yapılmış çalışmalarla mukayese edebilmek amacıyla Çizelge 3.3 hazırlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları krom muhtevası

açısından zengin kabul edilebilecek değerler aralığında bulunmaktadır.



Çizelge 3.3.Çeşitli çalışmalarda ölçülen krom konsantrasyon değerleri

Bölge	Ölçülen konsantrasyon ($\mu\text{g m}^{-3}$)		
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}
Büyükçekmece (Bu çalışma)	0,200±0,217	0,099±0,154	0,101±0,141
Milan (İtalya) (Marcazzan ve arkdş., 2003)	0,495±0,286	0,243±109	0,252±0,177
Beijing, (Çin) (Okuda ve arkdş., 2004)	0,019±0,015		
Hindistan (kuzey kısmı) (Yadav ve Rajamani, 2004)	0,0885		

3.3.4 Magnezyum (Mg), Demir (Fe) ve Alüminyum (Al)

Tayin edilen magnezyum, demir ve alüminyum konsantrasyonlarının ölçüm süresi boyunca PM_{2.5} ve PM₁₀ parçacıklardaki dağılımı sırasıyla Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Tayin edilen magnezyum konsantrasyonlarının yıllık PM_{2.5}, PM_{2.5-10} ve PM₁₀ ortalamaları sırasıyla; 0,403 $\mu\text{g m}^{-3}$; 0,636 $\mu\text{g m}^{-3}$ ve 1,039 $\mu\text{g m}^{-3}$; demir muhtevasının yıllık ortalamaları ve standart sapma değerleri sırasıyla; 0,555 ± 0,465 $\mu\text{g/m}^3$, 0,945 ± 0,998 $\mu\text{g/m}^3$ ve 1,501 ± 1,134 $\mu\text{g/m}^3$ ve alüminyum yıllık ortalama değerleri sırasıyla; 3,156 $\mu\text{g/m}^3$, 2,708 $\mu\text{g/m}^3$, 5,864 $\mu\text{g/m}^3$ olarak bulunmuştur.

Alüminyum, magnezyum ve demir elementlerinin dünyaya Afrika ve sahra çölleri üzerinden toz fırtınaları ve aerosoller olarak yayıldığı iyi bilinmektedir (Hess ve Draxler, 1998). Çalışmanın bu kısmında örnek setinin en yüksek demir konsantrasyonu gözlenen %30’luk veri değerlerini epizot değerler olarak kabul ederek, küresel olarak yayılan mineral tozların bu değerlere nedenli etkili olup olmadıkları incelenmiştir. Bu çalışmanın yapılabilmesi için NASA tarafından geliştirilen ve kullanılmakta olan uydu fotoğrafları kullanılmıştır (<http://jwocky.gsfc.nasa.gov/aerosols/aerosols.html>).

NASA’nın ilgili web sayfasında uydudan gönderilen ışınların dalga boylarının Emilimi esasına dayanılarak hazırlanmış uydu fotoğrafları istenilen tarihler için kullanıma hazır bulunmaktadır. Bu fotoğraflar atmosferdeki aerosollerin davranışları, toz fırtınası, yangın, vs. türü fenomenlerin etkilerinin gözlenebilmesi gibi işlemler için kullanılabilir. NASA tarafından geliştirilmiş olan bir aerosol indeksi kullanılarak bu haritalar renklendirilmiştir.

TOMS aerosol indeksi UV ışığın dalga boylarının geri yansıtılan miktarındaki Emilme miktarlarının incelenmesi ve atmosferdeki aerosol miktarının bu esasa dayalı olarak tayin

edilmesi metodunu içermektedir (Mie yayılması, Rayleigh yayılması ve emilim). Nicel olarak, bahsi geçen aerosol indeksi (AI) aşağıdaki şekilde tanımlanabilir;

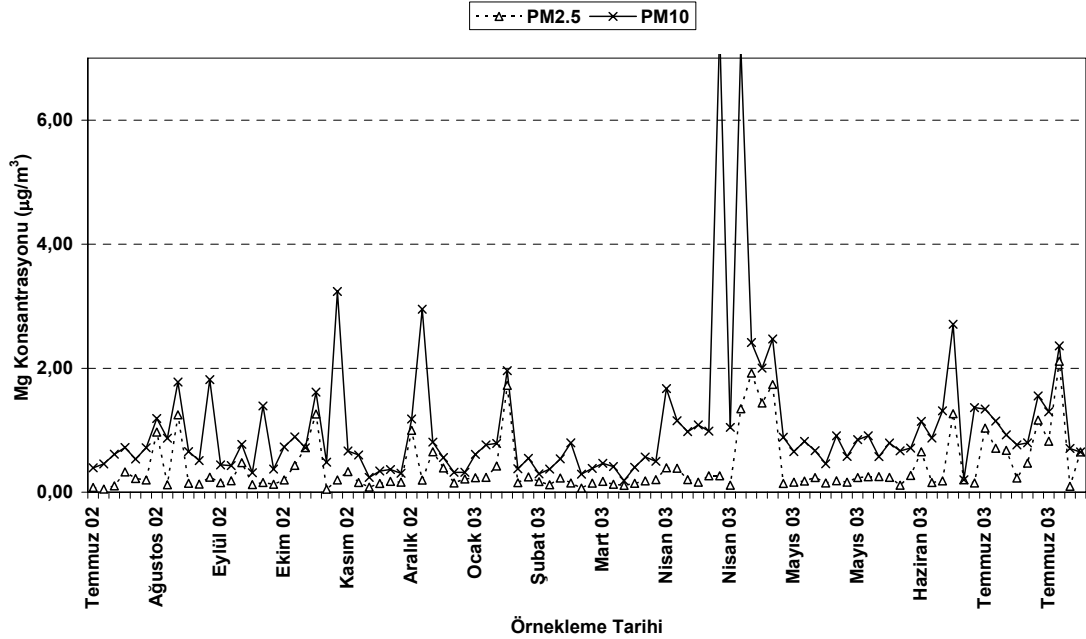
$$AI = -100 \log_{10} \left[\frac{I_{331}^{Meas}}{I_{360}^{Calc}} \right] \quad (3.1)$$

Burada; I_{331}^{Meas} = ölçülmüş 331 nm EP-TOMS parlaklığı (radiance)

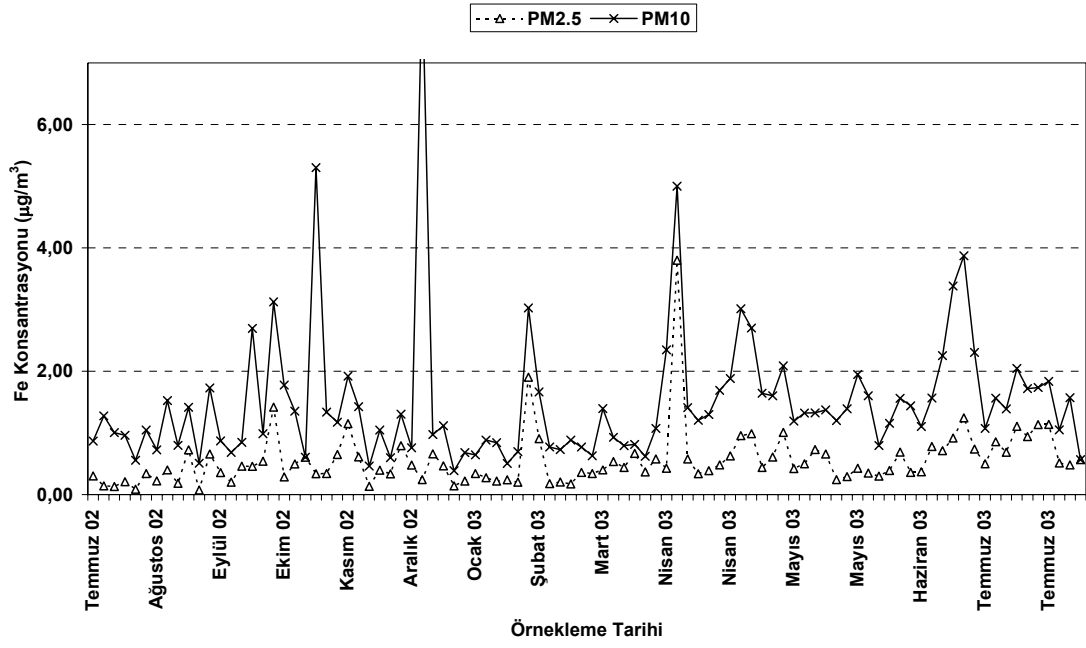
I_{360}^{Calc} = bir Rayleigh atmosfer için hesaplanmış 360 nm EP-TOMS parlaklığı

Normal şartlar altında AI değeri emilim yapan aerosoller için pozitif emilim yapmayan aerosoller için ise negatif değerler verir (Torres ve arkdş, 1998).

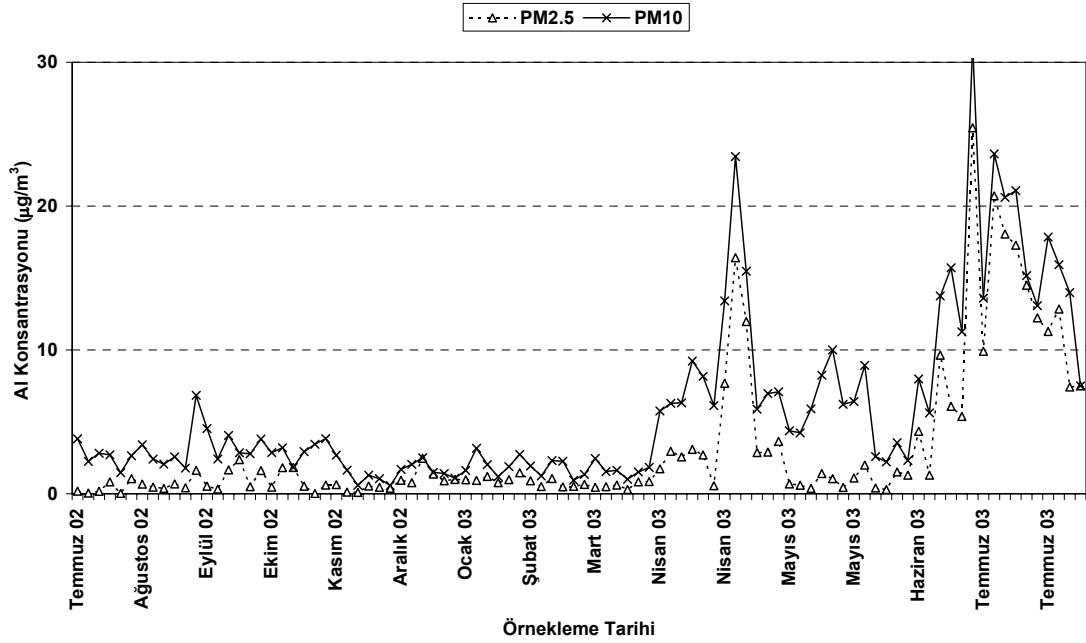
Düşük demir konsantrasyonu gözlenmiş bir günde (27-Ocak-2003) alınan TOMS haritası incelendiğinde ülkemizin üzerine Küresel yayılmanın etkisi ile herhangi bir aerosol ulaşmadığı rahatlıkla görülebilmektedir (Şekil 3.14). Öte yandan epizot dönemlerinde alınan uydu fotoğraflarında küresel aerosol yayılımının (Arabistan üzerinden) ülkemize ve Marmara bölgesine ulaşmakta olduğunu ve Marmara bölgesi üzerindeki aerosol konsantrasyonunu yükselttiği rahatlıkla görülmektedir (Şekil 3.15).



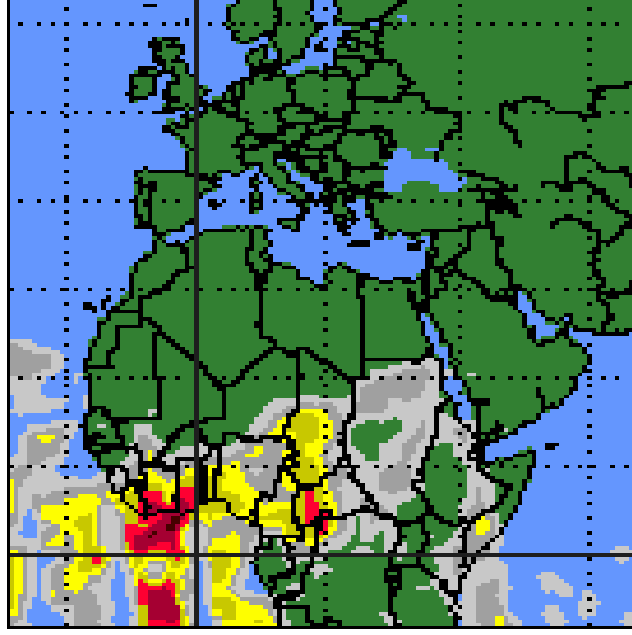
Şekil 3.11. PM_{2.5} ve PM₁₀ magnezyum değerlerinin ölçüm süresince dağılımı



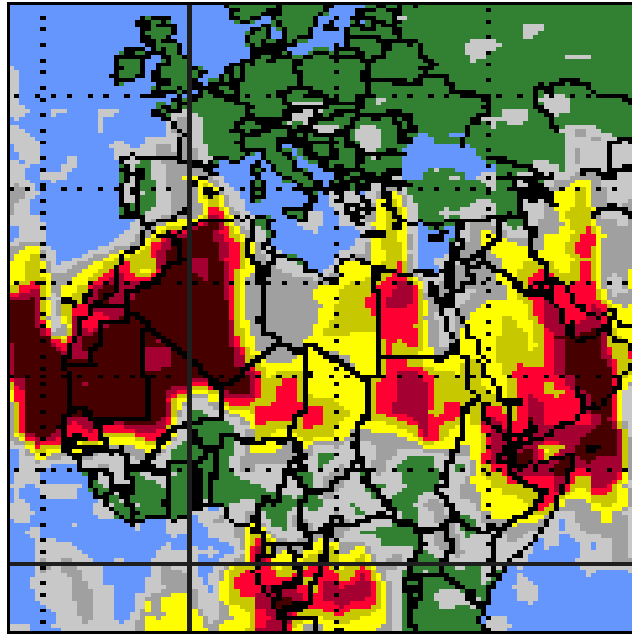
Şekil 3.12. $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} demir değerlerinin ölçüm süresince dağılımı



Şekil 3.13. $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} alüminyum değerlerinin ölçüm süresince dağılımı



Şekil 3.14. Düşük seviye demir konsantrasyonu gözlenen bir gün için AI haritası (27-Ocak-2003).



Şekil 3.15. Epizot demir konsantrasyonu gözlenen bir gün için AI haritası (13-Temmuz-2003).

3.3.5 Çinko (Zn)

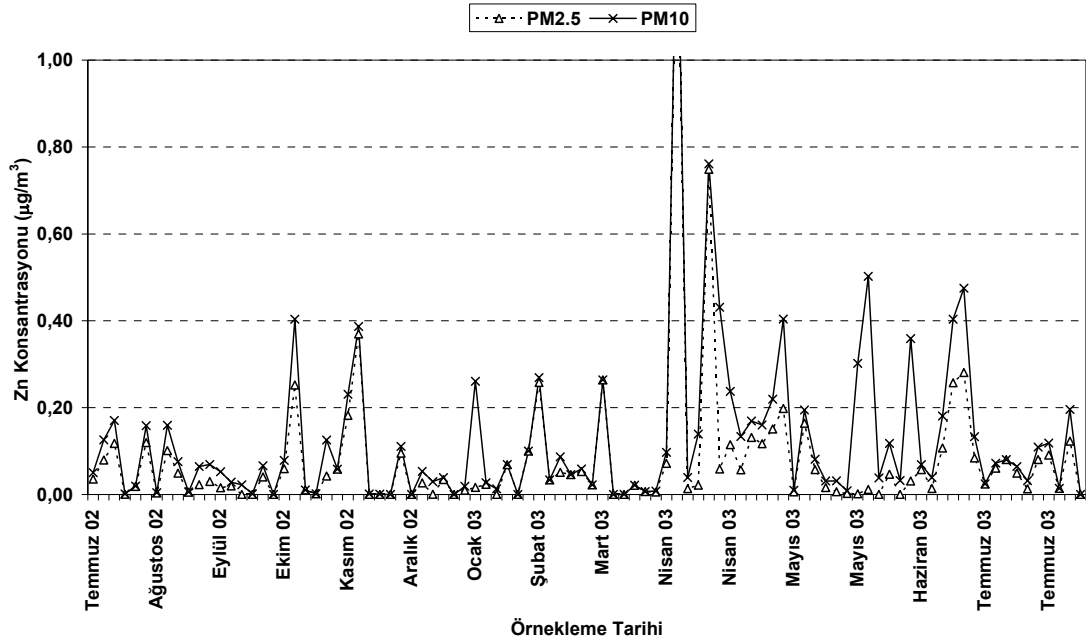
PM_{2.5}, PM_{2.5-10} ve PM₁₀ partiküllerinde çinko muhtevasının yıllık ortalamaları ve standart sapma değerleri sırasıyla; $0,081 \pm 0,176 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,046 \pm 0,085 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $0,126 \pm 0,196 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. PM_{2.5} ve PM₁₀ partiküllerinde çinko muhtevelarının zaman serisi Şekil 3.16'de gösterilmiştir.

3.3.6 Sodyum (Na)

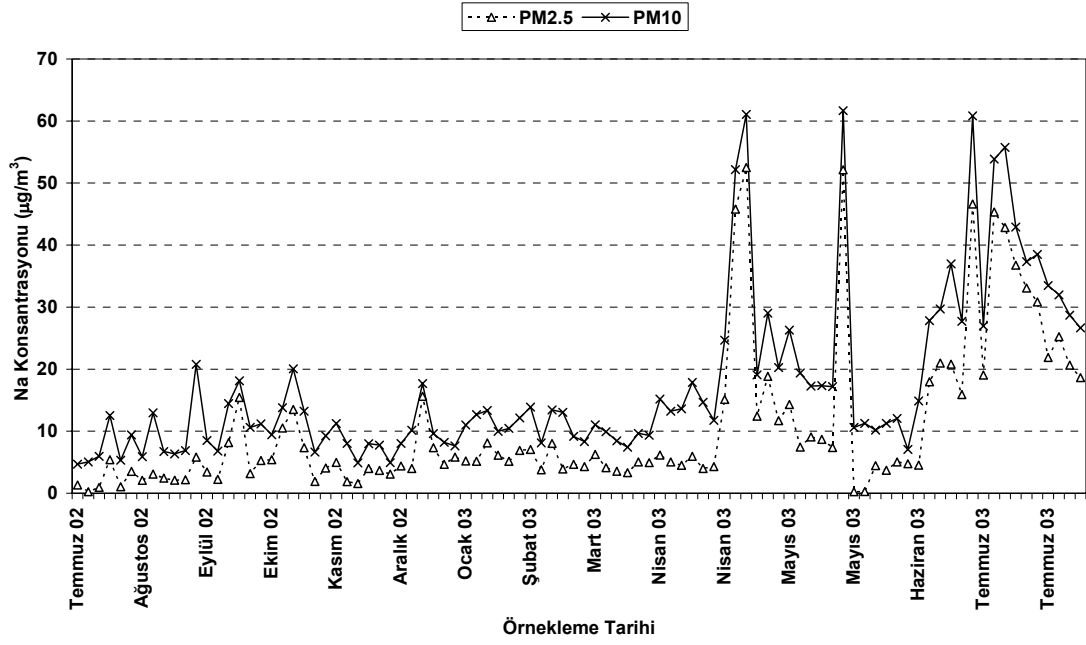
Sodyum muhtevasının yıllık ortalamaları ve standart sapma değerleri sırası ile; $10,55 \pm 12,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6,79 \pm 3,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $17,35 \pm 13,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. PM_{2.5} ve PM₁₀ sodyum muhtevelarının zaman serisi Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

3.3.7 Kalsiyum (Ca)

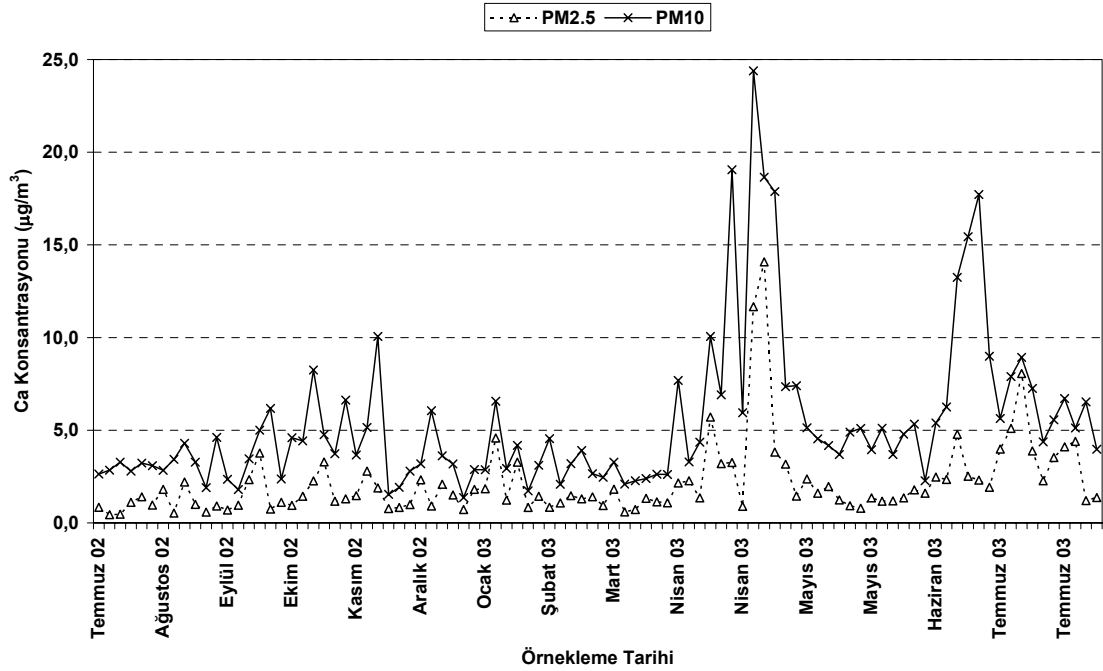
Kalsiyum tayini sonucunda yıllık ortalama değerleri PM_{2.5}, PM_{2.5-10} ve PM₁₀ partikül maddeler için sırası ile; $2,15 \pm 2,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $3,25 \pm 3,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $5,40 \pm 4,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Ölçülen değerlerin bir yıl boyunca elde edilen zaman serisi Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. PM_{2.5} ve PM₁₀ çinko değerlerinin ölçüm süresince dağılımı



Şekil 3.17. $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} sodyum değerlerinin ölçüm süresince dağılımı



Şekil 3.18. $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} kalsiyum değerlerinin ölçüm süresince dağılımı

Toplanan örneklerin metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi ve muhtemel kaynaklarının belirlenmesi bölgesel atmosferik partikül karakteri ve oluşumunun anlaşılması açısından önem arz etmektedir. Her bir elementin kendine has özellik ve davranış biçimi olduğu belirlenmiştir, buna göre her bir element ayrı ayrı çalışmanın bulguları eşliğinde değerlendirilecektir.

Dış ortam kadmiyum konsantrasyonları ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle kırsal kesimlerde 0,1 ila 5 ng/m³, kentsel alanlarda 2 ila 15 ng/m³, ve endüstrileşmiş alanlarda ise 15 ila 150 ng/m³ civarı konsantrasyonlar gözlenmektedir (Elinder, 1985; WHO, 1992). Tayin edilen kadmiyum değerleri incelendiğinde ölçümleme bölgesi kırsal alanlar sınıfına girmektedir (Şekil 3.5). Bazı zamanlarda ölçülen değerler kentsel bölge değerlerine kadar çıkmaktadır. Örneklemenin yapıldığı bölge endüstriden direkt etkilenmeyen (non-impacted) kent merkezine yakın kırsal bir bölge (suburban) durumundadır. Elde edilen veriler incelendiğinde ise kadmiyum elementi açısından bölgenin endüstriyel kaynaklardan etkilendiği görülmektedir. Bölgede bulunan, içme suyu doğal gölü olan Büyükçekmece Gölüne hava yoluyla zehirli ağır metallerin taşındığı belirlenmiştir. Yıllık ortalama kadmiyum konsantrasyon değerleri PM_{2.5} partiküllerde PM_{2.5-10} partiküllere oranla oldukça fazladır. Öte yandan, PM_{2.5-10} partiküllerdeki konsantrasyonlar oldukça düşüktür ve birçok örnekte ölçüm limitlerinin altında çıkmıştır. Eylül ve Mart aylarında PM_{2.5-10} partiküllerde ölçülen kadmiyum değerleri toplam bütçeye dikkate değer bir katkıda (yaklaşık %40) bulunduğu ve Eylül-Kasım ve Mart-Haziran dönemlerinde yüksek değerlerin gözlemlendiği görülmektedir. Kadmiyum elementinin mevsimsel modelini çıkartmak için polinom tamamlama metodu kullanılabilir. Bu metotla elementin dönemsel davranışları belirlenmiş ve modellenmiş olunur. Elde edilen modellerin R² değerleri oldukça iyidir (~%75), bu da modelin iyi oluşturulduğu ve veriyi yeterli miktarda tanımladığı anlamına gelmektedir. Modellere göre kadmiyum değerleri Mayıs ve Haziran aylarında en yüksek değerlerini ulaşmaktadırlar. İkinci dönem en yüksek değerler ise Ekim ayında gözlenmiştir. Sonuç olarak bölgedeki partiküllerin kadmiyum muhtevası insan kaynaklı aktivitelere bağlı olarak oluşmaktadır. PM_{2.5} partiküllerinin atmosferde uzun mesafelerden taşınma ihtimalleri göz önünde bulundurulduğunda, epizot değerler için eski yörüngelerin incelenmesinde fayda vardır. Şekil 3.6 incelendiğinde eski yörüngeler genellikle Avrupa ve Karadeniz üzerinden geçerek örnekleme bölgesine ulaşan hava parsellerince bölgeye taşınmışlardır. Fakat bu tip bir çalışmada örnekleme esasları ve bölgenin özellikleride (enverziyon etkileri vs.) göz önünde bulundurulduğunda en etkili yörünge ve kaynakların 500 m yörüngesi ve yerel kaynaklar olması gerekmektedir. 500 m yörüngelerinin yoğunluklu olarak Karadeniz üzerinden bölgeye

taşınması bölgedeki bu epizotlarda uzak bölgelerin etkilerinden daha ziyade yerel kaynakların etkisinin daha fazla olabileceği önerisini kuvvetlendirmektedir (Şekil 3.6).

Büyükçekmece bölgesinde ölçülen kurşun değerleri (Şekil 3.7) diğer çalışmalarla mukayese edildiğinde orta sıralarda yer almaktadır (Çizelge 3.2). Bölgedeki yıllık ortalama kurşun konsantrasyon değerleri çok kirli bölge sınıfına girmemekte fakat tam anlamı ile de kirlilikten etkilenmeyen bir bölge konumunda da bulunmamaktadır. Ölçülen değerlerin yıllık ortalamasına bakıldığında kent merkezlerinden etkilenen kırsal kesim (suburban, impacted) tanımına uygunluk göstermektedir, mesela bu çalışmadaki değerler Bursa kent merkezinde yapılan bir çalışmada elde edilen değerlerden daha düşük seviyeli konsantrasyon ortalamaları vermiştir (Samura ve arkdş., 2003). Tüm çalışma boyunca $PM_{2.5}$ partiküllerinde ölçülen Pb değerleri $PM_{2.5-10}$ partiküllerindeki ölçümlerden fazla çıkmıştır. Bu durum itibari ile bölgedeki kurşun değerleri kadmiyum değerleri ile benzerlik göstermektedir. Sadece Ağustos 2002 ve Mayıs 2003 dönemlerinde $PM_{2.5-10}$ ortalamaları $PM_{2.5}$ ortalamalarından daha yüksek değerdedir. Kış aylarında bu fark daha önemli miktarlarda artış göstermektedir. Genel eğilim incelendiğinde ise yıl boyunca konsantrasyonlarda dikkate değer oranlarda bir artma veya azalma görülmemektedir, bu durum ölçüm yapılan bölgedeki Pb konsantrasyonlarının mevsimsel aktivitelere çok fazla bağımlı olmadığını göstermektedir. Fakat ısınma sezonundaki aylar [Ekim-Mart] incelendiğinde $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ bölüntülerdeki farklılık daha önemli bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu aylarda ince partiküllerdeki kurşun miktarları artış gösterirken $PM_{2.5-10}$ partiküllerdeki kurşun miktarları azalma göstermektedir. Yılın büyük bir kesiminde $PM_{2.5}$ kurşun miktarlarının PM_{10} kurşun miktarlarına %50'nin üzerindeki miktarlarda katkıda bulunmaktadır. Bu denge sadece Temmuz ve Ağustos aylarında değişmiştir. Bu ayların yaz mevsiminin en sıcak ve kurak ayları olması ve dolayısı ile daha öncede tartışıldığı üzere yüksek oranlarda doğal kaynaklı partiküllerin ($PM_{2.5-10}$) bölgeye taşınması, atmosferdeki PM_{10} konsantrasyonlarına önemli oranlarda katkıda bulunmaktadır. Toplanan örneklerin kurşun açısından yaz ve kış ortalamaları incelendiğinde örneklerin ısınma kaynaklı faktörlerden ve mevsimsel değişimlerden ne ölçüde etkilendikleri daha net görülebilir. Isınma sezonu bilindiği üzere İstanbul şehri için Ekim-Mart Aylarını kapsayan sezon, yaz sezonu ise Nisan-Eylül aylarını kapsayan sezonlardır. $PM_{2.5}$ partiküllere bakıldığında yaz ve kış ortalama değerleri sırasıyla; $0,075 \pm 0,056$ (%75), $0,076 \pm 0,052$ (%68) $\mu g m^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden görülebileceği üzere, $PM_{2.5}$ partiküller yıl içerisinde çok fazla değişim göstermemektedirler. Gerek ortalama değerleri gerekse de standart sapma değerleri birbirine oldukça yakındır. Bu da örnekleme bölgesinin yıl boyunca

aynı miktarda antropojenik kaynaklı kurşun konsantrasyonlarına maruz kaldığını göstermektedir. Yaz ayları için hesaplanan standart sapma değerinin ölçülen değerin yüzdesi olarak hesaplanmasıyla bulunan değer olan %75 değeri, yüksek bir değere karşılık gelmektedir. Bu değer kış aylarında hesaplanan değere yakın olmasına rağmen (%68), daha büyüktür. Bu da göstermektedir ki, $PM_{2.5}$ partiküllerdeki kurşun konsantrasyonları özellikle de yaz aylarında çok fazla değişim göstermektedir. Bu durum, bölgenin sabit bir kaynaktan ziyade, trafik gibi hareketli ve değişken bir kaynaktan etkileniyor olabileceğini daha kuvvetli hale getirir. $PM_{2.5-10}$ partiküller incelendiğinde ise elde edilen yaz ve kış ortalama değerleri sırasıyla; $0,067 \pm 0,043$ (%64), $0,036 \pm 0,022$ (%60) $\mu g m^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Yaz ortalama değeri, kışın toplanan örneklerdeki ortalama değerden yaklaşık iki kat (1,84) daha fazladır. Kış aylarında daha düşük konsantrasyonların gözlenmesi oldukça ilginç bir durum olarak görülebilir, fakat kış mevsiminin örneklemenin yapıldığı yıl için çok yağışlı bir mevsim olduğu gözlenmiştir. Aynı bölge üzerinde Başak ve Alagha (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, yağmur suyu örneklerinde kış aylarında yüksek kurşun konsantrasyonlarının gözlenmesi, havada partikül olarak bulunan kurşun muhtevallik tozların yağmur yoluyla yıkandığını doğrulamaktadır. Yaz aylarının kurak geçmesi, $PM_{2.5-10}$ partikül konsantrasyonlarının artmasına diğer bir neden olarak gösterilebilir. Kışın $PM_{2.5-10}$ partikül oluşumu bölgede daha az miktarlarda gözlenmekte, dolayısıyla da ölçülen konsantrasyon değerleri yaz aylarına oranla daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Yüksek kurşun konsantrasyonlu parçacıkların örnekleme bölgesine yoğunlukla İstanbul ilinin üzerinden ve İstanbul'un doğusundan taşındığını, buraya ulaşan hava sistemlerinin de kuzey doğu Avrupa üzerinden bölgeye taşındıklarını görmekteyiz. Bu durumda bölgeye taşınan kurşun yoğunluklu parçacıkların İstanbul ilindeki trafik ve insan kaynaklı aktivitelere bağlı olarak zenginleştiğini gösterir. Diğer bir kurşun zenginleşme yolu ise Yunanistan üzerinden Çanakkale iline oradan da İstanbul'a ulaşan koridor boyunca gözlenmiştir. $PM_{2.5-10}$ partikülleri ise uzun mesafeler boyunca taşınmadıkları ve havada kalma sürelerinin saatler mertebesini geçememesi nedeni ile eski yörüngelerinin incelenmesi doğru olmaz. $PM_{2.5-10}$ partiküllerdeki kurşun yoğunluğu olan örnekler yerel rüzgâr yönleri ve mikro meteorolojik şartlarla daha ilgilidir.

Toplanan örneklerdeki nikel ve krom değerleri birbirlerine oldukça benzerlik göstermektedir (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10). Krom ve nikel ortak emisyon kaynakları bulunan elementlerdir. En önemli kaynakları yanma işlemleri, çimento fabrikaları, krom-nikel işleyen endüstriyel tesisler ve trafiktir. Şekil 3.9'den de görüleceği üzere bazı günlerde nikel değerleri $1\mu g/m^3$

değerinin üzerine çıkmıştır. Aynı durum krom içinde gözlenmiştir. Nikelin ölçüm bölgesindeki konsantrasyonu izleme süresi boyunca aylık ortalamalar dikkatte alındığında artış göstermiştir. Ekim-Kasım 2002 ve Haziran-Temmuz 2003 aylarında yüksek konsantrasyon değerleri gözlenmiştir. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} partiküllerin artış eğilimleri birbirine benzeyen yapıdadırlar. Dağılım istatistikî olarak incelendiğinde düşük korelasyonlu artış gösteren bir yapıdadır. Belirli bir mevsimsel bağıntı kurmak oldukça zordur. Bu durum ancak bölgedeki atmosfere nikel yayan tesis ve faaliyetlerin zamanla artış göstermesi ile izah edilebilir. Literatürdeki benzer çalışmalarda yaz kış mevsimleri arasında farklılıklar belirtilmesine rağmen, bu çalışmada bu durum tespit edilememiştir. Elde edilen mevsimsel nikel değerlerin bir birine yakın olması bölgeye gelmekte olan nikel yüklü parçacıkların düzenli olarak bir kaynaktan (çimento fabrikası) yayımlandığını doğrulamaktadır. Yerleşim bölgelerinde tüketilen fueloil veya fosil kaynaklı yakıtların yakılmasının bölgeye çok fazla etkisinin (nikel göz önünde bulundurulduğunda) olmadığı söylenebilir. Krom değerleri için standart sapma değerleri ve konsantrasyon ortalama değerleri mukayese edildiğinde; standart sapma değerlerinin oldukça büyük oldukları dikkat çekmektedir. Standart sapma değerleri ortalama değerlerin yaklaşık %140 ila %160 oranlarında bulunmuştur. Bu tip standart sapma değerleri ölçülen konsantrasyonunun örnekleme süresince çok büyük oranlarda değişim gösterdiği sonucunu doğurur. Şekil 3.10'de incelendiğinde Ağustos 2002; Mart 2003 periyodunun haricinde ciddi bir değişim görülmemektedir. Fakat bahsi geçen zaman periyodu boyunca çok ciddi değişimler gözlenmiştir. Buda özellikle epizot vakalarının gözlemlendiği bu örnekleme günlerinin özel bir ilgi ile incelenmesi gereğini ortaya çıkarır. Özellikle epizot değerlerin meteorolojik parametrelere birlikte incelemesi bu fabrikanın emisyon değerlerinin ölçüm bölgesine ne denli etkisinin olduğunu netleştirecektir. Atmosferik partiküler krom için EPA'nın belirlediği sınır değer olan $0,1 \mu g/m^3$ Şekil 3.10 üzerinde belirlenmiştir. Yıllık ortalama değerin bu sınır değerden iki kat daha fazla olması oldukça dikkat çekicidir. Bölgeye yoğun olarak krom taşındığı ve çevre ve insan sağlığı açısından tehlike arz edebileceği görülmektedir. Epizot vakalarının sıklığı ve bu vakalar süresince çok yüksek konsantrasyonlar gözlenmesi ($>0,5 \mu g/m^3$) bölgenin ilgili kaynaktan ne denli etkilendiğini doğrulamaktadır. Bölgeye partiküller şeklinde zenginleşmiş krom taşınması olmaktadır. Epizot değerlerin yerel meteorolojik faktörlerle olan ilişkileri önem arz etmektedir. Özellikle enverziyon etkileri ve hakim rüzgâr yönlerinin incelenmesi örnekleme bölgesine kirliliğin nerelerden taşındığının netleşmesinde etkili olacaktır.

Magnezyum, demir ve alüminyum tipik karasal elementlerdir. Genel olarak bu üç elemente ait

veri setleri (Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13) incelendiğinde $PM_{2.5-10}$ partiküllerde bu elementlerin miktarlarının daha fazla olduğu görülmektedir. Karasal zenginleşme değerleri incelendiğinde (Şekil 3.26 ve Şekil 3.27) magnezyum, sodyum ve çinko $PM_{2.5}$ partiküllerde yaz aylarında, kış aylarındaki ortalamalarına göre daha zengin bulunmuştur. Bu değerlerden magnezyum kayda değer oranda zenginleşme (<10) göstermemektedir, doğal seviyeleri oldukça yakın değerlerdedir (Epizot değerler hariç). Özellikle Nisan-Mayıs (ilkbahar) aylarında çok yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir. Bu aylarda ülkemize Afrika üzerinden hava akımlarının geldiği bilinmektedir. Bu mineral tozlarla yüklü hava akımları ilkbahar aylarında bölgeye magnezyum, demir, alüminyum vs. türü elementleri taşıyor olabilir. Bu konunun netlik kazanması için bahsi geçen element grubunun birlikte analizi yapılmış ve muhtemel kaynakları tartışılmıştır. Karbon, potasyum, sodyum ve kükürt elementlerinin solunabilen parçacıklarda yüksek konsantrasyonlarda gözlenmesi alıcı bölgenin endüstriyel bir yakma işleminden yoğun olarak etkilendiğini gösterir, öte yandan yüksek miktarlardaki silikon, alüminyum, demir ve magnezyum gözlenmesi, jeolojik etkilerin baskın olduğunu ifade etmektedir (Breed ve arkadaşları, 2002; Chao ve Wong, 2002). Magnezyum, demir ve alüminyum standart sapma değerleri sırasıyla; %89, %64 ve %93; %119, %95 ve %132; %161, %79 ve %103 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre $PM_{2.5}$ partiküllerdeki konsantrasyonlar $PM_{2.5-10}$ partiküllere oranla daha fazla değişim göstermektedir. Özellikle bu değerler ilkbahar ve erken yaz aylarında maksimum değerler vermiştir. Bu durum dönemsel olarak bölgeye doğal kaynaklardan bu elementlerin yoğun olarak taşındığını belirtmektedir. Bu element grubunda alüminyumun özel bir yeri vardır, zira atmosferik partikül çalışmalarında genellikle zenginleşme miktarlarının hesaplanmasında referans alınan bir elementtir. Sağlık açısından önem arz etmemesine rağmen, diğer elementlerin davranışlarının anlaşılabilmesi açısından incelenmesinde fayda vardır. Genellikle karasal ve mineral toz taşınmasını temsil eden yer kabuğu elementidir. Bölgede ölçülen Al değerleri literatürde yapılan çalışmalar ile mukayese edildiğinde kentsel ve endüstrileşmiş bölgeler sınıfına girmektedir, yani background seviyenin üzerinde bir ortalama değer gözlenmektedir (IPCS, 1997). Yeryüzünde en çok bulunan elementlerden birisi Al olmasına rağmen, doğal yollarla konsantrasyonların bu şekilde yüksek değerlere ulaşması mümkün değildir. Ancak bölgeye uzun mesafelerle taşınmakta olan mineral tozların etkisi ile bu tip elementlerin yoğunlaşma değerlerinde yüksek miktarların gözlenmesi mümkündür. Yıllık veride $PM_{2.5}Al/PM_{2.5-10}$ Al oranı 1,17 değerini vermektedir. Tüm veri seti düşünüldüğünde $PM_{2.5}$ partiküllerdeki Al miktarları $PM_{2.5-10}$ partiküllere oranla baskın görülmektedir. Bu sonuç bölgeye ulaşan Al elementinin endüstriyel bir kaynaktan da bölgeye ulaşabileceği fikrini oluşturmaktadır.

Endüstriyel bir kaynaktan etkilenmeyen bölgelerde bu oranın sıfırdan küçük bir değere karşılık gelmesi yani $PM_{2.5-10}$ partiküllerdeki Al değerlerinin daha yüksek olması beklenirdi. Şekil 3.13 incelendiğinde grafikteki parçacık konsantrasyonlarının Nisan 2003 tarihine müteakiben önemli miktarlarda artış gösterdiğini ve 2003 erken yaz dönemlerine kadar bu yüksek veri grafiğinin devam ettiğini görmekteyiz. Örnekleme döneminin özellikle bu kısmında bu tip yüksek değerlerin gözlenmesi bölgeye bu dönemlerde mineral toz taşınması fikrini desteklemektedir. Bu element grubunun epizot kabul edilen değerleri incelendiğinde birbirini takip eden düzende gerçekleştikleri görülmüştür. Bu durum bölgeye toz fırtınaları veya uzun taşınma ile mineral tozların gelebileceği fikrini netleştirmektedir. Epizot değerlerin gözlemlendiği aralıklar 9- 16 Temmuz, 2003; 22-29 Haziran 2003; 1-2 Mayıs ve 13-14 Mayıs 2003; 21-30 Nisan 2003, 5-7 Ekim 2002 tarihlerine tekabül etmektedir. Münferit günler halinde epizot değerler gözlenmiştir, çalışmanın bu kısmında bir birini takip eden günlerin incelenmesi mineral toz fırtınalarının etkilerinin olup olmadığının anlaşılabilmesi açısından daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Tüm epizot değerleri TOMS-AI haritalarıyla eşleştirilerek incelenmiş ve bu yüksek değerlere karşılık gelen örnekleme süresi boyunca örnekleme bölgesinin en az 8 ayrı periyot halinde bu tip küresel aerosol yayılımının etkisinde kaldığı belirlenmiştir. Bunlardan bazıları özellikle ilkbahar aylarındaki epizotlar (Nisan ve Mayıs ayları) Kuzey Afrika üzerinden bölgeye taşınırken yaz aylarında Arap yarımadası üzerinden etkiler gözlenmiştir. Bu yayılım sonucunda bölgeye çok yüksek seviyelerde olmamasına rağmen mineral tozlar ve aerosoller yayılmıştır. Epizot değerlerin bu element grubu için çok sık görülmesi mevsimsel ortalama değerlerin alınarak bir inceleme yapılmasını olanaksız hale getirmiştir. Zira bu tip bir analiz ve değerlendirme istatistiksel açıdan yanlış sonuçlar verecektir.

Atmosferde çinko genel olarak aerosollerin içersinde okside olmuş şekilde bulunmaktadır (Nriagu ve Davidson, 1980). Partikül maddelerde birçok farklı boyutlarda bulunabilir, çinkonun partikül olarak boyutunu tayin eden emisyon kaynağının özellikleridir. Mesela atık yakma tesisleri atmosfere küçük çaplı çinko muhteva eden parçacıklar yayarken, araba ve kamyonların lastikleri daha büyük parçacıkların atmosfere yayılmasına neden olmaktadırlar (Sohn ve arkadaşları, 1989). Kentsel ve endüstrileşmiş alanlarda çinko, metalürji ile ilgili tesislerden, pirinç/çinko üretim tesislerinden $5 \mu m$ boyutundan daha büyük formlarda üretilerek atmosfere salınabilmektedirler (Nriagu ve Davidson, 1980). Dorn ve arkadaşlarının (1976) yaptığı bir çalışmaya göre, atmosferde bulunan çinkonun %73'ü kurşun işleyen bir tesisten yayılmaktadır ve ortalama olarak $4.7 \mu m$ boyutundan küçüktür. Bunun yanı sıra,

Çinko içeren toprak veya toz parçacıkları rüzgarın etkisi ile toprak ve yollardaki tozlardan atmosfere taşınabilir (Perwak ve arkdş., 1980). Örnekleme bölgesindeki çinko elementinin genel dağılımı (Şekil 3.16) incelendiğinde ağırlıklı olarak $PM_{2.5}$ partiküllerde bulunduğunu görmekteyiz. Toplanan örneklerdeki çinko ve krom elementleri oldukça zenginleşmiş elementleridir (Şekil 3.24). Kadmiyumla mukayese edildiğinde bu elementler nispeten daha az zengindirler. Bu zenginleşme değeri incelenerek bölgenin insan kaynaklı aktivitelerden etkilendiğı belirlenmiştir. $PM_{2.5}$ partiküllerdeki çinko yıllık ortalaması $PM_{2.5-10}$ kısımla mukayese edildiğinde $PM_{2.5}$ partiküllerin $PM_{2.5-10}$ partiküllere nispeten %76 daha fazla çinko içerdikleri görülmüştür. $PM_{2.5}$ partiküllerdeki çinko yerel veya bölgesel endüstriyel kaynaklardan bölgeye taşınmış olması ihtimali yüksektir. Çinko verisinin yıllık ortalamaları incelendiğinde tüm metaller arasında en enteresan durum çinko standart sapma değeri gözlenmiştir. Bu standart sapma değeri $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ ve PM_{10} için sırasıyla; %218, %185 ve %155 olarak hesaplanmıştır. Bu değeri çinkonun her boyut dağılımı için çok yüksektir ve özellikle $PM_{2.5}$ boyut dağılımı için çinko konsantrasyonlarının yıl içersinde çok önemli değışiklikler gösterdiğini ifade etmektedir. Bölgede gözlenen meteorolojik etkiler, özelliklerde alçak basınç, enverziyon ve rüzgâr etkileri tipik pik değeri gözlenmesine neden olmaktadır. Bölgede önemli bir veya daha fazla çinko kaynağı tespit edilmiştir. Bu kaynaklardan en önemlisi bir yakma tesisi olan imento fabrikası olabilir. Buna ilaveten bölgenin Güney-Batı bölgesinde (Yakuplu) pirinç ve bakır işlemlerinin yoğun olarak yapıldığı Pirinç ve Bakırcılar Organize Sanayi Bölgeleri mevcuttur (Şekil 2.1). Bu bölge örneklem bölgesine nispeten uzak konumda olsa bile (~15 km) bölgeyi etkiliyor olabilir. Değeri zaman serisi incelendiğinde özellikle Nisan 2003 tarihinde yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir. Yıllık ortalamalardaki standart sapma değeri çok yüksek olmasının temel nedeni bu ayda gözlenen yüksek konsantrasyonlardan kaynaklanmaktadır. İlkbahar dönemine denk gelen bu ay içersindeki yüksek konsantrasyonların bölgeye uzun mesafelerle taşınmış olma ihtimalide ortaya çıkmaktadır. Birçok elementte de bahar mevsimlerinde zenginleşmiş değeri gözlendiğı belirlenmişti. Fakat inkonun bu yüksek değeri uzun taşınmadan ziyade bölgedeki endüstriyel faaliyetlerin mevsimsel değışiminden kaynaklandığının ifade edilmesi daha doğru bir karar olacaktır. Zira inko değeri özellikle $PM_{2.5}$ kısmında baskındır. Mayıs ve Haziran 2003 aylarında ise $PM_{2.5-10}$ partiküllerde yüksek çinko değeri gözlenmiştir. Mayıs ve Haziran aylarında doğal ortamlardan, özellikle yeniden yükselme ile (resuspension) toz taşınmasının fazla olması ve bu dönemlerde yüksek toz konsantrasyonları gözlenmesi, yüksek çinko değeri açıklamaktadır.

Toplanan örneklerin kütlelerine sodyum partiküllerinin katkısı oldukça önemli miktarlardadır. Karasal doğal konsantrasyonlar göz önünde bulundurulduğunda sodyumun bir miktar zenginleşme gösterdiği söylenebilir (Şekil 3.24). Tabii ki bölgenin Karadeniz'den etkilendiği düşünülürse bu zenginleşmenin denizden kaynaklandığı rahatlıkla anlaşılabilecektir. Büyükçekmece Gölü kenarında kurulmuş olan izleme istasyonu deniz sahilinden 5 km uzaklıktaki bir mesafede bulunmaktadır. Yıl boyunca hakim rüzgârlar genelde istasyondan deniz yönüne doğrudur. Dolayısı ile ölçmüş olduğumuz Na yoğunlaşma değerlerinin Marmara denizi kaynaklı olmama ihtimali belirmektedir. Dolayısıyla ölçülen sodyum miktarlarının Karadeniz ve karasal kaynaklı olabileceği düşünülebilir. Denize yakın bölgelerde sodyum genelde yüksek değerler gösterdiği için Denizsel Zenginleşme Faktörlerinin hesaplanmasında referans alınan elementtir. Bu elementin değerleri diğerleri ile mukayese edilerek insan kaynaklı aktivitelerden zenginleşmiş olan elementler daha doğru belirlenebilir. Elde edilen her iki tür zenginleşme değerleri (Şekil 3.25) oldukça benzer sonuçlar vermiştir. Literatürde yapılan benzer çalışmalar bulunan bu değerlerle uyum göstermektedir. Özellikle ince parçacıkların bazen %75'lere varan miktarları sodyum parçacıklarından oluşabilmektedir (O'Dowd ve Smith, 1993). Örneklerin zamana bağlı dağılımı incelendiğinde (Şekil 3.17) ilkbahar ve yaz aylarında (2003) yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir. Yıllık ortalama değerlere göre $PM_{2.5}$ sodyum muhtevası $PM_{2.5-10}$ partiküllerine oranla daha fazladır (yaklaşık %50) bu farklılık literatürdeki birçok çalışmada da benzer şekilde ifade edilmiştir (Torres ve arkdş., 1998; O'Dowd ve Smith, 1993; Seinfeld ve Pandis, 1998; Duce ve arkdş., 1983; Quinn ve Coffman, 1998; Quinn ve arkdş., 2000). Temel olarak yüksek sodyum muhtevası deniz tuzlarının ve doğal sodyum muhtevalı kayaçların rüzgârın etkisi ile parçacıklar veya spreylar halinde atmosfere yayılmasıyla oluşur. Atmosferde çok uzun mesafelerle taşınabilirler. Örnekleme bölgesi deniz ortamlarına yakın olduğu için, deniz kaynağından etkilenmesi (özellikle Karadeniz) ve yüksek muhtevalı sodyum parçacıkları içermesi oldukça normal ve beklenen bir sonuçtur. Standart sapma değerleri incelendiğinde ise ince partiküllerin yıllık ortalama sodyum konsantrasyonuna oranla % 115 mertebesinde olması, bu parçacık dağılımında sodyumun yıl içerisinde çok önemli miktarlarda değişim gösterdiğini ifade etmektedir. Diğer bir neden ise örnekleme bölgesini etkileyen kaynakların veya meteorolojik şartların yıl içerisinde değişim göstermesi olarak ifade edilebilir. Öte yandan $PM_{2.5-10}$ sınıfına giren parçacılardaki standart sapma değeri %45 mertebesinde. Bu değişim $PM_{2.5}$ partiküllere göre oldukça azdır, demek ki yıl boyunca $PM_{2.5-10}$ partiküllerdeki sodyum muhtevası çok fazla dalgalanma/değişim göstermemekte ve sabite daha yakın eğilim izlemektedir. Elde edilen veriler ve konsantrasyon

değerleri ve literatürdeki diğer çalışmalarda incelendiğinde, sodyumun ağırlıklı olarak deniz kaynaklı olabileceği ihtimalini kuvvetlendirmektedir. Bölgeye mineral tozları yoluyla yakın mesafelerdeki deniz ortamlarından (Marmara ve Ege) ve uzak mesafelerdeki deniz ortamlarından (Karadeniz, Akdeniz) taşınmaktadırlar. Ekim-Mart döneminde yani ısınma sezonunda yağışlara da bağlı olarak yıllık ortalama değer altında konsantrasyonlar gözlenmiştir. Özellikle kuraklığın fazla olduğu dönemlere karşılık gelen Temmuz 2003 döneminde oldukça yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir. Bahsi geçen dönem boyunca $PM_{2.5-10}$ partiküllerde daha büyük miktarda sodyum konsantrasyonları ölçülmüştür. Bunun temel nedeni bu dönem boyunca hakim rüzgârların Karadeniz üzerinden bölgeye ulaşması ve deniz spreyleri kaynaklı sodyumun daha ağırlıklı olarak bölgeye taşınmasıdır.

Kalsiyum elementi aerosollerde ölçülen metaller arasında önemli miktarlarda (majör) yoğunlaşma değerine sahip olan bir elementtir. Zira doğada bol miktarlarda bulunur ve atmosfere fosil türevi yakıtların yakılması ile bol miktarlarda atılabilmektedir (McQuarrie ve Lime, 1966). Atmosferdeki mevcudiyetinin en önemli nedeni endüstriyel faaliyetlerdir. Bölgenin kalsiyum profiline (Şekil 3.18) göre $PM_{2.5}$ Ca miktarı $PM_{2.5-10}$ 'a nazaran daha düşük seviyededir. Literatürde yapılan çalışmaların bir çoğunda benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Samura ve ark., 2002; Klemm ve Gray, 1982). Yıllık ortalama kalsiyum muhtevası açısından $PM_{2.5}Ca/PM_{2.5-10}Ca$ oranı 0,66 olarak hesaplanmıştır. Bu fark önemli sayılabilecek orandadır ve kalsiyumun doğal ve antropojenik kaynaklardan hava ortamına $PM_{2.5-10}$ boyutlarda daha fazla atıldığını ifade etmektedir. Standart sapma değerleri yüzdesel olarak hesaplandığında sırası ile %96, %95, ve %77 olarak bulunur. Yıl içerisinde kalsiyum önemli sayılabilecek değişimler göstermektedir. Her bir boyut dağılımının benzer standart sapma değerine sahip olması davranışlarının (veya kaynaklarının) benzer olabileceği fikrini oluşturmaktadır. Bilindiği üzere kalsiyum doğal ve antropojenik kaynaklardan yayılabilir. Bulduğumuz bu ortalama değerler literatürde bahsedilen çalışmalarda geçen değerler ile mukayese edildiğinde $PM_{2.5-10}$ partiküllerdeki kalsiyum miktarlarının nispeten düşük oldukları görülmüştür. Kalsiyum profili incelendiğinde her boyut için benzer davranışları izlediği fakat örnekleme dönemi boyunca dönemsel davranışlar gösterdiği söylenebilir. $PM_{2.5-10}$ ve PM_{10} kalsiyum yoğunlaşma değerleri bir yıl içerisinde iki dönemsel davranışa sahiptir. Bunlardan ilki Eylül-Ekim-Kasım (2002) aylarında en yüksek değerlere ulaşırken ikinci ve en önemli yükselme dönemini Nisan-Mayıs-Haziran (2003) aylarında göstermekte ve en yüksek değerlere ulaşmaktadır. $PM_{2.5}$ kalsiyum yoğunlaşma değerleri için ise benzer bir dönemsel davranıştan bahsetmek zordur fakat verinin geneli düşünüldüğünde düzenli bir artış olduğu söylenebilir.

Tüm partikül sınıfları için yaz döneminde kış dönemine nispeten daha yüksek yoğunlaşma değerleri gözlenmiştir.

3.4 Meteoroloji Verileri ve Partikül Madde Arasındaki İlişkiler

Meteorolojik veriler İstanbul Florya meteoroloji B3 tipi istasyonundan elde edilmiştir. İstanbul'daki meteoroloji istasyonlarından örnekleme bölgesine en yakın olan meteoroloji istasyonudur. Çalışmamızda kullandığımız meteorolojik veriler aşağıdaki gibidir:

1. Parametre: Günlük ortalama rüzgâr (m/sec)
2. Parametre: Günlük ortalama sıcaklık değeri ($^{\circ}\text{C}$)
3. Parametre: Günlük ortalama nem (%)
4. Parametre: Günlük toplam yağış (mm)
5. Parametre: Günlük ortalama deniz seviyesine indirgenmiş basınç (mb)
6. Parametre: Günlük ortalama bulutluluk (x/10)

Meteorolojik veriler ile toplanan partikül madde konsantrasyonları arasındaki ilişki oldukça kritik sonuçlar göstermektedir (Çizelge 3.4). Bu sonuçlara bazı meteorolojik parametreler $\text{PM}_{2.5}$ kütle miktarı ile %95 güven aralığında ilgilidir. Basınç, sıcaklık, yağış ve bulutluluğun azalması ile bölgedeki insan faaliyetlerine bağlı oluşan atmosferik partikül konsantrasyonlarında ($\text{PM}_{2.5}$) artışlar gözlemlendiği belirlenmiştir. Özellikle enverziyon gözlenen günlerde yüksek değerlerin ölçülmüş olması bölgedeki atmosferik $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonlarının enverziyon etkisi ile yoğunlaştığını ve konsantrasyonlarının artış gösterdiğini belirtmektedir.

$\text{PM}_{2.5-10}$ partiküller için ise %95 güven aralığında sadece nem miktarı ile bir ilişki gözlemlenmektedir. Bu oldukça ilginç bir sonuçtur, zira bu partikül sınıfı genellikle atmosferde uzun süre kalmaz ve doğal nedenlerle oluşur. Nem miktarının artışı ve buharlaşma miktarlarındaki artışlar özellikle deniz yüzeylerinden ve karasal yüzeylerden daha fazla miktarlardaki sodyum vb. doğal kaynaklı $\text{PM}_{2.5-10}$ partiküllerinin artışına neden olmaktadır. Yüksek değerlerde nem gözlenen günlerde doğal kaynaklı atmosferik partikül artışı olmaktadır.

Tabi ki kullanmış olduğumuz meteorolojik (Florya ve Göztepe) veriler örnekleme istasyonunun bulunduğu bölgeyi tam anlamıyla temsil edici nitelikte değildir. Örnekleme bölgesinde bu istasyonlardan daha farklı yerel meteorolojik etkiler gözlenmiş olabilir. Bu tip çalışmalarda en ideal olan örnekleme yapılan bölgede bir meteoroloji istasyonu kurarak paralel ve eş zamanlı ölçümler yapılmak ve bu parametrelerle sonuçları değerlendirilmektir.

Meteorolojik veriler ile $\text{PM}_{2.5}$ ve $\text{PM}_{2.5-10}$ metal konsantrasyonlarının korelasyon tablosu çıkarılarak Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'de verilmiştir. Çizelgelerde 0,01 seviyesinde (%99

güven aralığında) ve 0,05 seviyesinde (%95 güven aralığında) ilişkili olan değişkenler belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. PM_{2,5} konsantrasyonları ve meteorolojik verilerin korelasyon tablosu (R)

PM _{2,5}	Toz ağırlığı	Yağış	Nem	Sıcaklık	Rüzgar	Basınç	Bulutluluk
Cd	0,06	0,08	-0,11	0,11	0,07	0,08	0,08
Cr	-0,04	-0,18*	0	-0,16	0,01	-0,18*	-0,18*
Fe	0,09	-0,03	-0,16	0,05	-0,05	-0,02	-0,02
Mg	-0,11	0,12	-0,13	0,16	-0,17	0,11	0,11
Na	-0,01	0,18*	-0,29**	0,29**	-0,1	0,18*	0,18*
Ni	0,19*	0,05	-0,1	0,09	0,08	0,05	0,05
Pb	0,35**	0,02	-0,18*	0,09	-0,11	0,02	0,02
Zn	0,18*	-0,06	-0,03	-0,02	-0,07	-0,06	-0,06
Al	-0,04	0,25**	-0,40**	0,37**	-0,05	0,25**	0,25**
Ca	-0,11	0,02	-0,22*	0,125	-0,16	0,02	0,02

* ilgileşim 0.05 düzeyinde anlamlıdır.

** ilgileşim 0.01 düzeyinde anlamlıdır.

Çizelge 3.5. PM_{2,5-10} konsantrasyonları ve meteorolojik verilerin korelasyon tablosu (R)

PM _{2,5-10}	Toz ağırlığı	Yağış	Nem	Sıcaklık	Rüzgar	Basınç	Bulutluluk
Cd	0,05	-0,07	-0,034	-0,067	0,036	-0,07	-0,07
Cr	-0,08	-0,109	0,161	-0,112	0,22*	-0,109	-0,109
Fe	0,20*	0,024	-0,049	0,054	-0,066	0,024	0,024
Mg	0,1	-0,047	-0,06	-0,001	-0,19*	-0,047	-0,047
Na	0,28**	0,26**	-0,23*	0,34**	-0,103	0,26**	0,26**
Ni	-0,13	-0,077	0,077	-0,091	0,027	-0,077	-0,077
Pb	0,33**	0,20*	-0,159	0,25**	-0,103	0,20*	0,20*
Zn	0,15	0,15	0,021	0,167	-0,18*	0,15	0,15
Al	0,26**	0,33**	-0,19*	0,40**	-0,27**	0,33**	0,33**
Ca	0,35**	0,106	-0,21*	0,20*	-0,23*	0,106	0,106

* ilgileşim 0.05 düzeyinde anlamlıdır.

** ilgileşim 0.01 düzeyinde anlamlıdır.

PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} partiküllerinde meteorolojik faktörlerle en çok ilgileşim gösteren elementler alüminyum ve sodyum elementleridir. Bu iki elementin konsantrasyonlarının bölgesel nemle ters, sıcaklıkla doğru orantılı olarak ilgileşim gösterdiği belirlenmiştir. Her iki ilgileşimde oldukça kuvvetlidir ve daha önceki bulguları doğrulamaktadır. Nem ve sıcaklık faktörü doğal erozyonu en çok etkileyen faktörlerdir, nemin artmasıyla kuraklık azalacağından toprak ve yeryüzü aşınmaları azalmış ve toprak ve deniz kökenli konsantrasyonlarda düşmeler gözlenmiştir. Benzer şekilde sıcaklık bu aşınmaları artıran bir faktördür ve doğal kaynaklı

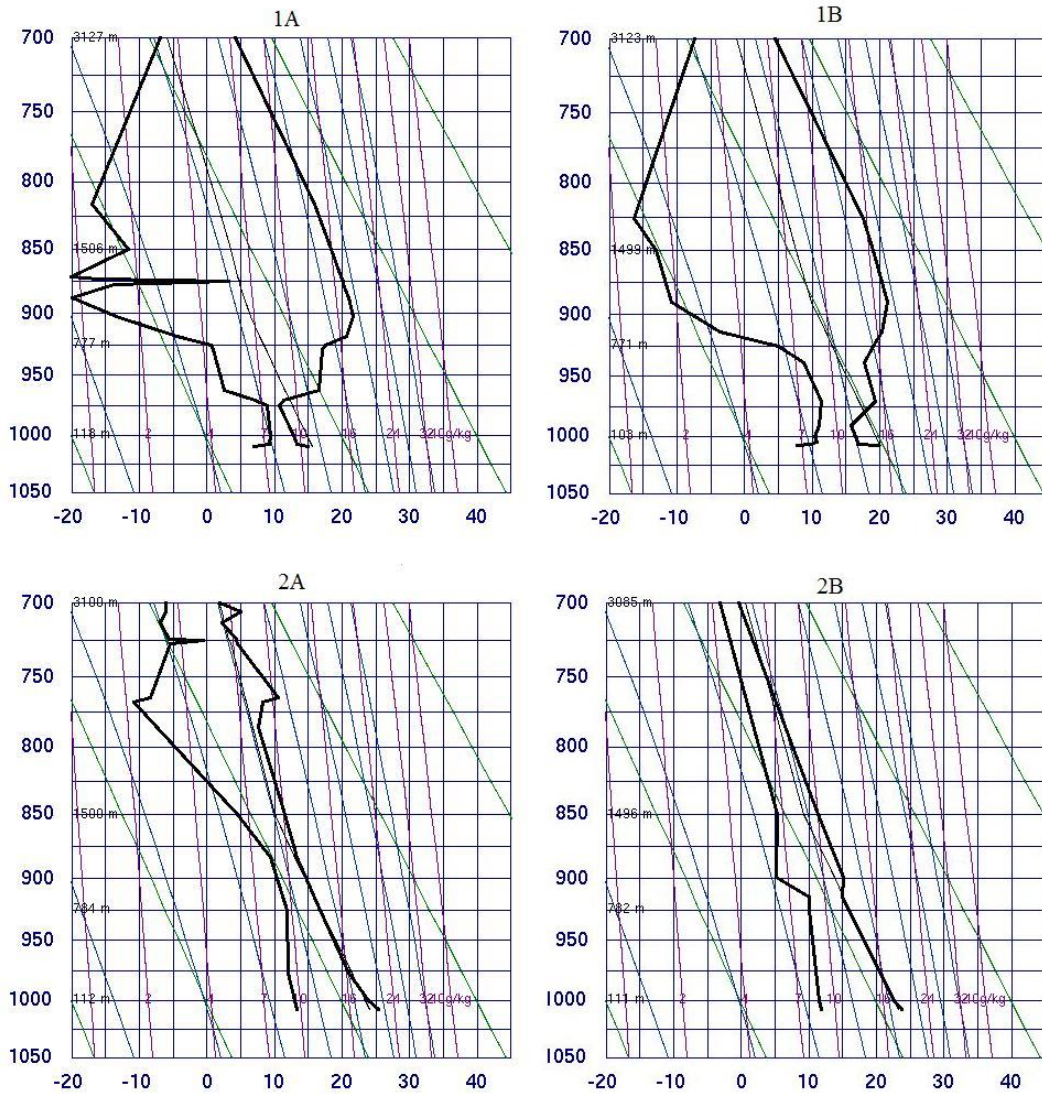
konsantrasyonların artmasına neden olmuştur. Meteorolojik parametrelerin özellikle $PM_{2.5-10}$ kısım partiküllerin element konsantrasyonlarıyla kuvvetli ilgileşim gösterdiği belirlenmiştir. Yerel meteoroloji faktörleri özellikle bu sınıf partikül oluşumunda daha etkilidir. İlginç korelasyonlardan biriside kurşun ve partikül madde miktarları arasındaki ilgileşim değerleridir. Her iki sınıf içinde bu parametreler kuvvetli bir korelasyon değeri vermiştir. Bu sonuçlar toplanan partikül örneklerinin miktarı ile orantılı kurşun muhtevası olduğunu göstermektedir. Kurşun örneklerinin mevsimsel bir bağımlılığın olmadığı ve dönemsel davranış göstermediği belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Burada bulunan sonuçlar daha önceki bulguları doğrulamıştır. Bölgede düzenli ve önemli miktarda kurşun emisyonu yapan kaynaklar bulunmaktadır.

Enverziyon: Bu kısımda ise Göztepe meteoroloji istasyonundan temin edilen enverziyon bilgileri ile metal konsantrasyonlarının epizot değerleri arasında bir ilişki olup olmadığı incelenecektir. İstanbul ilinde radyosonde ölçümleri sadece bu istasyonda yapılmaktadır. Beylikdüzü-Büyükçekmece arasında (Örnekleme bölgesi) çok kısa bir mesafede önemli bir irtifa azalması olmakta bu da havza bölgesinin özel bir coğrafi yapı göstermesine neden olmaktadır ve bu yapı itibari ile enverziyona kolaylıkla maruz kalabilen bir konumdadır. Göztepe istasyonu örnekleme bölgesinden uzakta olmasına rağmen (yaklaşık 50 km) sonuçların açıklayıcı nitelikte olduğu kabul edilebilir.

Özellikle yerel kaynaklardan yayılan emisyon değerleri enverziyon gözlenen günlerde atmosferde yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşabilmektedir. Tayini yapılan elementlerin konsantrasyonlarında belirli bir dönemin etkisine maruz kalmaksızın yüksek değerler gözlenmesi bu tip bir meteorolojik etkiyle açıklanabilir. Kadmiyum, kurşun, nikel, krom ve çinko elementlerinin dönemsel davranışları fazla belirgin değildir. Dolayısıyla bu elementlerin epizot değerlerini enverziyon değerleri ile mukayese edilerek bir değerlendirme yapmak doğru olacaktır. Dönemsel davranış gösteren elementlerde ise enverziyon etkisinin yanında diğer etkilerinde, rüzgâr yönü ve hızı, uzun taşınım, mevsimsel etkiler vs. dikkate alınması gerekir.

Yapılan değerlendirmelerin sonucunda özellikle epizot değerler (toplam 62 epizot değer, mesela; 6/10/2002, 9/3/2002, 28/6/2003 tarihlerindeki kadmiyum değerleri) incelenerek enverziyonla ilgileri tespit edilmiştir. Bu epizot değerlerden kadmiyum için 9 örnekten 7 tanesinin, kurşun için 10 örnekten 7 tanesinin, krom için 18 örnekten 11 tanesinin, nikel için 13 örnekten 9 tanesinin ve çinko içinse 12 epizodun 9 tanesinin enverziyon durumuyla ilgili olduğu belirlenmiştir.

Yüksek ve düşük konsantrasyonlar gözlenen birer gün için örnek bir değerlendirme mukayeseli olarak Şekil 3.19’de gösterilmiştir. Şekil 3.19’deki 1A ve 1B grafikleri 13/5/2003 tarihli epizot değerler gözlenen bir güne ve 2A ve 2B grafikleri ise düşük seviye değerler gözlenen bir güne (11/9/2002) ait 00:00 ve 12:00 radyosonde ölçümleridir. Grafiklerde soldaki çizgiler yükseklik boyunca çiğ noktası sağdaki çizgiler ise sıcaklık değişimlerini ifade etmektedir. İlk örnekte (1A ve 1B) çok rahat bir şekilde düşük seviyeli bir enverziyon etkisi olduğu gözlenebilmektedir, diğerinde ise herhangi bir enverziyon etkisi mevcut değildir.



Şekil 3.19. Yüksekliğe (mb) bağlı sıcaklık (°C)değişim değerleri. 1A ve 1B: 13/5/2003 tarihli epizot değer, 2A ve 2B: 11/9/2002 tarihli düşük seviye değer, 00:00 ve 12:00 radyosonda ölçümleri (Göztepe meteoroloji istasyonu).

Netice itibariyle, yerel kaynaklardan yayılan metaller (krom, nikel, kadmiyum, kurşun ve

çinko) enverziyon değişimleri ile yüksek ilgileşim göstermekte, diğer elementler ise önemli bir seviyede ilgileşim göstermemektedir.

Rüzgâr yönleri: Rüzgâr yönleri yazılı değerler olduğu için direkt olarak istatistik analizlere alınması yanlış sonuçlar vermektedir. Bu nedenle bir önceki değerlendirme gurubunda rüzgâr yönleri incelenmemiştir. Bu tip verilerde bölgesel analiz yapıldığında doğru sonuçlar elde edilebilir. Rüzgâr yönlerinin partikül kütle miktarları ile olan ilişkileri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Hesaplamalar 16 yön dikkate alınarak yapılmıştır.

Çizelge 3.6. Partikül madde kütle ortalama değişimi ve rüzgâr yönleri

Yönler	Tekerrür sayısı	Ortalama PM _{2,5}	Ortalama PM _{2,5-10}	Ortalama PM ₁₀
N	10	12,29	16,04	28,33
NNE	12	21,53	26,39	47,92
NE	12	21,14	24,21	45,36
ENE	11	25,00	28,41	53,41
E	6	20,83	38,16	59,03
ESE	1	2,08	4,17	6,25
SE	5	27,08	29,72	56,81
SSE	1	8,33	4,17	12,50
S	4	14,58	9,90	24,48
SSW	3	31,94	18,06	50,00
SW	7	11,90	16,07	27,98
WSW	3	20,83	23,61	44,44
W	8	13,02	16,67	29,69
WNW	6	22,40	23,10	45,50
NW	3	20,83	31,94	52,78
NNW	5	15,83	57,50	73,33
Toplam	97	18,1	23,01	41,11

Sektörlere ayırmak sureti ile elde edilen bulgulara göre, bazı sektörler üzerinden bölgeye ulaşan şiddetli rüzgârların atmosferik partikül kütle miktarları ile ilgili oldukları belirlenmiştir. Buna göre, en önemli sektörler kuzey ve doğu yönleri arasında kalan sektör ve güney batı-kuzey batı yönleri arasında kalan sektörlerdir. Kuzey doğu bölgesi kentsel, trafik ve endüstriyel aktivitelerin yoğun olduğu (Hadımköy) ve İstanbul şehirleşmesinin bulunduğu bölgedir. Örnekleme bölgesinin ve Büyükçekmece havzasının bu bölgeden etkilendiği net bir şekilde belirlenmiştir. Diğer taraftan Karadeniz ve Avrupa üzerinden kirleticilerin uzun taşınma ile bu bölgeye atmosferik partikülleri getirdiği ve kütle miktarlarına katkıda bulunduğu söylenebilir. İkinci etkili bölgede ise çok önemli bir noktasal kaynak olarak

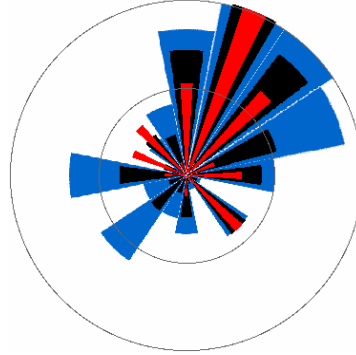
sayılması gereken bir çimento fabrikası mevcuttur. Örnekleme bölgesi çimento fabrikasının bulunduğu sektörün üzerinden bölgeye atmosferik tozları taşımaktadır. Bu bölge aynı zamanda yerleşim ve trafik faaliyetlerinin de bulunduğu bir bölgedir. Fakat bu bölge Afrika ve Akdeniz üzerinden örnekleme bölgesine ulaşan hava akımlarının (ilkbahar ve yaz ayları) güzergâhında bulunduğu için epizotların temel kaynakları partiküllerin kimyasal yapısı incelenerek netleştirilmiştir.

Tabloda ortalama değerden yüksek olan değerler koyu olarak belirlenmiştir. İnceleme sonuçlarına göre yüksek konsantrasyonlu partiküller genellikle Kuzey-Doğu, Kuzey-Batı ve Güney-Batı bölgelerinden taşınmaktadır. En etkili bölge ise yoğun bir kentleşme ve endüstriyel faaliyetlerin yanı sıra TEM otoyolunun da geçtiği Kuzey-Doğu bölgesidir. Bulgular önceki bulgularla paralel sonuçları içermektedir.

Rüzgârgülü: Rüzgar gülü, belirli kesimlerdeki rüzgârın esme sıklığını, aynı zamanda her bir kesimin ortalama rüzgâr hızına katkısının ne kadar olduğunu gösterir. Bir rüzgârgülü farklı kesimlerdeki oransal rüzgâr hızları bilgisini verir ve bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. Yakın yerlerde ise, özellikle baskın yön açısından rüzgârgülleri birbirine yakınlık gösterir. Bu durumlarda pratikte enterpolasyon veya korelasyon güvenle yapılabilir. Eğer dağ ve vadilerden oluşan karmaşık bir arazi var ise, bu yerler ile kıyı bölgeleri arasında önemli yön değişiklikleri olabilir. Bu durumlarda tahminler yapmak genellikle güvenilir değildir. Bunun yanında, rüzgârın şekli ve enerji içeriği yıldan yıla yaklaşık %10 değişir. Bu nedenle birkaç yıllık gözlemler sağlıklı yaklaşımlar için iyi sonuçlar verir. Bu ölçümlerle, yakın ve uzun dönemli meteorolojik gözlemlerden yararlanarak uzun dönemli güvenilir veri elde edilebilir. Hava kirliliği modellemesi çalışmalarında ve hava kirliliğinin meteoroloji ile olan ilişkilerinin anlaşılabilmesi açısından rüzgâr yönü ve şiddeti önemli bir bilgidir. Bölgedeki hakim rüzgâr yönünün tayini açısından, en yakındaki istasyon olan Florya meteoroloji istasyonundan elde edilen verileri kullanarak rüzgârgülü haritası aşağıdaki şekilde çizilmiştir. Rüzgârgülünün çizilmesinde Java tabanlı, web üzerinden uygulanabilen Rüzgârgülü hesaplama programı kullanılmıştır. Detaylı bilgi için <http://www.windpower.org/en/tour/wres/roseplot.htm> adresi ziyaret edilebilir.

Aşağıda verilen rüzgârgülünde en dıştaki kısımlar rüzgâr frekans dağılımını, orta kısımlardaki kamalar rüzgâr hızları ile ilgili bilgiyi içerir ve rüzgârın üretim dağılımını vermektedir, en içteki bölgeler ise rüzgâr hızlarının küplerinin frekansları ile çarpılması yoluyla elde edilmektedir ve rüzgârın enerjisini ifade eder. Bu rüzgârgülüne göre bölgedeki hakim rüzgâr yönü ağırlıklı olarak kuzey-doğu yönündedir, fakat bölge güney batı yönünden de yüksek

frekans ve şiddete rüzgâra maruz kalmıştır. Hakim rüzgârların rüzgâr enerjileri incelendiğinde ise kuzey doğu yönündeki rüzgârlar enerjisi yüksek olduğu için etkilidir ve partikül maddelerin bölgeye bu hakim rüzgârlar yoluyla taşınabilmesi olasıdır.



Şekil 3.20. Bölgenin ölçüm zaman aralığındaki rüzgârgülü

Yağış: Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5 incelendiğinde yağış verisinin Al, Na, türü elementler ile pozitif korelasyon gösterdikleri belirlenmiştir. İstanbul ilinin karakteristik yapısı gözlemlendiğinde yağış ve nem arasında doğru orantı, yağış ve sıcaklık arasında da ters orantı mevcuttur. Fakat elde edilen sonuçlarda bu durumun tam tersi bir yapı gözlenmektedir. Bunun en önemli nedeni yağış olayının bir yıl boyunca düzenli olarak gözlenmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu kısımda 95 örnekten kaç tanesinin yağışlı günlerde toplandığı belirlenecek ve yağışsız günlerde toplanan örneklerle mukayese edilecektir. $PM_{2.5}$ partiküllerinde yağışlı günlerdeki ortalama konsantrasyon ($21,5 \mu g/m^3$) yağışsız günlerdeki ortalama değerden ($19,6 \mu g/m^3$) daha yüksek bulunmuştur. Fakat değerler birbirine oldukça yakındır. Bu sonuç $PM_{2.5}$ sınıfı partiküllerin yağış olayından fazla etkilenmediğini göstermektedir. $PM_{2.5-10}$ partiküllerde ise bu durum tamamıyla ters biçimde gerçekleşmiştir. Yağışlı günlerin $PM_{2.5-10}$ ortalaması $19,8 \mu g/m^3$ ve yağışsız günlerin ortalaması ise $29,7 \mu g/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak örnekleme bölgesi için, yağış parametresinin $PM_{2.5}$ partikül oluşumunda etkili bir mekanizma olmadığı fakat $PM_{2.5-10}$ partikül oluşumunda etkili bir mekanizma olduğu belirlenmiştir.

3.5 Atmosferik Metallerin Partikül Kütlelerine Olan Katkıları

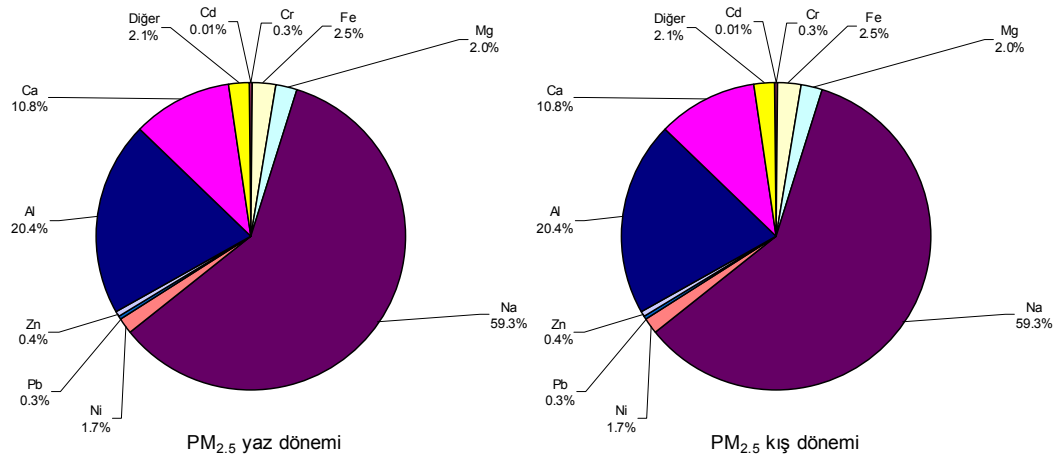
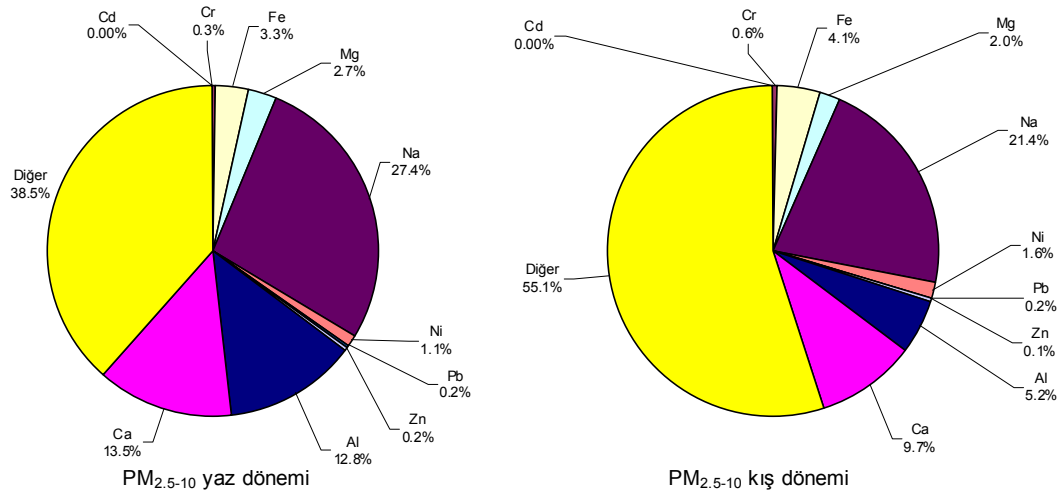
Çalışmanın bu bölümünde ölçülen atmosferik metallerin, partikül madde muhtevastaki yüzdesel ağırlıkları (bilânçoları) incelenecektir. Ölçülen örneklerin mevsimsel (yaz ve kış) ortalama değerleri hesaplanarak tüm konsantrasyonlar $\mu g/m^3$ olarak belirlenmiş ve toplam

partikül kütle miktarlarına olan oranları yüzdelik dilimleriyle ifade edilmiştir. Bu şekilde toplam kütle içerisinde atmosferik metallerin ne oranda yer işgal ettikleri net bir şekilde belirlenebilir. Bu amaca yönelik olarak $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ değerleri için Şekil 3.21 ve Şekil 3.22 dilim grafikleri hazırlanmıştır.

Ölçülen her bir elementin epizot değerleri ve dönemsel davranışlarına ilave olarak toplam atmosferik partikül oluşumuna etkileri de incelenmelidir. Böylelikle hem mevsimsel hem de boyutsal partikül oluşumunu etkileyen mekanizmalar net olarak belirlenebilir. Şekil 3.21 ve Şekil 3.22 incelendiğinde her bir parçacık boyutuna düşen yüzdesel dilimler çok rahat izlenebilmektedir.

Özellikle yaz dönemlerinde sodyum partikülleri atmosferik partiküllerin önemli bir yüzdesini oluşturmaktadır. Kış aylarındaki dağılım yüzdeleri her boyut dağılımı için birbirlerine oldukça benzer bir karakteristik göstermektedir. Baskın olan kütle değeri ölçümü yapılmayan element gruplarından ve partiküllerden oluşmaktadır. Tayini yapılmamış bölüntüde ikincil olarak atmosferde oluşan ve özellikle kış aylarında yüksek konsantrasyon değerlerinin gözleendiği nitrat ve sülfat türevlerinden teşekkül etmiş partiküller olabilir. İkinci bir muhtemel grup ise yanma ve yetersiz yanma sonucu atmosfere yayılan karbon bileşikleridir. Zira kış aylarında ısınma amaçlı bol miktarda karbon içerikli emisyon atmosfere yayılmakta ve kış aylarında gözlenen parçacık bilançosuna önemli sayılabilecek yüzdelere katkıda bulunabilmektedir.

$PM_{2.5}$ yaz ve kış değerleri birbirlerine göre bariz bilanço değişimleri göstermesine rağmen, $PM_{2.5-10}$ partiküllerinin mevsimsel olarak önemli bir değişim göstermedikleri Şekil 3.22'den rahatlıkla görülebilir. Bunun en temel nedeni $PM_{2.5-10}$ partiküllerin endüstriyel ve trafik gibi aktivitelerden ziyade yıl boyunca sabit ve düzenli doğal kaynaklardan alıcı ortama ulaşıyor olmasından kaynaklanmaktadır. $PM_{2.5-10}$ partiküllerde hem yaz hem de kış döneminde kütlenin önemli (yaklaşık %50) bir bölümü tayini yapılamamış elementlerden oluşturmaktadır. Bu bölüntünün önemli miktarının Si, Mn, C vs. türü temel doğal yollarla atmosfere yayılan elementlerden oluşacağı tahmin edilebilir.

Şekil 3.21. PM_{2.5} yaz ve kış dönemi kütle bilânçolarıŞekil 3.22. PM_{2.5-10} yaz ve kış dönemi kütle bilânçoları

3.6 Kuru Çökeltme Yoluyla Büyükçekmece Gölüne Taşınan Metallerin Bilânçosu

Kuru çökeltme hızları kullanılarak yüzey alanı bilinen bir bölgeye kuru çökeltme yolu ile depolanabilecek metallerin kütle bilânçolarını aşağıdaki formül ile veya akış (flux) hızları kullanılarak hesaplamak mümkündür.

$$\text{Kütle Miktarı} = \text{Çökeltme hızı} \times \text{Depolanma yüzey alanı} \times \text{Yıllık ort. konsantrasyon} \quad (3.2)$$

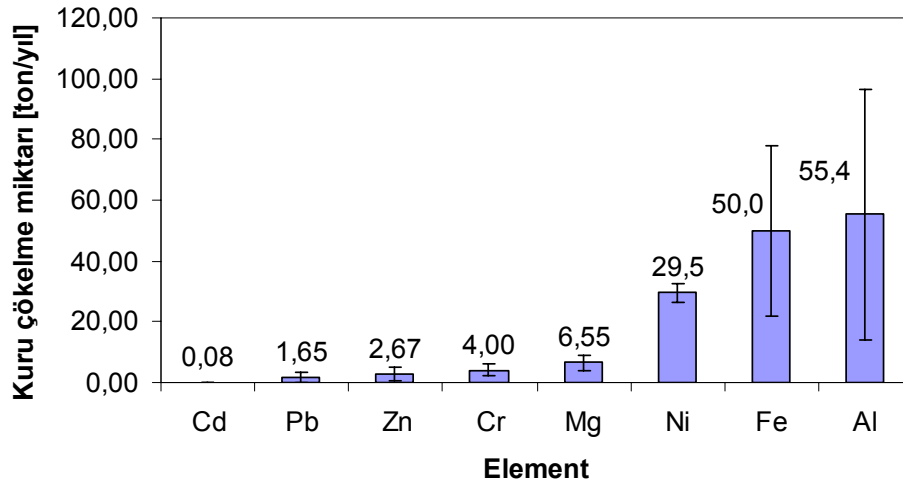
Bu çalışmada kuru çökeltme örnekleri toplanmadığı için literatürde yapılmış benzer

çalışmalarda bulunan kuru çökeltme hızları kullanılarak sonuçlar hasaplanmıştır. Örnek olarak; Pacyna ve arkadaşlarının (1989) kırsal bir bölgede yaptıkları çalışmada atmosferik çinkonun kuru çökeltme hızı 0,5 cm/s olarak hesaplanmıştır. Bu ve benzeri çalışmalarda bulunan değerler bir yıl boyunca Büyükçekmece Gölüne hava ortamından kuru çökeltme yoluyla depolanan çinko miktarlarının tahmin edilmesinde referans olarak kullanılabilir. Benzer şekilde literatürdeki kırsal bölgelerde yapılan diğer çalışmalar incelenmiş ve çalışmalara ait veriler kullanılarak ölçülen metaller için minimum ve maksimum çökeltme miktarları hesaplanmıştır (Qi, ve arkdş., 2005; Michou, ve arkdş., 2005; Nho-Kim, ve arkdş., 2004; Fang, ve arkdş., 2004; Odabasi, ve arkdş., 2002; Yun, ve arkdş., 2002; Yi, ve arkdş., 2001).

Çizelge 3.7’da gösterilen değerler maksimum ve minimum değerler olarak ifade edilmişlerdir. Bu maksimum ve minimum değerlerin ortalamaları hesaplanarak Şekil 3.23’de gösterilmiştir. Mesela, Büyükçekmece Gölünün yüzey alanı yaklaşık 27 km² olarak alındığında bir yıl boyunca depolanan çinko miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$= 0.5 \text{ [cm/sn]} \times 27 \text{ [km}^2\text{]} \times 0.126 \text{ [}\mu\text{g/m}^3\text{]}$$

$$= 0,536 \text{ ton/yıl}$$



Şekil 3.23. Kuru çökeltme ortalama değerleri

Doğal işlemler sayesinde bu metaller su ortamında ancak belirli oranlarda birikim gösterebilirler, önemli bir kısmı sedimantasyon yoluyla göl dip çamurlarına, bir kısmı tekrar yükselme yoluyla atmosfere ve bir kısmı da biyolojik ve kimyasal faaliyetler sonucunda başka

ortamlara taşınacaktır (Karaca ve arkadaş., 2004; Bertine ve Goldberg, 1971). Atmosferik konsantrasyonlarına ve çökme hızlarına bağlı olarak en çok depolanan element Fe ve Al gibi temel karasal elementler ve en az miktarlarda depolanan elementler ise zehirli ağır metaller olan Cd, Pb ve Cr gibi nadir toprak elementleridir. Tabii ki bu noktada önem arz eden metaller su ortamı ve çevre sağlığı açısından tehlikeli ve zehirli olan Cd, Pb gibi elementlerdir. Burada beklenmedik sonuç veren element nikel elementidir. Literatürdeki yüksek çökme hızları nedeni ile depolanan nikel miktarı çok yüksek bulunmuştur. Bu değerin doğrulanabilmesi için bölge için kuru çökme örnekleri toplanarak kuru çökme hızları hesaplanmalıdır.

Çizelge 3.7. Kuru çökme miktarları

Metal	Yıllık ortalama PM10 konsantrasyonu [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Çökme hızı [cm/sn]	Ortalama akış hızı [$\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ gün}$]	Çökme akışları ve hızları için referans alınan çalışma	Göl alanında çökme miktarı [minimum - maksimum] [ton/yıl]
Zn	0,126	0,50		Pacyna ve arkadaş. (1989)	0,54-4,80
			120	Yi ve arkadaş. (2001)	
			51	Yi ve arkadaş. (2001)	
		4,50	1910	Odabaşı ve arkadaş. (2002)	
		1,06		Fang ve arkadaş. (2004)	
			185	Yun ve arkadaş. (2002)	
Cr	0,200	1,20	5,7	Yun ve arkadaş. (2002)	2,10-5,90
			16,0	Odabaşı ve arkadaş. (2002)	
Cd	0,003	3,60	24	Odabaşı ve arkadaş. (2002)	0,05-0,10
Pb	0,129		104	Yun ve arkadaş. (2002)	0,20-3,10
		0,18		Fang ve arkadaş. (2004)	
			23	Yi ve arkadaş. (2001)	
		2,80	220	Odabaşı ve arkadaş. (2002)	
			34	Yi ve arkadaş. (2001)	
Fe	1,500	6,10	1209	Odabaşı ve arkadaş. (2002)	22,0-78,0
		1,71		Fang ve arkadaş. (2004)	
Na		-	-	-	-
Ni	0,708	4,90	129	Odabaşı ve arkadaş. (2002)	29,5
Mg	1,040	1,00	2270	Yi ve arkadaş. (2001)	4,20-8,90
		0,47		Fang ve arkadaş. (2004)	
			3100	Odabaşı ve arkadaş. (2002)	
			520	Yi ve arkadaş. (2001)	
Al	5,864	0,30	2350	Odabaşı ve arkadaş. (2002)	14,0-96,7
			340	Yi ve arkadaş. (2001)	
			1040	Yi ve arkadaş. (2001)	

3.7 İstatistiksel Analizler

3.7.1 Genel İstatistikler

Genel istatistik testleri kullanılarak veri setinin karakteri veri setindeki elemanların dağılımları vb. özellikler belirlenecek ve değerlendirilecektir. İstatistik analizlerde Widows işletim sistemleri için SPSS 11.5.1 (2002) standart sürüm, istatistik paket programı kullanılmıştır. $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ veri setleri için tanımlayıcı istatistik değerler olan ortalama, geometrik ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık değerleri her bir metal için hesaplanmıştır (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9).

Çarpıklık, bir dağılımın ortalaması etrafındaki asimetri derecesini belirtir. Pozitif çarpıklık, veri setinin asimetric ucu daha yüksek pozitif değerlere doğru genişleyen bir çarpıklığı belirtir. Negatif çarpıklık, asimetric ucu daha düşük negatif değerlere doğru genişleyen bir dağılımı belirtir. Çarpıklık değerinin ± 2 değerinden daha fazla olması durumunda veri dağılımının normal dağılımla izah edilemeyeceği anlamına gelmektedir. Basıklık, normal dağılımla karşılaştırıldığında, bir dağılımın göreceli dikliğini yada düzlüğünü verir. Pozitif basıklık, görece dik bir dağılımı belirtir. Negatif basıklık görece düz bir dağılımı belirtir.

Bulgular incelendiğinde çarpıklık değerlerinin genellikle ± 2 değerinden fazla olduğu görülmektedir, bu durumda veri setleri için normal dağılım kabulü yapmak doğru olmayacaktır. Her bir veri seti için dağılım testleri yapılması ve en iyi dağılımların bulunması doğru bir yaklaşım olacaktır. Çok genel ifade ile metal dağılımların genel olarak Lognormal dağılıma uydukları kabul edilebilir. Bir veri setinin Lognormal dağılıma uyması durumunda ortalama değerler belirlenirken geometrik ortalama değerlerin kullanılması istatistikî açıdan daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

$PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ veri setinin korelasyon (ilgileşim) tabloları çıkartılmıştır (Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11). Yıl boyunca $PM_{2.5}$ partiküllerde %99 güven aralığında ilgileşim gösteren gruplar şunlardır:

- Partikül miktarı-Kurşun,
- Demir-Kadmiyum-Kurşun-Alüminyum,
- Krom-Nikel,
- Magnezyum-Sodyum-Alüminyum-Kalsiyum,

$PM_{2.5-10}$ partiküllerde %99 güven aralığında ilgileşim gösteren gruplar ise:

- Partikül miktarı-Kurşun-Sodyum-Alüminyum-Kalsiyum,
- Demir-Magnezyum-Alüminyum-Kalsiyum,
- Sodyum- Alüminyum-Kalsiyum ve Kurşun,

olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.8. PM_{2.5} metal konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistik tablosu

Konsantrasyon (ng/m ³)	PM _{2.5}						
	Ortalama	Geometrik Ortalama	Standart Sapma	Maksimum	Minimum	Çarpılık	Basıklık
Cd	2.28	1.34	2.40	15.80	0.03	2.90	12.35
Cr	99	68	153	1410	6	7.09	58.57
Fe	555	445	463	3798	72	4.11	25.52
Mg	403	264	449	2112	48	2.09	3.81
Na	10555	7500	1215	52500	227	2.09	3.84
Ni	381	290	330	2336	16	3.04	13.66
Pb	78	62	53	256	16	1.17	0.91
Zn	96	38	187	1446	1	5.52	36.39
Al	3156	1205	5058	25434	10.42	2.44	5.76
Ca	2148	1654	2059	14080	444.88	3.53	15.94

Çizelge 3.9. PM_{2.5-10} metal konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistik tablosu

Konsantrasyon (ng/m ³)	PM _{2.5-10}						
	Ortalama	Geometrik Ortalama	Standart Sapma	Maksimum	Minimum	Çarpılık	Basıklık
Cd	0.68	0.33	1.30	9.88	0.00	5.55	35.84
Cr	101	69	140	1142	11	5.24	34.22
Fe	967	761	988	8151	146	5.03	32.28
Mg	657	442	992	7188	76	5.01	28.09
Na	6791	6339	3040	16181	1775	0.77	0.33
Ni	334	269	256	1725	58	2.61	9.69
Pb	58	50	36	286	15	3.11	16.64
Zn	56	18	89	491	0	2.93	9.32
Al	2708	1990	2129	9635	0.00	1.00	0.60
Ca	3251	2920	3080	15797	635.42	2.55	6.94

Çizelge 3.10. PM_{2,5} metal konsantrasyonların korelasyon (R) tablosu

	Kütle	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
Kütle	1,00										
Cd	0,20*	1,00									
Cr	-0,08	0,07	1,00								
Fe	0,10	0,12	0,35**	1,00							
Mg	0,00	0,00	-0,07	0,10	1,00						
Na	0,02	0,10	-0,05	0,26**	0,42**	1,00					
Ni	0,18	0,05	0,25**	0,34**	-0,06	0,22*	1,00				
Pb	0,29**	0,26**	-0,03	0,19*	0,16*	0,30**	0,26**	1,00			
Zn	0,12	0,06	0,01	0,70**	0,00	-0,04	-0,03	0,07	1,00		
Al	0,00	0,10	-0,07	0,30**	0,37**	0,84**	0,22	0,32**	0,01	1,00	
Ca	-0,07	0,09	-0,06	0,21*	0,60**	0,65**	0,00	0,12	0,05	0,59**	1,00

* bu değerler %95 güven aralığında ilişkilidir

** bu değerler %99 güven aralığında ilişkilidir

Çizelge 3.11. PM_{2,5-10} metal konsantrasyonların korelasyon (R) tablosu

	Kütle	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
Kütle	1,00										
Cd	0,02	1,00									
Cr	-0,05	-0,01	1,00								
Fe	0,18*	0,02	-0,02	1,00							
Mg	0,09	-0,05	0,06	0,33	1,00						
Na	0,28**	0,07	0,03	0,20	0,20*	1,00					
Ni	-0,11	0,13	0,14	0,14	-0,03	0,09	1,00				
Pb	0,35**	0,04	-0,07	0,25**	0,23*	0,57**	-0,01	1,00			
Zn	0,10	-0,01	-0,08	0,16*	0,38**	0,23*	0,05	0,33**	1,00		
Al	0,25**	-0,01	0,01	0,20*	0,39**	0,73**	0,05	0,46**	0,33**	1,00	
Ca	0,35**	0,01	-0,03	0,33**	0,72**	0,41**	0,00	0,55**	0,36**	0,53**	1,00

* bu değerler %95 güven aralığında ilişkilidir

** bu değerler %99 güven aralığında ilişkilidir

Ki-kare ve Kolmogorov Smirnov (KS) uygunluk testleri verilerinin frekans dağılım fonksiyonlarının geçerliliğinin test edilmesinde kullanılan metotlardan en yaygın olanlarıdır. Çizelge 3.12’de her bir fonksiyona ait parametreler, Ki-kare ve Kolmogorov Smirnov test sonuçları hesaplanmıştır. PM_{2,5} verisi için Log-lojistik, Pearson5, Log normal ve Ters Gauss fonksiyonlarına ait Ki-kare değerleri; 1.48 ve KS değerleri de sırasıyla; 0.096, 0.101, 0.104 ve 0.105 olarak hesaplanmıştır. PM₁₀ verisi için Log-lojistik, Pearson5, Log normal ve Ters Gauss fonksiyonlarına ait Ki-kare değerleri sırasıyla; 0.478, 1.26, 1.26, 1.39 ve KS değerleri;

0.057, 0.067, 0.069 ve 0.073 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak $PM_{2.5}$ ve PM_{10} verisini en iyi şekilde ifade eden dağılım kullanılan veri için Log-Lojistik dağılım olarak belirlenmiştir. Pearson 5, Log-normal ve Ters Gauss dağılım fonksiyonları ile yapılan hesaplamalar neredeyse bir birine çok yakın sonuçlar vermişlerdir. Böylece, bu fonksiyonların daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi bu veri grubunun modellenmesinde kullanılabileceğini gösterir (Seinfeld ve Pandis, 1998). Log-lojistik dağılım için hesaplanan parametre değerlerine göre her iki veri içinde fonksiyonları aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$f(PM_{2.5}) = \frac{3,55 \left(\frac{PM_{2.5} + 5,37}{23,60} \right)^{2,55}}{23,60 \left[1 + \left(\frac{PM_{2.5} + 5,37}{23,60} \right)^{3,55} \right]^2} \quad (3.3)$$

ve

$$f(PM_{10}) = \frac{3,18 \left(\frac{PM_{10} + 11,72}{49,52} \right)^{2,18-1}}{49,52 \left[1 + \left(\frac{PM_{10} + 11,72}{49,52} \right)^{3,18} \right]^2} \quad (3.4)$$

Hesaplanmış olan bu eşitlikler kullanılarak PM_{10} ve $PM_{2.5}$ verilerinin bir yıllık periyot için (365 gün) dağılımları tahmin edilebilir. Çizelge 3.13’de iki parametre için tahmin edilmiş olan bir yıllık verinin yüzdelik dilimleri verilmiştir. Bu dağılım kullanılarak PM_{10} verisi için bir yıllık verinin %3’ü (yaklaşık 11 gün) 24-saatlik sınır değerlerin ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) üzerinde olması beklenmektedir. Benzer şekilde yapılan hesaplamalarla $PM_{2.5}$ verisi için bir yıllık verinin %2,5’inin (9 gün) EPA hava kalite standardı olan $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerinden daha büyük olması beklenir. Yönetmeliklerde sınır değerlerin en yüksek %3’lük kısım baz alınarak belirlendiği bilinmektedir. Buna göre bölgede gözlenen atmosferik partiküllerin sınır değerlere uygun olduğu söylenebilir.

$PM_{2.5}$ partiküllerin metal konsantrasyonları için birçok dağılım modeli test edilmiş ve Komogorov Simirnov testi kullanılarak en iyi tanımlayıcı dağılımlar tayin edilmiştir (Çizelge 3.14). Cr, Mg, Na, Ni, Pb, Al ve Ca elementlerinin bir yıllık verilerin dağılım eğrileri Lognormal dağılım ve sırasıyla Cd, Fe, Zn elementleri için ise Chi-square, Gamma, Weibull olarak bulunmuştur. Çizelge 3.14’den de rahatlıkla görülebileceği üzere belirlenen dağılımlar oldukça başarılı ve tanımlayıcıdır. Bazı elementlerde sadece epizot değerler dağılım eğrileri ile çok iyi tanımlanamamakta bu da dağılım eğrilerinin tanımlayıcı özelliklerini azaltmaktadır. Veri seti genel olarak düşünüldüğünde elde edilen sonuçlar son derece başarılıdır.

Benzer şekilde $PM_{2.5-10}$ partiküllerde ölçülen metal konsantrasyonlarının dağılım eğrileri de belirlenmiştir. Zn, Pb, Ni, Mg, Ca, Cr elementleri için $PM_{2.5}$ partiküllerdeki dağılım fonksiyonları ile uyumlu olarak benzer sonuçlar bulunmuştur. $PM_{2.5-10}$ partiküllerdeki metal konsantrasyonları genel olarak Lognormal dağılım göstermektedirler. Bu durum sadece sodyum ve çinko değerleri için farklılık göstermiştir. Sodyum Erlang dağılımıyla, çinko ve alüminyum ise Weibull dağılımıyla daha iyi bir şekilde tanımlanmıştır. Çizelge 3.15’den de rahatlıkla görülebileceği üzere belirlenen dağılımlar oldukça başarılı ve tanımlayıcıdır. Bulduğumuz sonuçlara göre verilerin birçoğu Lognormal dağılım ile oldukça başarılı bir şekilde tanımlanabilmektedir. Diğer elementler, mesela çinko, Weibull ile daha iyi ifade edilmesine rağmen Lognormal dağılımla da başarı ile tanımlanabilmektedir.

Çizelge 3.12. Uygunluk test sonuçları*

Fonksiyon	Ki-Kare	KS	Ki-Kare	KS
	$PM_{2.5}$		PM_{10}	
Log-Lojistik	1,48	0,096	0,478	0,057
Pearson 5	1,48	0,101	1,26	0,067
Log-normal	1,48	0,104	1,26	0,069
Ters Gauss	1,48	0,105	1,39	0,073
Gamma	3,14	0,110	2,96	0,082
Weibull	3,14	0,113	1,39	0,083
Beta	3,14	0,116	1,39	0,083
Erlang	8,66	0,118	1,39	0,095
*Tahmin metodu; Maksimum olasılık tahmini, yanılğı düzeyi; 0.05, hassas ayarlama; 0,0003				

Çizelge 3.13. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} için tahmin edilmiş bir yıllık yüzdelik dilimleri

	$PM_{2.5}$	PM_{10}
Yüzdelik dilimler	Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Konsantrasyon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
10	7,50	13
20	10	19
30	13	26
40	16	33
50	19	39
60	23	48
70	26	56
80	32	70
90	42	96
97	60	143
97,5	64,60	153,9
98	66,25	162

Çizelge 3.14. PM_{2.5} dağılım fonksiyonları [D değeri] test sonuçları

	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
Cauchy	0,187	0,177	0,168	0,186	0,169	0,163	0,246	0,224	0,235	0,185
Chi-square	0,062	0,523	0,548	0,699	0,705	0,571	0,463	0,623	0,775	0,641
Erlang	0,063	0,159	0,086	0,195	0,146	0,084	0,075	0,157	0,263	0,129
Exponential	0,063	0,159	0,228	0,195	0,146	0,209	0,192	0,147	0,263	0,225
Extreme value	0,232	0,331	0,222	0,365	0,331	0,243	0,232	0,346	0,370	0,292
Gamma	0,063	0,124	0,071	0,236	0,157	0,083	0,097	0,108	0,182	0,133
Laplace	0,184	0,172	0,126	0,277	0,246	0,164	0,172	0,246	0,345	0,206
Logistik	0,150	0,149	0,111	0,226	0,195	0,136	0,131	0,247	0,283	0,165
Lognormal	0,106	0,091	0,080	0,173	0,111	0,070	0,068	0,087	0,100	0,095
Normal	0,175	0,272	0,168	0,300	0,262	0,174	0,166	0,305	0,300	0,225
Pareto	-	0,440	0,529	0,511	0,511	0,516	0,490	-	0,477	0,561
Student T-test	0,525	0,988	1,000	1,000	1,000	0,998	0,998	0,906	0,995	1,000
Triangular	0,456	0,714	0,495	0,481	0,403	0,433	0,204	0,677	0,568	0,509
Uniform	0,628	0,814	0,668	0,582	0,536	0,607	0,395	0,769	0,676	0,647
Weibull	0,064	0,137	0,096	0,217	0,144	0,189	0,108	0,080	0,140	0,133

Çizelge 3.15. PM_{2.5-10} dağılım fonksiyonları [D değeri] test sonuçları

	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
Cauchy	0,175	0,172	0,165	0,193	0,174	0,144	0,177	0,241	0,169	0,111
Chi-square	0,279	0,540	0,623	0,706	0,537	0,550	0,386	0,625	0,437	0,243
Erlang	0,167	0,162	0,130	0,181	0,046	0,090	0,127	0,165	0,116	0,080
Exponential	0,167	0,162	0,213	0,181	0,320	0,220	0,303	0,165	0,116	0,191
Extreme value	0,379	0,368	0,306	0,393	0,161	0,235	0,246	0,348	0,244	0,155
Gamma	0,156	0,181	0,128	0,188	0,047	0,086	0,118	0,111	0,078	0,074
Laplace	0,253	0,177	0,156	0,207	0,097	0,133	0,148	0,287	0,201	0,093
Logistik	0,232	0,183	0,147	0,206	0,071	0,119	0,121	0,261	0,183	0,076
Lognormal	0,081	0,107	0,078	0,105	0,051	0,054	0,087	0,138	0,097	0,062
Normal	0,310	0,304	0,247	0,325	0,091	0,169	0,177	0,277	0,194	0,111
Pareto	-	0,471	0,553	0,527	0,576	0,524	0,513	-	-	0,323
Student T-test	0,502	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,787	0,551	0,629
Triangular	0,693	0,685	0,604	0,685	0,116	0,424	0,400	0,561	0,393	0,252
Uniform	0,777	0,781	0,730	0,773	0,291	0,617	0,605	0,693	0,485	0,381
Weibull	0,130	0,175	0,151	0,185	0,064	0,109	0,124	0,078	0,054	0,078

3.7.2 Kaynağa Yönelik İstatistikler

3.7.2.1 Zenginleşme Faktörleri

Zenginleşme faktörü (EF) belirli bir bölgede örneklenen aerosollerde ölçülen elementlerin

doğal olmayan kaynaklardan yayılıp yayılmadığının test edilmesinde kullanılan oldukça faydalı ve etkili bir çeşit çift normalizasyon tekniğidir. İki ayrı yolla hesaplanabilir;

Karasal Zenginleşme Faktörü (EF_c): Bir element için karasal zenginleşme faktörü (EF_c) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$EF_c = \frac{(C_x/C_{Al})_{\text{örnek}}}{(C_x/C_{Al})_{\text{karasal}}} \quad (3.5)$$

Burada, (C_x)_{örnek} ölçülen aerosol örneğindeki elementin yoğunlaşması, (C_x)_{karasal} elementin topraktaki yoğunlaşma miktarı, (C_{Al})_{örnek} Alüminyum (Al) elementinin aynı aerosol örneğindeki yoğunlaşma miktarı ve (C_{Al})_{karasal} Al elementinin karasal yoğunlaşma değeridir (Mason 1996; Guerzoni, 1999; Cyrus ve arkds., 2003). Bu metotta genellikle referans element olarak alüminyum kullanılmaktadır. Zira doğada en bol miktarda bulunan elementlerden birisi alüminyumdur. Özellikle karasal etkilerin belirlenebilmesi için alüminyum kullanılabilecek en ideal elementtir, zira sadece litofilik (lithophilic) elementler karasal kaynaklardan taşınabilmektedirler. Alüminyumun yanı sıra referans element olarak Demir (Fe) veya Kalsiyum (Ca) elementleri de kullanılabilmektedir (Braga ve arkds., 2004). Bu elementlerin hepsi tipik bir litofil dönüşüm elementidir ve karasal ortamlardaki miktarları kolay kolay değişim göstermez. Bu çalışmada normalizasyon elementi olarak alüminyum elementi kullanılmıştır ve alüminyumun karasal yoğunlaşma miktarları Mason tarafından 1966 yılında oluşturulan Mason tablosundan alınmıştır. EF_c değeri sadece toprak örneklerinde birim değeri (1) vermektedir. Aerosol örneklerinde ise her bir ölçülen element için hesaplanan EF_c değerleri eğer 5'den büyük bir değer veriyorsa bu ölçülmüş olan elementin doğal olmayan bir kaynaktan atmosfere yayıldığını göstermektedir (Mishra ve arkds., 2004).

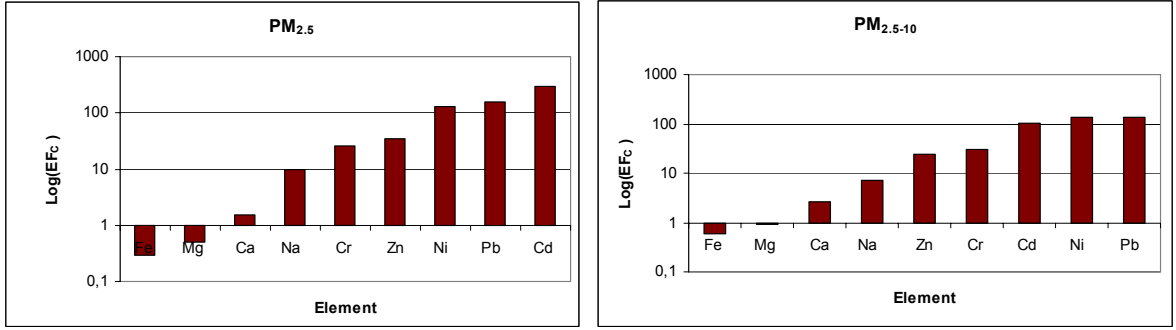
Denizsel Zenginleşme Faktörü (EF_m): Genellikle zenginleşme faktörü karasal elementlerin referans eleman olarak kullanılması ile hesaplanır, fakat deniz tuzlarına karşılık gelen elementlerin kullanılması ile denizsel zenginleşme faktörlerini de hesaplamak mümkündür. Özellikle bu çalışmadaki gibi denize yakın bölgelerde hesaplanması ve karasal değerlerle mukayese edilmeleri gereklidir. Denizsel zenginleşme faktörü karasal faktörlerin hesaplanmasındaki metotla hesaplanır, tek farklılık kullanılacak referans elementlerdir. Alüminyum yerine sodyum (Na) veya klor (Cl) elementleri referans element olarak kullanılmalıdır (Senaratne ve Shooter, 2004). Klor fazla kullanılan bir referans element değildir, çünkü klor deniz tozlarından kolay bir şekilde buharlaşabilmektedir. Denizsel zenginleşme faktörleri (EF_m) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

$$EF_m = \frac{(C_x/C_{Na})_{\text{örnek}}}{(C_x/C_{Na})_{\text{Denizsel}}} \quad (3.6)$$

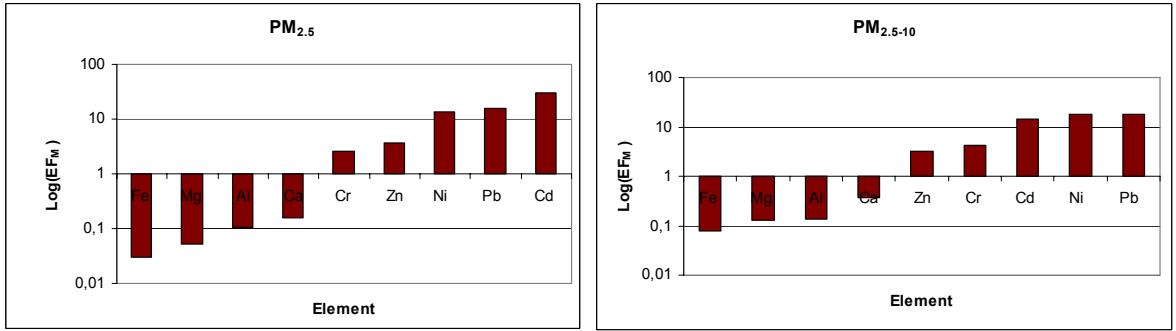
Formülde geçen terimler EF_c eşitliğinde geçen terimlerle aynıdır. Sahile yakın bölgelerde toplanan örneklerde ölçülen sodyum değerlerinin % 90'lık bir kısmı deniz tuzları ile ilişkilidir, bu nedenden dolayı sodyum direkt olarak denizsel referans element olarak kullanılabilir. Sahile yakın olmayan bölgelerde, özellikle kaba parçacıkların hızla çökelebildiği durumlarda, deniz tuzlarından kaynaklanan sodyum miktarlarında azalmalar gözlenmektedir (Ito ve Shooter, 2004).

Karasal Zenginleşme Faktörleri (EF_c) değeri sadece toprak örneklerinde birim değeri (1) vermektedir. Aerosol örneklerinde ise her bir ölçülen element için hesaplanan EF_c değerleri eğer 5'den büyük bir değer veriyorsa bu ölçülmüş olan elementin doğal olmayan bir kaynaktan meydana geldiğini göstermektedir (Mishra, 2004). Zenginleşme faktörleri yıllık ortalama değerlere göre hesaplanmıştır. $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ partiküllerin ayrı ayrı zenginleşme değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.24). $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ 'a göre daha fazla zenginleşmiş değerlere sahiptir. Bu durum bölgenin insan aktivitelerine bağlı kaynaklardan etkilenmekte olduğunu göstermektedir.

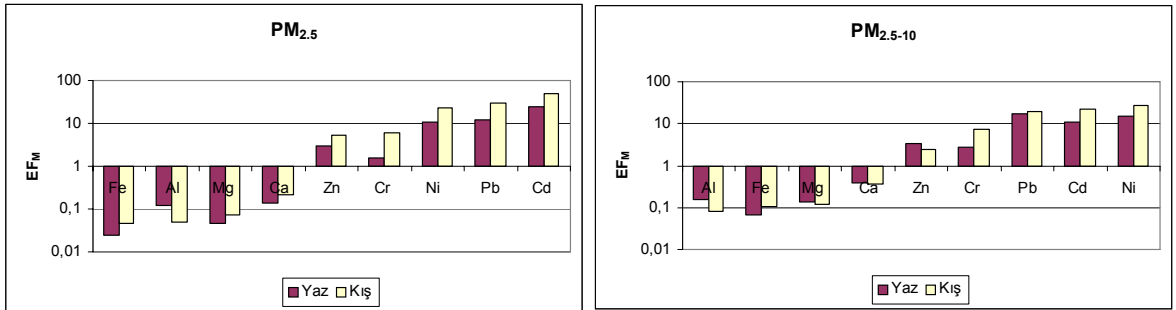
Denizsel Zenginleşme Faktörleri (EF_m) karasal faktörlerin hesaplanmasındaki metotla hesaplanır, tek farklılık kullanılacak referans elementlerdir. Deniz kaynaklı zenginleşme değerleri incelendiğinde krom, kurşun ve çinkonun zenginleşmiş oldukları görülmektedir. $PM_{2.5}$ partiküllerde ise kadmiyum zenginleşmiş bir element olarak dikkat çekmektedir (Şekil 3.25). Metal konsantrasyonlarının önemli bir bölümü özellikle $PM_{2.5}$ partiküllerde mevsimlere bağlı olarak (yaz-kış) önemli değişimler göstermekte ve dikkate değer yükselmeler olabilmektedir. Dolayısı ile mevsimsel zenginleşme faktörlerinin incelenmesi önem arz etmektedir. Karasal ve denizsel zenginleşme faktörleri yaz ve kış verileri için ayrı ayrı hesaplanarak Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Karasal değerler genellikle çok yüksek zenginleşme değerleri vermektedir.



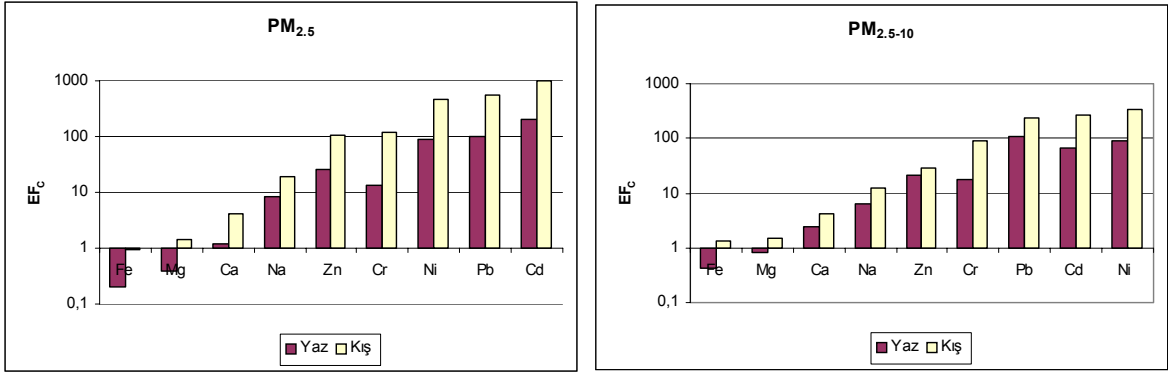
Şekil 3.24. Atmosferik parçacıkların karasal zenginleşme faktörleri



Şekil 3.25. Atmosferik parçacıkların denizsel zenginleşme faktörleri



Şekil 3.26. Karasal zenginleşme faktörlerinin mevsimsel değişimleri



Şekil 3.27. Denizsel zenginleşme faktörlerinin mevsimsel değişimleri

3.7.2.2 Faktör Analizi

Bu metot ile ortak kaynaklardan yayılan ve veri boyunca benzer davranışlar gösteren element grupları belirlenebilmektedir. Teknik olarak, faktör analizi uyguladığında tüm veri setindeki parametreler değişimleri, eğilimleri ve varyantları incelenerek gruplandırılmakta ve etkili faktör miktarları belirlenmektedir. Faktör analizi bir istatistik paket program (SPSS, Excel, Minitab, Statgraph vs.) kullanımı ile yapılabilmektedir.

Çalışmanın bu kısmında atmosferik parçacıklarda ölçülen konsantrasyonların kaynaklarının araştırılması ve ortak kaynağa sahip grupların belirlenmesinde etkili bir yöntem olan faktör analizi yöntemi kullanılacaktır. İlk olarak PM_{2.5} partiküllerinde faktör analizi yapılacaktır. Bu analiz veri setindeki tüm elemanların yerine daha az veri kullanılarak veri setinin tamamının izah edilmesi (veri indirgeme) amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan analiz sonucunda 4 faktör istatistik değerlerine (eigenvalue) bakılarak belirlenmiştir. Çizelge 3.16’de PM_{2.5} partiküller için temel bileşen tekniği kullanarak faktörler çıkarılmıştır. İlk dört faktörün eigenvalue değerleri birden büyük olduğu için etkili faktörlerdir. PM_{2.5} partiküller için Varimax döndürme işleminden sonra faktör yükleme değerleri hesaplanmıştır. İlgili şekildeki değerler veri matrisi döndürüldükten sonra belirlenmiştir. Burada döndürme (rotasyon) işlemi yapılmasının nedeni değerlerin daha basitleştirilmesidir. Dört faktör için hesaplanmış faktör değerleri Çizelge 3.18’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar oldukça başarılı ve temsil edici niteliktedir.

Çalışmanın devamında benzer şekilde faktör analizi PM_{2.5-10} partiküllerinde ölçülen metal konsantrasyonları için de hesaplanmıştır. PM_{2.5-10} partiküllerinin faktör hesaplarında da dört etkin faktör bulunmuştur. Çizelge 3.17’de bu faktörlerin istatistik değerleri görülebilir. Etkin faktörler 1 değerinden daha büyük değerlere sahip olan faktörler olarak düşünülmektedir. Bu

değerlere göre en son ve en düşük kuvvette olan faktör grubu (4. faktör) ile verideki değişim % 71,9 oranında izah edilebilmektedir. Bu değer yeterli ve kabul edilebilir düzeydedir. Temel bileşen analizi kullanılarak matris döndürme işleminden sonra elde edilen faktör değerleri Çizelge 3.19’de verilmiştir.

PM_{2,5} için demir-çinko, magnezyum-sodyum, krom-nikel ve kadmiyum-kurşun grupları ortak kaynaklara ve benzer faktörlere sahiptirler. PM_{2,5} partiküllerinin faktör analizi sonucunda bir tane karasal ve denizsel, iki tane endüstriyel ve bir tane de trafik olmak üzere dört faktör belirlenmiştir.

PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} için farklı kaynaklardan etkilenme ihtimali mümkün olduğundan dolayı her iki veri grubunun ayrı ayrı faktör analizlerinin yapılması doğru olan yaklaşım şeklidir. Zira PM_{2,5} partiküllerde gözlenen bir element endüstriyel bir kaynaktan veya uzun taşınmayla bölgeye taşınmıyor olabilir ve çok karakteristik bir özellik içerebilir. Diğer yandan aynı element yerel veya doğal bir kaynaktan yayılarak alıcı ortama da ulaşabilir. Bu tip durumların net ve belirgin tanımlanabilmesi için veri setlerinin ayrı ayrı incelenmesi her zaman bir avantaj getirecektir.

PM_{2,5-10} partiküllerinde magnezyum-çinko-kalsiyum-demir endüstri ve deniz kaynaklı aerosoller grubu (karışım), sodyum-alüminyum-kurşun-demir; endüstri ve karasal kaynaklı aerosoller grubu (karışım), kadmiyum-nikel; bölgesel endüstri kaynaklı aerosol grubu ve krom yerel endüstri kaynaklı aerosol grubu olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.16. PM_{2,5} partiküller için faktör analizi sonuçları

Faktör Numarası	Eigenvalue	Değişim yüzdesi	Birikimli Yüzde
		(%)	(%)
1	3,06082	30,61	30,61
2	1,8656	18,66	49,26
3	1,3094	13,09	62,36
4	1,10073	11,01	73,37
5	0,921361	9,21	82,58
6	0,664973	6,65	89,23
7	0,507062	5,07	94,30
8	0,284679	2,85	97,15
9	0,168697	1,69	98,83
10	0,116673	1,17	100,00

Çizelge 3.17. PM_{2.5-10} partiküller için faktör analizi sonuçları

Faktör Numarası	Eigenvalue	Değişim yüzdesi	Birikimli Yüzde
		(%)	(%)
1	3.78758	37.876	37.876
2	1.25763	12.576	50.452
3	1.13421	11.342	61.794
4	1.00651	10.065	71.859
5	0.865033	8.65	80.51
6	0.761145	7.611	88.121
7	0.530934	5.309	93.431
8	0.298902	2.989	96.42
9	0.208406	2.084	98.504
10	0.14964	1.496	100

Çizelge 3.18. PM_{2.5} partiküller için faktör tablosu

	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4
Cd	-0,0380	0,1033	-0,0518	0,7033
Cr	-0,1052	0,1981	0,7412	-0,2047
Fe	0,2190	0,8444	0,4017	0,0990
Mg	0,7615	0,0819	-0,1730	-0,0615
Na	0,8673	-0,0488	0,1648	0,1847
Ni	0,0920	-0,0468	0,7896	0,2820
Pb	0,1794	0,0171	0,1218	0,7922
Zn	-0,0360	0,9514	-0,0866	0,0750
Al	0,8163	0,0018	0,1686	0,2463
Ca	0,8529	0,1054	-0,0896	-0,0832

Çizelge 3.19. PM_{2.5-10} partiküller için faktör tablosu

	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4
Cd	-0.11872	-0.09478	0.71836	-0.19887
Cr	-0.08062	-0.04490	0.00403	0.94513
Fe	0.59832	0.57383	0.24244	0.10792
Mg	0.89157	0.04173	-0.10580	-0.00281
Na	0.06352	0.92495	-0.00818	0.02558
Ni	0.13003	0.11579	0.79280	0.23048
Pb	0.19708	0.76729	-0.02381	-0.13181
Zn	0.58803	0.18980	0.07367	-0.10843
Al	0.46786	0.73890	0.00054	0.04383
Ca	0.82101	0.28431	-0.0361	-0.0133

3.8 Potansiyel Kaynak Etki Fonksiyon (PSCF) Değerleri

Ashbaugh ve arkadaşları (1985) tarafından geliştirilen (havada) kalma zamanı olasılık analizi (the residence time probability analysis) aynı zamanda “Potansiyel Kaynak Etki Fonksiyonu” (PSCF) şeklinde de bilinir. Bu metot kaynak noktaların belirlenmesinde ve atmosferik iz elementlerin ve partikül maddelerin muhtevalarının mesela; sülfat , nitrat, ozon, siyah karbon, ve cıva gibi, izledikleri yolların ve kaynaklarının tayinininde kullanılmakta olan bir metottur (Poirot ve Wishinski, 1986; Zheng ve arkdş., 2004; Cheng ve arkdş., 1993; Stohl, 1996; Polissar ve arkdş., 2001; Polissar ve arkdş., 1999; Lupu ve Maenhaut, 2002).

Kısaca bakıldığında PSCF “alıcı noktasında ölçülen belirlenmiş bir eşik değerinden daha yüksek olan konsantrasyon miktarlarının, incelenmekte olan bölgedeki ızgara parçalarında bekleme süreleri dikkate alınarak kaynak olasılıklarının belirlenmesi” şeklinde tarif edilebilir. Eşik değerin üzerindeki konsantrasyon değerlerinin eski yörüngelerindeki her bir ızgaraya düşen toplam yörünge parçalarının, tüm örnekleme setindeki aynı ızgaraya düşen toplam parçalara oranı alınarak hesaplanır. PCSF tekniği kullanılırken, bir ızgara hücresi içersine yayılmış olan partikül madde türlerinin veya konsantrasyonların hava parseli ile birlikte difüzyon, kimyasal dönüşüm veya atmosferik yıkanmaya maruz kalmadan alıcı ortama ulaştığı kabul edilir (Cheng ve arkdş., 1993). N_{ij} çalışma süresi boyunca hesaplanan tüm yörüngelerdeki (i, j) koordinatlı bir ızgara hücresine düşen toplam yörünge parçası ve M_{ij} ise çalışma süresi boyunca hesaplanan eşik değeri aşan yörüngelerdeki (i, j) koordinatlı bir ızgara hücresine düşen toplam yörünge parçası olsun:

$P_{ij} = M_{ij}/N_{ij}$ (PSCF) oranı (i, j) ızgara parçası için hesaplanabilecek potansiyel kaynak etki fonksiyonudur. Bu metodun kullanılmasıyla yüksek konsantrasyon değerlerini alıcı ortama taşıyan hava parselleri ve bu yüksek değerlerin oluşmasında etkili olan kaynak noktaları belirlenmiş olacaktır.

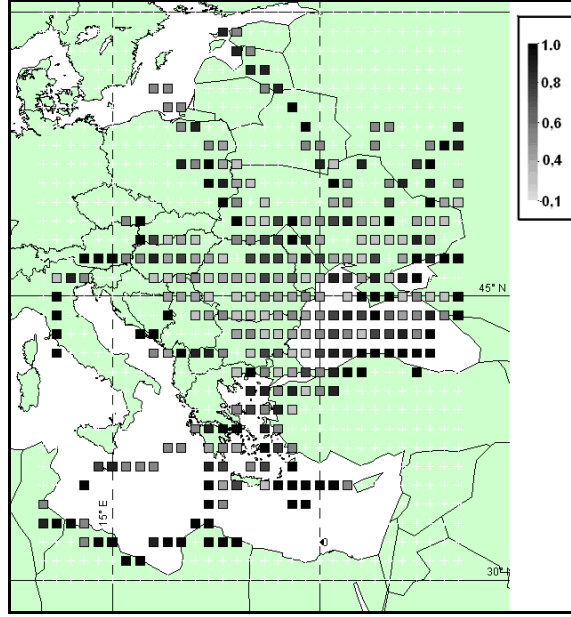
Potansiyel kaynak etki fonksiyonu seçilmiş olan olayların tüm olaylara bir oranı olduğu için, küçük rakamlarda, $M_{ij} < N_{ij}$, durumu ortaya çıkabilmekte ve elde edilen PCSF değerlerinde önemli istatistik belirsizlikler gözlenebilmektedir. Bu mantıktan yola çıkarak istatistiksel düzenlemelerin yapılabilmesi küçük N_{ij} değerleri için tercihe bağlı katsayılar kullanılarak istatistiksel hata aza indirilebilir. Bu çalışmada potansiyel kaynak etki fonksiyonlarının belirlenmesinde $1^\circ \times 1^\circ$ (Enlem X Boylam) ızgara çözünürlüğü kullanıldı ve her bir yörünge 1 saatlik yörünge aralıklarıyla incelendi. Yüksek çözünürlük kullandığı ve yörünge parçaları saatlik aralıklarla hesaplandığı için katsayılar aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

$$W(N_{ij}) = \begin{cases} 1.00 & N_{ij} \geq 20 \\ 0.85 & 15 \leq N_{ij} < 20 \\ 0.65 & 10 \leq N_{ij} < 15 \\ 0.50 & N_{ij} < 10 \end{cases} \quad (3.7)$$

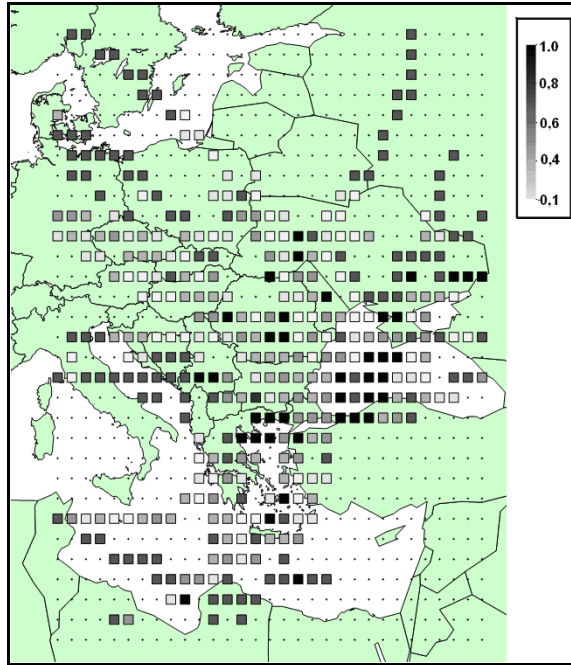
3.8.1 Partiküler Madde Kütle Değerleri için PSCF Değerleri

Örneklem süresinde elde edilen 500 m yükseklik için eski yörüngeler kullanılarak PSCF değerleri hesaplanmıştır. Eşik değeri olarak en yüksek %30 $PM_{2.5}$ kütle değeri kullanılmıştır. Kullanılan hesaplarda enlem-boylam çözünürlüğü $1^\circ \times 1^\circ$ hassasiyetindedir. Elde edilen değerler harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.28). Haritada koyu renkli noktalar en yüksek PSCF değerlerini açık renkli noktalar ise düşük PSCF değerlerini ifade ederler. Benzer hesaplamalar 1200m'lik eski yörüngeler içinde yapılmıştır. Kullanılan parametre ve hesap değerleri önceki bölümde tartışıldığı gibidir. Elde edilen sonuçlara göre çizilmiş olan 1200 m yörüngesine ait $PM_{2.5}$ PSCF değerleri Şekil 3.29'de gösterilmiştir. Denizler de bir partikül kaynağı olduğu için kaynak olarak değerlendirilebilir.

Büyükçekmece bölgesinde atmosferik partiküllerin en önemli kaynakları yerel ve bölgesel kaynaklardır. $PM_{2.5}$ boyutundaki partiküller atmosferde çok uzun süre askıda kalabilir, hava hareketleri ve rüzgâr etkileri ile çok uzak mesafelere taşınabilirler. Örneklem bölgesine uzun mesafelerden bu boyuttaki partiküller de taşınmaktadır. 500 m yörüngesi için (Şekil 3.28) yüksek $PM_{2.5}$ kütle miktarlarına en çok katkısı olan bölgeler Karadeniz ve Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi, Ege Bölgesi ve Doğu Akdeniz ülkeleri, Avrupa ülkeleri ve özellikle; İtalya'nın kuzey doğusu, Polonya'nın doğusu, Beyaz Rusya, Litvanya ve Ukrayna hattı, Rusya Federasyonunun güney batısı olarak belirlenmiştir. 1200 m yörüngesi içinde benzer sonuçlar bulunmuştur (Şekil 3.29). İlk haritada olduğu gibi Karadeniz ve Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi, Ege Bölgesi ve Doğu Akdeniz ülkeleri, Avrupa ülkeleri ve özellikle; İtalya'nın kuzey doğusu etkili bölgelerdir. Buna ilaveten bu haritada, Rusya Federasyonunun kuzeyi ve orta kısımlarının, İsviçre ve Danimarka'nın (Kuzey Avrupa) potansiyel kaynak etki fonksiyon değerleri yüksek bulunmuştur.



Şekil 3.28. PM_{2.5} PSCF değerleri (500m)

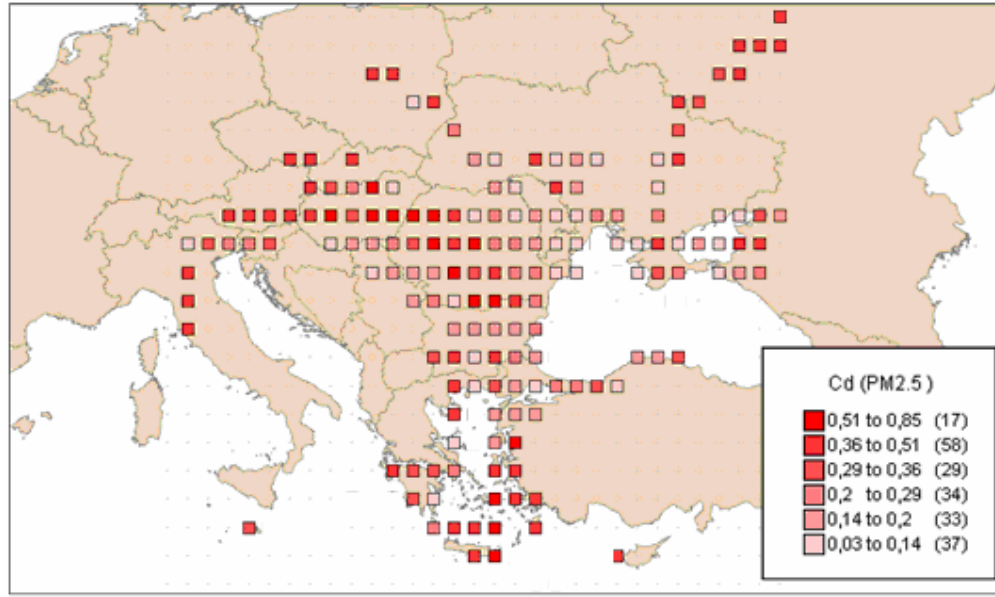


Şekil 3.29. PM_{2.5} PSCF değerleri (1200m)

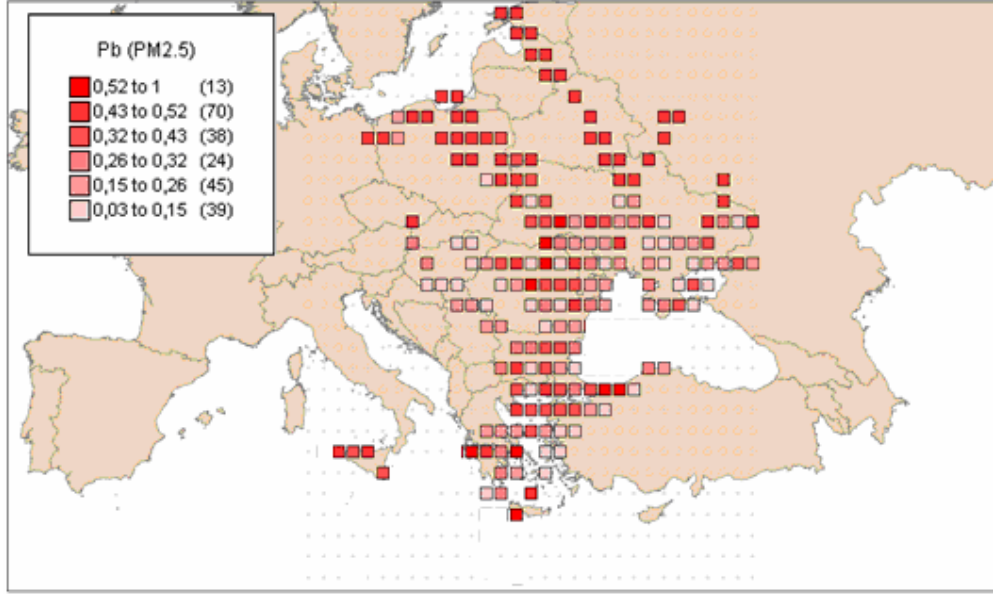
3.8.2 Metal Konsantrasyonları için PSCF Değerleri

Çalışmanın bu son bölümünde her bir element için potansiyel kaynak etki fonksiyonları hesaplanarak $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ızgara çözünürlüğünde Avrupa haritası üzerinde konusal harita oluşturma tekniği kullanılarak, elde edilen değerler gösterilecektir. Bu şekilde her bir elementin hangi

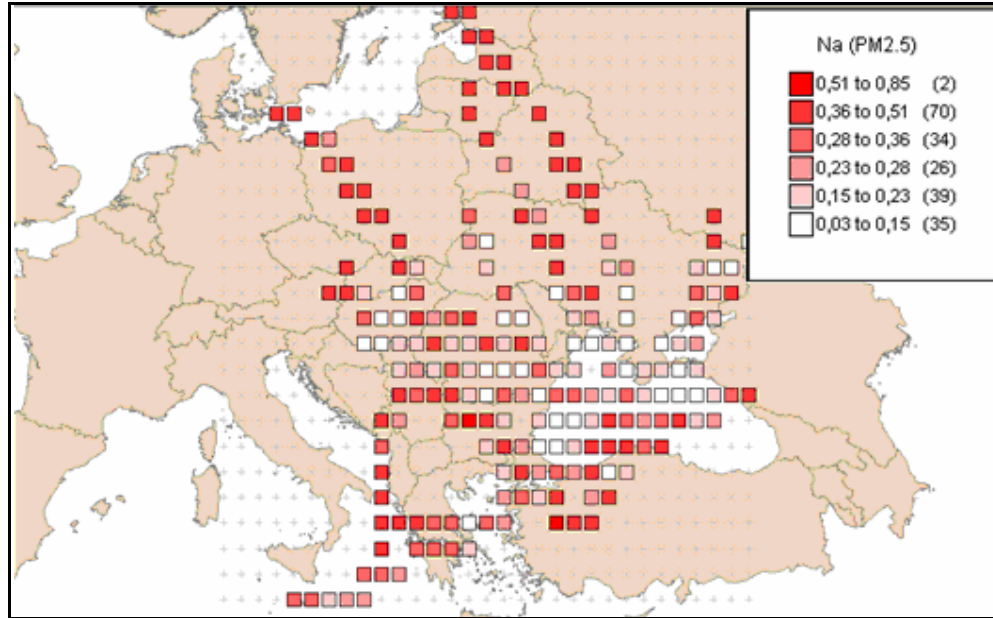
bölge ve ülkelerden zenginleşerek Büyükçekmece bölgesine geldiğini anlamak mümkün olabilecektir. Özellikle uzun taşınım etkisi ile bölgemize ulaşmakta olan elementler için bu metodun sonuçları önemli bulgular içermektedir. Hava yolu ile taşınan parçacıkların PSCF değerleri hesaplanırken kullanılabilecek yörüngeler 1200 m ve 500 m yörüngeleridir. Burada bölge özellikleri de dikkate alınarak sadece 500 m yörüngesi içinde değerler hesaplanmıştır (Şekil 3.30, Şekil 3.31, Şekil 3.32, Şekil 3.33, Şekil 3.34, Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37, Şekil 3.38 ve Şekil 3.39).



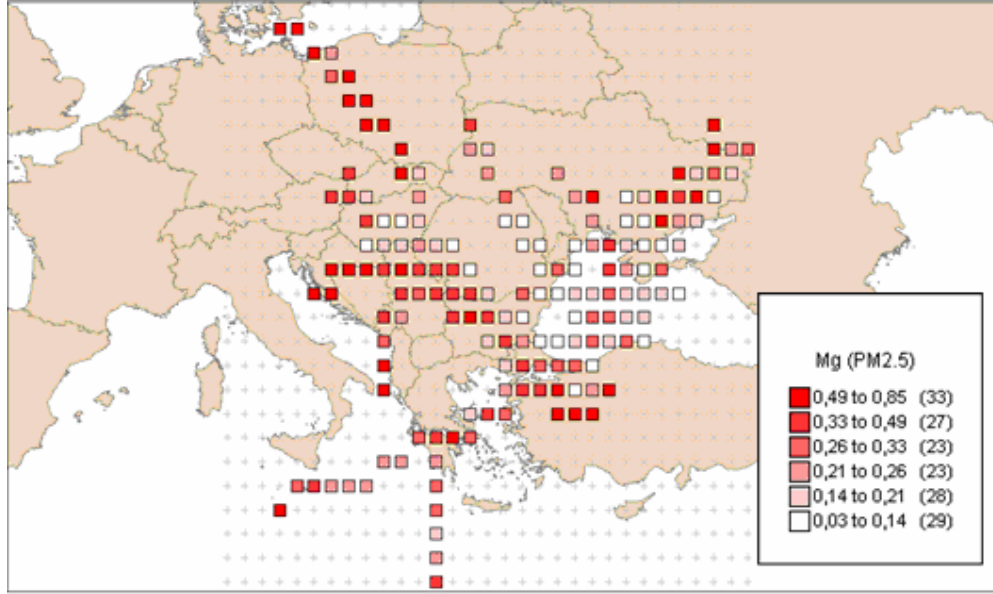
Şekil 3.30. Yüksek Cd konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri



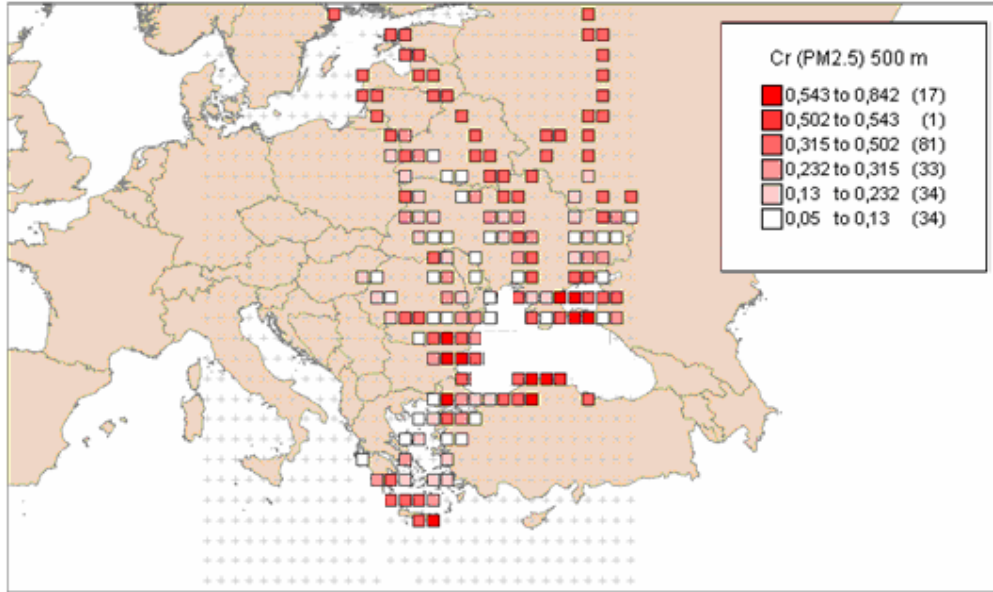
Şekil 3.31. Yüksek Pb konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri



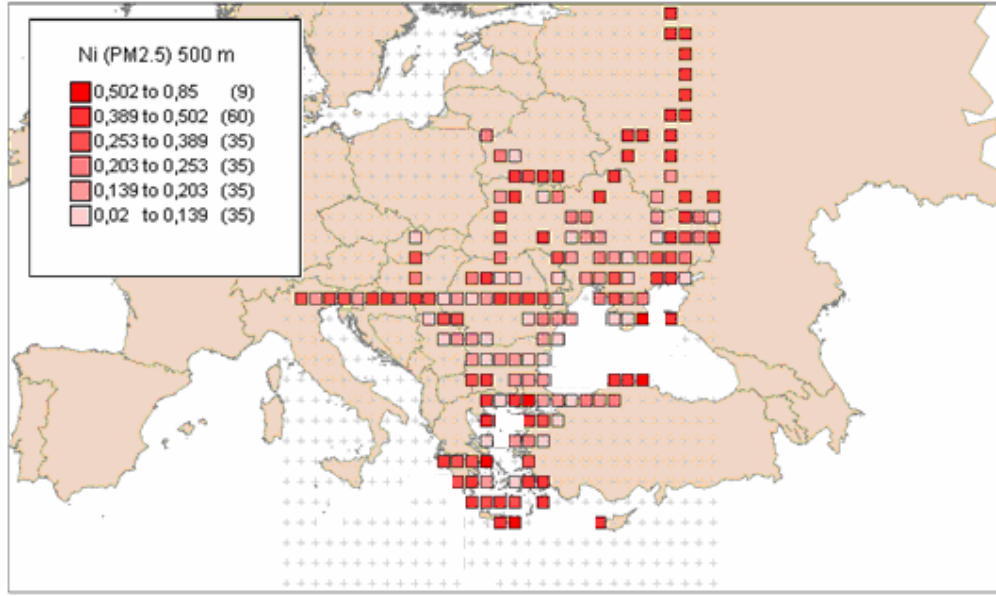
Şekil 3.32. Yüksek Na konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri



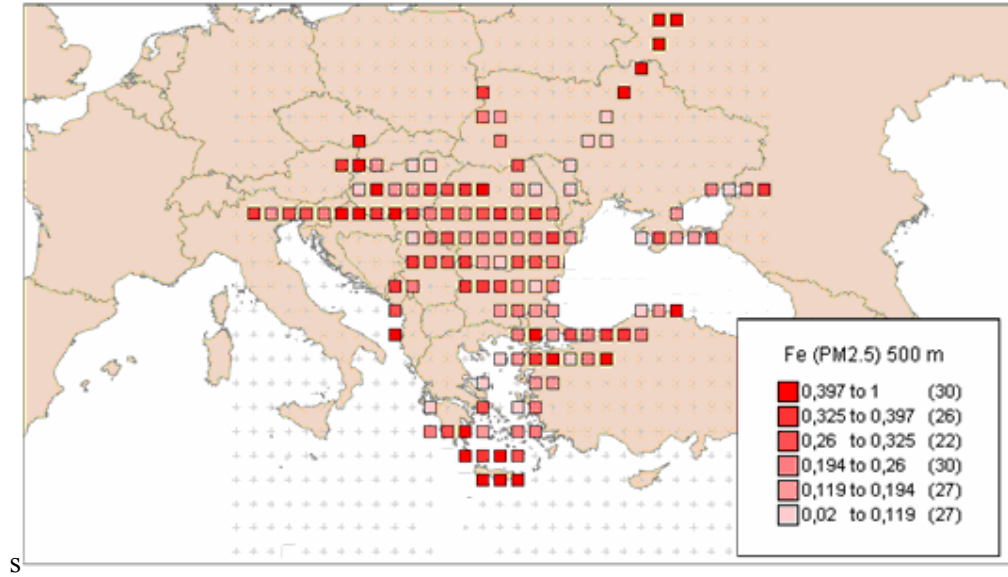
Şekil 3.33. Yüksek Mg konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri



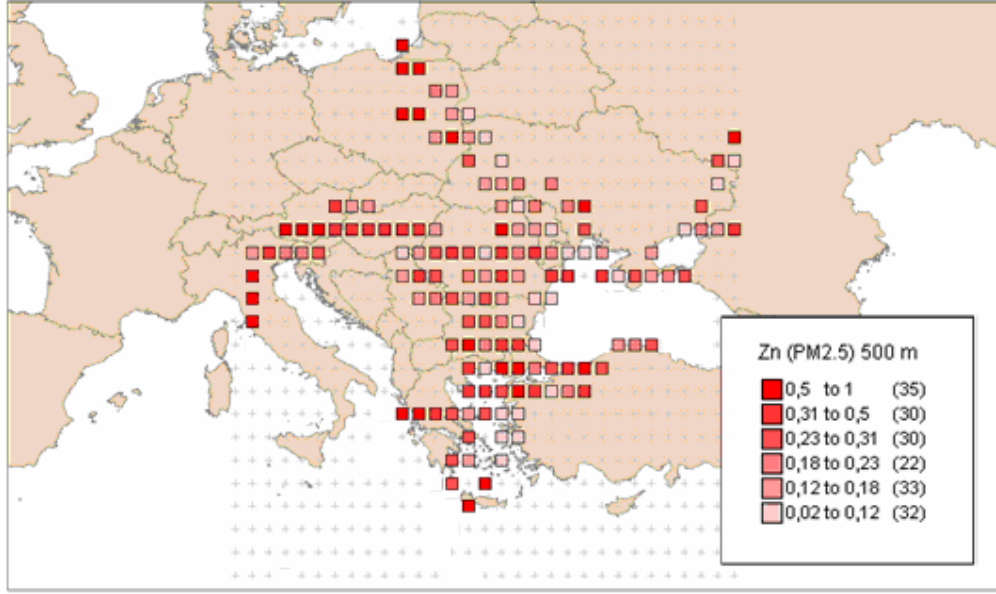
Şekil 3.34. Yüksek Cr konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri



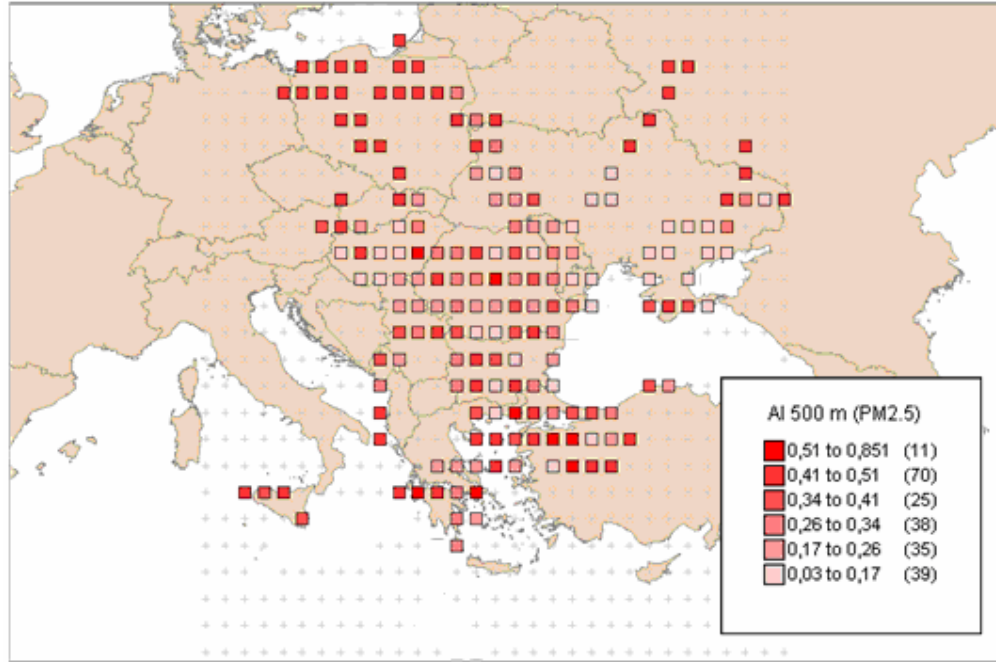
Şekil 3.35. Yüksek Ni konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri



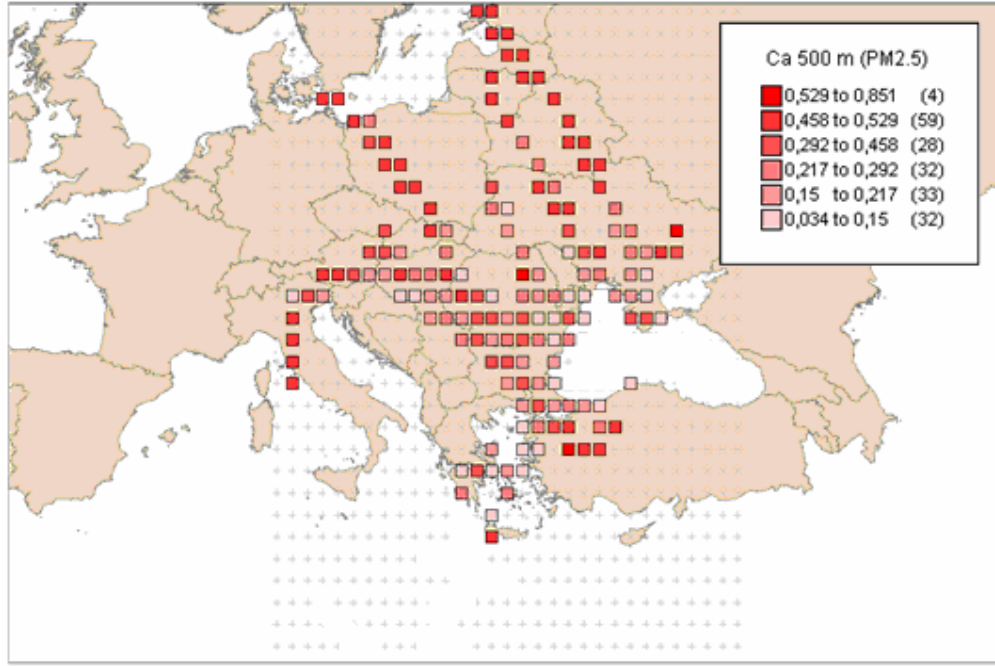
Şekil 3.36. Yüksek Fe konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri



Şekil 3.37. Yüksek Zn konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri



Şekil 3.38. Yüksek Al konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri



Şekil 3.39. Yüksek Ca konsantrasyon değerleri için 500 m PSCF değerleri

Tüm yerel ve bölgesel değerlendirmelere ve kaynak araştırmalarına ilaveten atmosferik $PM_{2.5}$ partiküllerin örnekleme bölgesine uzun taşınmayla gelebildiği bilinmektedir. Bu durum $PM_{2.5-10}$ partiküller için göz önünde bulundurulamaz. Zira $PM_{2.5-10}$ partikülleri atmosferde uzun süre kalmaz ve uzun mesafelere kolaylıkla taşınmazlar. Bu uzun taşınmanın mümkün olan etkileri PSCF modellemesi ile belirlenmiştir. Bu değerlendirmenin bulguları sırasıyla aşağıda tartışılmıştır. Kadmiyum elementi genel olarak trafik ve endüstri faaliyetlerine bağlı olarak üretilir. Ölçülmüş olan Cd değerlerinin sadece yerel ve bölgesel kaynaklardan değil aynı zamanda küresel veya uzak kaynaklardan da bölgeye taşınmış olabileme ihtimali vardır. Zira $PM_{2.5}$ partiküller $PM_{2.5-10}$ partiküllerle mukayese edildiğinde daha yüksek değerler gözlenmesi ve $PM_{2.5}$ partiküllerin atmosferde kalabilme sürelerinin çok uzun olması bu öneriyi desteklemektedir.

Hesaplanan kadmiyum epizot değerleri için elde edilen PSCF haritası Şekil 3.30'de gösterilmiştir. PSCF değerine göre yoğun etkili bölgeler Slovakya, Romanya ve ülkemizin Ege ve Marmara bölgeleridir.

Kurşun elementi kaynak ve davranış itibarı ile kadmiyuma benzemektedir. Bilinen en önemli kaynağı trafik faaliyetleridir. Zira son yıllara kadar bazı ülkelerde kurşun muhteva eden

benzinler halen kullanılmaktadır. Bu çalışmanın yapıldığı dönemlerde ülkemizde henüz gerekli düzenlemeler ve yasaklar uygulamaya başlanmamıştı ve kurşun ihtiva eden benzin kullanımı yoğun olarak devam etmekteydi. Bölgede ölçülen kurşun yoğunlaşma değerlerine en önemli katkının İstanbul ve Marmara bölgelerinden olabileceğini düşünmekteyiz. Kurşun PSFC değerleri hesaplanarak Şekil 3.31’de gösterilmiştir. 500 m mesafesi için ise Yunanistan üzerinden, Polonya, Litvanya-Belarus bölgelerinden bölgeye kurşun muhtevası yüksek parçacık maddeler taşınabilir.

Sodyum elementi ve sodyum parçacıkları genel ve yoğunluklu olarak doğal kaynaklardan üretilmektedirler. Deniz ve karasal ortamlardan yüksek miktarlarda üretilebilmektedirler. Bu çalışmada da özellikle PM_{2.5} partiküllerde yaz ve bahar aylarında çok yüksek konsantrasyonlar gözlenmiş ve toplam parçacık kütesinin %78 değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. Örnekleme bölgesinin deniz ortamına yakın olmasının bunun en önemli nedeni olduğunu düşünmekteyiz. Hesaplanan PSCF değerlerinde de Karadeniz ve Akdeniz üzerinden bölgeye sodyum zenginleşmesi olduğu görülmektedir (Şekil 3.32). 500 m irtifası için hesaplanan değerlerde Marmara ve İç Anadolu bölgesini batı kesimleri sodyum üreten bölgesel kaynaklar olarak görülmekte ve dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra Polonya, Litvanya-Belarus; Ukrayna, Marmara bölgesi ve Bulgaristan diğer önemli karasal sodyum kaynakları olarak bulunmuştur. En önemli kaynak Karadeniz’dir.

Magnezyum elementi kaynakları itibari ile sodyum ile benzerlikler gösteren bir elementtir. Daha önceki bölümlerde yapılan faktör analizlerinde de sodyum ve magnezyum aynı faktör grubunda bulunmuştur. Magnezyum PSCF değerleri sodyum değerleri ile benzerlik göstermektedir (Şekil 3.33). Fakat denizin etkisi özellikle Akdeniz ve Karadeniz için magnezyum değerlerinde çok daha belirgin olarak görülmektedir. Özellikle magnezyum deniz tuzları olarak bol miktarda Büyükçekmece bölgesine ulaştığı anlaşılmıştır. Sodyum için ise deniz etkilerinin yanı sıra karasal olan doğal kaynaklarında etkilerinin de kuvvetli olduğu sonucu çıkarılabilir.

Bölgedeki ilginç profile sahip elementlerden birisi krom elementidir. Bu kısımda yapılan çalışmalar kısa mesafeli ve yerel yörüngelerin yüksek konsantrasyonlu krom taşıdığını göstermiştir. Yüksek konsantrasyonlu kromun sağlık etkileri düşünüldüğünde bu elementin özellikle incelenmesi gerekmektedir (ATSDR, 1998). Şekil 3.34’de 500 m irtifa değerleri için PM_{2.5} partiküllerin PSCF değerleri hesaplanarak gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre güney doğu Avrupa üzerinden, batı Karadeniz ve Marmara bölgelerinden örnekleme bölgesine krom yüklü parçacıklar taşınmaktadır. 500 m haritasında Bulgaristan ve Karadeniz

(Ukrayna üzerinden) bölgeleri etkili görülmektedir.

Nikel elementi de krom elementi ile benzer karakteristik özellikler göstermektedir (Şekil 3.35). Bu değerler daha önceki bölümlerde yapılan faktör analizi ve zenginleşme faktörleri çalışmalarımızla uyum içersinde ve birbirini destekler niteliktedir. Tek farklılık Akdeniz üzerinden nikelin kroma göre daha fazla taşıyor olmasıdır. Her iki element içinde Rusya ve Ukrayna üzerinden gelerek Karadeniz'i geçen ve bölgeye ulaşan hava akımları krom ve nikel taşıyan parçacıkları bölgeye getirmektedir.

Demir ve çinko mineral tozlarla ve doğal kaynaklarla yoğun olarak yayılım gösteren bir elementtir. Elde edilen PSCF değerleri Şekil 3.36'de gösterilmiştir. Bu verilere göre bu elementlerin örnekleme bölgesine yoğunluklu olarak Akdeniz üzerinden geldiği görülmektedir. Bu taşınım özellikle ilkbahar ve yaz aylarında gözlenmektedir. Diğer önemli kaynaklar ise Avrupa üzerinde dağılmış biçimde bulunmaktadır. Batı Karadeniz üzerinden de (Şekil 3.36) bölgeye önemli miktarlar da demir transferi olmaktadır.

Alüminyumun özellikle karasal bölgelerden (güney doğu Avrupa ve kuzey Avrupa) yayıldığı dikkat çekmektedir. Kalsiyumda ise denizsel bölgelerin karasal bölgeler kadar etkili olduğu söylenebilir (Şekil 3.38 ve Şekil 3.39).

4. SONUÇLAR

Büyükçekmece bölgesinde Temmuz 2002-Temmuz 2003 tarihleri arasında $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ konsantrasyonları için ortalama değerler sırasıyla; $20,76 \mu g/m^3$ ve $24,62 \mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ konsantrasyonların kimyasal yapısı ve dağılımı belirlenerek muhtemel kaynakları tartışılmıştır. Örneklemeye dönemi boyunca hem karasal hem de denizsel zenginleşme faktörlerinin ortak arayüzü üç elementin insan aktivitelerine bağlı olarak zenginleşme gösterdiklerini ve doğal konsantrasyon seviyelerinin üstünde düzeylere ulaştıklarını göstermektedir (Şekil 3.24 ve Şekil 3.25). Bu elementler krom, çinko ve kurşun elementleridir. Özellikle bu üç elementin yerel kaynaklardan zenginleştiği ve bölgenin bu açıdan değerlendirilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Karasal zenginleşme değerlerine göre magnezyum haricindeki tüm elementler $PM_{2.5}$ ve $PM_{2.5-10}$ partiküllerinde zenginleşme göstermişlerdir ve özellikle kışın alıcı ortama daha zengin olarak ulaşmaktadır (Şekil 3.26 ve Şekil 3.27). Tek farklılık yaz aylarında $PM_{2.5-10}$ partiküllerinde kurşun muhtevası kış aylarına oranla daha zengin bulunmuştur. Denizsel zenginleşme sonuçlarına göre kadmiyum, nikel ve kurşun haricinde diğer elementlerin zenginleşme değerleri kayda değer seviyede değildir ve kış aylarının zenginleşme değerleri yaz aylarına oranla daha büyük değerlerdir. Örneklemeye bölgesinin denize yakın olması nedeni ile denizsel değerlerin daha doğru sonuçlar vereceği düşünülebilir. Sonuç olarak kış aylarında özellikle kadmiyum, kurşun, nikel, çinko türü insan aktivitelerine bağlı elementler zenginleşerek alıcı ortama (Büyükçekmece bölgesine) ulaşmaktadır. Yaz aylarında da benzer durumlar gözlenmesine rağmen, bu değerler kış ayları ile mukayese edildiklerinde daha düşük seviyelerde kalmaktadır.

Elde edilen bulgulara göre, $PM_{2.5}$ partikülleri için demir-çinko, magnezyum-sodyum-alüminyum-kalsiyum, krom-nikel ve kadmiyum-kurşun grupları ortak kaynaklara ve benzer faktörlere sahiptirler. $PM_{2.5}$ içersindeki demir ve çinko partikülleri bölgesel ve yerel endüstri kaynaklarınca üretilerek 2,5 mikrondan küçük partiküller halinde bölgeye taşınmakta ve **bölgesel endüstri ve trafik kaynaklı aerosoller grubunu** temsil etmektedir. Magnezyum, sodyum, alüminyum ve kalsiyum **doğal kaynaklı aerosoller grubu** olarak belirlenmiş ve örneklemeye bölgesine karasal ve denizsel doğal kaynaklarının etkisi ile ulaşmaktadır. Krom ve nikel yoğunlukla yerel endüstriyel aktivitelere bağlı olarak üretilmektedirler ve **yerel endüstri kaynaklı aerosoller grubu** olarak belirlenmiştir. Örneklemeye bölgesinde bu grubun en önemli kaynağı, yakın sayılabilecek mesafede bulunan çimento fabrikasıdır. En sonuncu grup olan kadmiyum ve kurşun tipik trafik emisyonlarıdır ve bölgeye trafik bağlantılı kaynaklardan

yayılmaktadır ve **trafik kaynaklı aerosoller grubu** olarak belirlenmiştir. Netice itibari ile $PM_{2.5}$ partiküllerinin faktör analizi sonucunda bir tane karasal ve denizsel, iki tane endüstriyel ve bir tane de trafik olmak üzere dört faktör belirlenmiştir. $PM_{2.5-10}$ partikülleri için elde edilen bulgulara göre magnezyum-çinko-kalsiyum-demir **endüstri ve deniz kaynaklı aerosoller grubu** (karışım), sodyum-alüminyum-kurşun-demir; **endüstri ve karasal kaynaklı aerosoller grubu** (karışım), kadmiyum-nikel; **bölgesel endüstri kaynaklı aerosol grubu** ve krom **yerel endüstri kaynaklı aerosol grubu** olarak belirlenmiştir. Demir elementi düşük etkinlik değeri ile birinci ve ikinci faktör gruplarında sayılabilir fakat faktör değerleri düşüktür. $PM_{2.5-10}$ partikülleri için elde edilen sonuçlar oldukça ilginç bir görünüm sergilemektedir. Zira faktör grupları tipik endüstriyel emisyon grupları ile izah edilememektedir. Mesela sodyum ve kurşun aynı faktör grubunda olmasına karşın ortak bir emisyonla izah edilememiştir. Bu noktada üzerinde tartışılması gerekli olan etkin bölgelerin karakteristik özellikleridir. Zira $PM_{2.5-10}$ partiküllerin uzun mesafelerle taşınması olasılığı fazla yoktur ve genellikle yerel kaynaklardan bölgeye taşınmaktadır. Kurşun ve sodyumun ortak bir grupta olması alıcı bölgeye hem trafikten hem de deniz ortamından bir taşınım olması ile izah edilebilir. Sonuç olarak, sodyum içerikli tozlar rüzgârlarla bölgeye taşınırken beraberinde yol kenarları ve endüstriyel bölgelerde depolanan kurşun muhtevalı tozları da yeniden yükselterek (resuspention) bölgeye taşımaktadırlar. Örnekleme bölgesinin güney sektörüne düşen kesiminde E-5 karayolu ve yoğun bir yerleşim bulunmaktadır, aynı sektörde bulunan Marmara denizinden de ortama sodyum muhtevalı $PM_{2.5-10}$ partiküller taşındığı belirlenmiştir. Demirin bu grupta azda olsa etkin olması benzer şekilde doğal erozyonla izah edilebilir. Demir elementinin bir faktör grubuna tam olarak yerleşememesi ortama farklı kaynaklardan demir taşınımı olduğunu göstermektedir. Bölgeye demir elementi taş kırma işlemleri (örnekleme bölgesinin batı bölgesinden) ve doğal erozyonlar yoluyla ulaşıyor olabileceği gibi, çimento fabrikasının aktivitelerine bağlı olarak da ulaşıyor olabilir. İkinci faktör grubu olan magnezyum ve çinko endüstriyel aktivitelerle $PM_{2.5-10}$ partiküller halinde atmosfere yayılarak alıcı bölgeye ulaşmaktadır. Özellikle batı bölgesinde bulunan madencilik faaliyetlerinde çıkarılan cevher ve taş kırma işlemleri bölgede demir dahil olmak üzere bu gruptaki $PM_{2.5-10}$ partiküllerinin atmosferde zenginleşmesine neden olduğu düşünülebilir. Kadmiyum ve nikel trafik kaynaklı olabilir veya bölgeye çimento fabrikasının bulunduğu ve aynı zamanda da yoğun trafik faaliyetinin gözlemlendiği güney-batı bölgesinden yayılıyor olabilir. Bu elementlerin $PM_{2.5-10}$ partiküllerinde bulunmalarının en önemli nedeni rüzgâr etkisi ile yeniden yükselmedir. Son grupta ise krom tek başına önemli bir faktör olarak belirginleşmiştir. Bölgeye noktasal bir kaynaktan düzenli olarak $PM_{2.5-10}$ partiküller halinde

krom yayıldığı belirlenmiştir.

Partiküler madde element konsantrasyonları ve epizot değerleri tartışılarak ortaya çıkan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Kadmiyum: $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ ve PM_{10} kadmiyum konsantrasyon ortalamaları sırasıyla $2,00 \text{ ng m}^{-3}$; $0,52 \text{ ng m}^{-3}$ ve $2,51 \text{ ng m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Atmosferik partiküllerde tayin edilen kadmiyum konsantrasyonlarının büyük kısmı $PM_{2.5}$ partiküllerinde gözlenmiştir ve tamamen (veya çok büyük bir kısmının) insan faaliyetlerine bağlı olarak oluştuğu belirlenmiştir. Bölgedeki kadmiyumun en önemli kaynağı trafiktir. Eylül-Kasım ve Mayıs-Haziran dönemlerinde yüksek kadmiyum değerleri gözlenmiştir. Mayıs ve Haziran ayları yağışlı mevsimin sona erdiği ve sıcak günlerin gözleendiği bir döneme denk gelmektedir. Diğer dönem ise bölgede en kurak ve az yağış miktarlarının gözleendiği günlerdir. Yağış alan mevsimlerde (Aralık-Ocak) düşük konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. Yağışın atmosferdeki tozları yıkayarak bölgedeki partikül madde muhtevasını ve konsantrasyonlarını azalttığı tespit edilmiştir. Yüksek kadmiyum konsantrasyonunun bir diğer önemli nedeni enverziyon etkisidir. Enverziyon gözlenen günlerde tipik tepe değerlere ulaşılmıştır. Yerel ve bölgesel trafik ve endüstri kaynaklarından yayılan kadmiyum, düşük enverziyon seviyelerinde tipik yüksek konsantrasyonların gözlenmesine neden olmuştur (Şekil 3.5). Bölgede yüksek konsantrasyonlu değerler gözleendiğinde hava parselleri genelde Karadeniz üzerinden İstanbul'un nüfusunun ve kentsel aktivitelerinin çok yoğun olduğu bölgelere uğramak sureti ile bölgeye ulaşmaktadırlar. Bölgede gözlenen bu yüksek kadmiyum değerlerinin İstanbul ilinden (örnekleme bölgesinin kuzey ve kuzey doğu yörüngesi) etkilendiği ve yoğun olarak trafik (özellikle E5 ve TEM) ve bazı endüstriyel etkinliklerin (özellikle Hadımköy bölgesi) sonucunda bölgeye ulaştığı fikrine netlik kazandırmaktadır.

Kurşun: $PM_{2.5}$, PM_{10} ve $PM_{2.5-10}$ kurşun konsantrasyon ortalamaları sırasıyla $0,075 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$, $0,129 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ ve $0,054 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ olarak bulunmuştur. Bölgenin atmosferik kurşun profili kadmiyum profili ile benzerlik göstermektedir. Örnekleme süresi boyunca atmosferik partiküllerdeki kurşun konsantrasyonlarının en önemli kaynakları; trafik, endüstriyel aktiviteler, yanma ve yakma işlemleri gibi antropojenik kaynaklardır (Chan ve arkdş., 2000; Chiaradia ve Cupelin, 2000; Hana ve Al-Bassam, 1983). Bu süre boyunca kurşun konsantrasyonlarda dikkate değer oranlarda bir artma veya azalma görülmemektedir, bu durum kurşun konsantrasyonlarının mevsimsel aktivitelere çok fazla bağımlı olmadığını göstermektedir. Bölgenin sabit bir kaynaktan ziyade, trafik gibi hareketli ve değişken bir kaynaktan etkilendiği (kurşun açısından) belirlenmiştir. Bölgedeki atmosferik kurşun

muhtevasının birincil kaynağı yerel ve bölgesel trafik faaliyetleridir. Kurşun verisi incelendiğinde $PM_{2.5-10}$ partiküllerinin ısınma ve yaz dönemi konsantrasyonlarındaki farklılık dikkat çekicidir. Yaz ortalama değeri, kışın toplanan örneklerdeki ortalama değerden yaklaşık iki kat (1,84) daha fazladır. Özellikle yağış gibi mevsimsel etkilerin, atmosferik yıkanmadan dolayı $PM_{2.5-10}$ kış konsantrasyonlarını azalttığı düşünülebilir. Özellikle kurak iklimlerde rüzgâr etkileri yol kenarları gibi bölgelerde çökelmiş olan partiküllerin atmosfere tekrar karışmasına, böylelikle $PM_{2.5-10}$ içersindeki kurşun benzeri trafik ve endüstri kaynaklı metallerin konsantrasyon değerlerini yükselmesine neden olmaktadır. $PM_{2.5-10}$ partiküllerinde gözlenen antropojenik metaller genelde rüzgar gibi etkilerin bir sonucu olarak yeniden yükselme yoluyla bu partikül sınıfında zenginleşebilirler. Yanma ve trafik gibi işlemler sonucunda kurşunun atmosfere $PM_{2.5-10}$ formunda yayılması mümkün değildir. Bölgeye ulaşan yoğun kurşun partikülleri %54 oranında Kuzey-Doğu sektöründen bölgeye taşınmaktadır. Diğer en etkili bölge ise %23'lük değeri ile Güney-Batı sektörüdür. Bu değerlere göre en çok etkili görülen bölge olan Kuzey-Batı sektöründe yoğun bir kentleşme bulunmaktadır. Bu kentleşmenin yanı sıra örnekleme bölgesini etkileyebilecek önemli bir kaynak olarak TEM otoban yolu bulunmaktadır. Bölgenin güney doğusunda da yoğun bir kentleşme olmasına rağmen, endüstriyel aktivitelerin ve sanayi alanlarının özellikle Kuzey-Doğu sektöründe bulundukları vurgulanmalıdır. Güney-Doğu sektörü yerleşim birim alanı olarak kullanılmakta (Büyükçekmece ilçesi) ve endüstriyel aktivite fazla bulunmamaktadır, fakat trafik dikkate alınması gereken miktarlardadır. Dolayısı ile örnekleme bölgesinin en yoğun olarak, hakim rüzgârlarında etkisi ile Kuzey-Doğu sektöründe bulunan TEM otobanı ve endüstriyel bölgelerden etkilendiği söylenebilir. Bu çalışmanın yapıldığı zaman zarfı içersinde, Büyükçekmece ilçesinin güneydoğu kesimine düşen bölgelerde doğal gaz kullanımı başlamış olmasına rağmen, henüz batı kesimine düşen Mimaroba, Sinanoba, vs. gibi yerleşim birimlerinde doğal gazın kullanılmaya başlanılmamıştı. Bölgede site tarzı yapılaşma çok miktarda bulunmakta ve genellikle fueloil ve kalorifer yakıtı tarzı yakıtlar yoğun olarak kullanılmaktaydı. Bölgedeki kurşunun muhtemel yerel kaynaklarına ek olarak bu yerleşim birimlerinde tüketilen ısınma amaçlı yakıtlar ve trafik aktiviteleri de ilave edilmelidir.

Krom ve Nikel: Krom ve nikel konsantrasyon ortalamaları $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ ve PM_{10} için sırasıyla $0,099 \mu g m^{-3}$, $0,101 \mu g m^{-3}$, $0,200 \mu g m^{-3}$ ve $0,381 \mu g m^{-3}$; $0,327 \mu g m^{-3}$, $0,708 \mu g m^{-3}$ olarak bulunmuştur. Bölgede atmosferik krom ve nikel için noktasal bir kaynak olarak kabul edilebilecek bir çimento fabrikası mevcuttur (EPA/600/8-83/012F). Mevsimsel krom ve nikel değerlerin bir birine yakın olması bölgeye gelmekte olan krom ve nikel yüklü parçacıkların düzenli olarak bir kaynaktan (çimento fabrikası) yayımlandığını doğrulamaktadır. Bölgeye

yoğun olarak krom taşındığı ve çevre ve insan sağlığı açısından tehlike arz edebileceği görülmektedir. Epizot vakalarının sıklığı ve bu vakalar süresince çok yüksek konsantrasyonlar gözlenmesi ($>0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bölgenin ilgili kaynaktan nedenli etkilendiğini doğrulamaktadır. Bu yüksek değerler meteorolojik faktörlerle (basınç, enverziyon ve rüzgar yönü) korelasyon göstermektedir. Bu tip ilişkiler yerel kaynakların bölgede etkili olduğunun bir diğer işaretidir. Ölçülen PM_{10} partiküllerdeki krom konsantrasyonunun yaklaşık %88'i sınır değerin ($0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) üzerindedir. Bu yüksek değerlerin ise %35'i sınır değerin iki katından daha fazladır. Arabaların fren balatalarından da atmosfere partiküler madde yapısında krom atıldığı bilinmektedir. Trafik bir diğer yerel krom kaynağı olabilir, fakat çimento fabrikasına mukayese edildiğinde ölçülen değerlere etkisinin çok az olduğu söylenebilir.

Magnezyum, Demir ve Alüminyum: Magnezyum konsantrasyonlarının yıllık $\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{2.5-10}$ ve PM_{10} ortalamaları sırasıyla; $0,403 \mu\text{g m}^{-3}$; $0,636 \mu\text{g m}^{-3}$ ve $1,039 \mu\text{g m}^{-3}$; demir muhtevasının yıllık ortalamaları sırasıyla; $0,555 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,945 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $1,501 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve alüminyum yıllık ortalama değerleri sırasıyla; $3,156 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2,708 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5,864 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. $\text{PM}_{2.5-10}$ partiküllerde bu elementlerin miktarlarının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Özellikle Nisan-Mayıs (ilkbahar) aylarında çok yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir. Bu tip veri setlerinde standart sapma değerlerinin de yüksek olması beklenir, zira mineral toz etkileri mevsimsel bir davranış gösterir. Hesapladığımız değerler bu öneriyi doğrulamaktadır. Özellikle bu değerler ilkbahar ve erken yaz aylarında maksimum değerler vermiştir. Bölgenin trafik, çimento fabrikası ve fosil yakıt tüketiminden etkilenen bir bölge olduğu göz önüne alındığında, gerçekte elde edilen değerlerin endüstriyel kaynaklardan da zenginleşiyor olma ihtimali ön plana çıkmaktadır. Öte yandan standart sapma değerinin yüksek olması mevsimsel etkilerin baskın olduğunu ve verinin mevsimsel açıdan değerlendirildikten sonra daha dikkatli yorumlar yapılması gerektiğini göstermektedir. Sonuç olarak bahar dönemlerindeki bu element grubunun epizot değerlerinin temel nedeni uzun mesafeli taşınımıdır. Genel olarak veri seti düşünüldüğünde ise bölgesel ve yerel kaynaklardan da Al, Fe ve Mg yayılımı olmaktadır. Epizot değerlerin gözlemlendiği aralıklar 9- 16 Temmuz, 2003; 22-29 Haziran 2003; 1-2 Mayıs ve 13-14 Mayıs 2003; 21-30 Nisan 2003, 5-7 Ekim 2002 tarihlerine tekabül etmektedir. Tüm epizot değerleri TOMS-AI haritalarıyla eşleştirilerek incelenmiş ve bu yüksek değerlere karşılık gelen örnekleme süresi boyunca örnekleme bölgesinin en az 6 ayrı periyot halinde bu tip küresel aerosol yayılımının etkisinde kaldığı belirlenmiştir. Bunlardan bazıları, özellikle ilkbahar aylarındaki epizotlar, Kuzey Afrika üzerinden bölgeye taşınırken yaz aylarında Arap yarımadası üzerinden taşınımalar gözlenmiştir.

Çinko: $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ ve PM_{10} partiküllerinde çinko yıllık ortalamaları sırasıyla; $0,081 \mu g/m^3$, $0,046 \mu g/m^3$ ve $0,126 \mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. Toplanan örneklerdeki çinko oldukça zenginleşmiş bir elementtir. $PM_{2.5}$ partiküllerdeki çinko yıllık ortalaması $PM_{2.5-10}$ kısımına mukayese edildiğinde $PM_{2.5}$ partiküllerin $PM_{2.5-10}$ partiküllere nispeten %76 daha fazla çinko içerdikleri görülmüştür. Bölgede gözlenen meteorolojik etkiler, özelliklerde alçak basınç, enverziyon ve rüzgâr etkileri tipik epizot değerlerin görülmesine neden olmaktadır. Bölgede önemli bir veya daha fazla çinko kaynağı tespit edilmiştir. Bu kaynaklardan en önemli bir yakma tesisi olarak kabul edebileceğimiz çimento fabrikasıdır. Yapmış olduğumuz gözlemlere göre bu tesiste değişik zamanlarda değişik yakıt tipleri (evsel atıklar dahil olmak üzere) kullanılabilir. Buna ilaveten bölgenin Güney-Batı bölgesinde (Yakuplu) pirinç ve bakır işlemlerinin yoğun olarak yapıldığı bir sanayi bölgesi ve Kuzey-Doğu bölgesinde muhtelif sanayi siteleri (Kıraç, Çakmaklı, Hadımköy) mevcuttur. Bu bölgeler örnekleme bölgesine nispeten uzak konumda olsa bile (~15 ila 20 km) bölgeye çinko içerikli partikülleri yayıyor olabilir. Çinkonun yüksek değerleri uzun taşınmadan ziyade bölgedeki endüstriyel faaliyetler ve mevsimsel değişimlerden kaynaklandığının ifade edilmesi daha doğru bir karar olacaktır.

Sodyum: Sodyum yıllık ortalama değerleri $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ ve PM_{10} partikül maddeler için sırası ile; $10,55 \mu g/m^3$, $6,79 \mu g/m^3$ ve $17,35 \mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. Büyükçekmece Gölü kenarında kurulmuş olan istasyonumuz deniz sahilinden 5 km uzaklıktaki bir mesafede bulunmaktadır. Yıl boyunca hakim rüzgârlar genelde istasyondan deniz yönüne doğrudur. Dolayısı ile ölçmüş olduğumuz sodyum yoğunlaşma değerlerinin Marmara denizinin yanı sıra Karadeniz ve karasal kaynaklı olabileceği düşünülebilir. Yıllık ortalama değerlere göre $PM_{2.5}$ sodyum muhtevası $PM_{2.5-10}$ partiküllerine oranla daha fazladır (yaklaşık %50). Yaz döneminde $PM_{2.5}$ sodyum değerlerinde tüm konsantrasyonun %60'a varan miktarlarının sodyum olduğu belirlenmiştir. Diğer dönem ve boyutlar için bu değer daha düşük fakat genel olarak en baskın element konumundadır. Örnekleme bölgesi deniz ortamlarına yakın olduğu için, deniz kaynağından etkilenmesi (özellikle Karadeniz) ve yüksek muhtevalı sodyum parçacıkları içermesi oldukça normal ve beklenen bir sonuçtur. Özellikle kuraklığın fazla olduğu dönemlerde oldukça yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir. Bunun temel nedeni bu dönem boyunca hakim rüzgârların Karadeniz ve Akdeniz üzerinden bölgeye ulaşması ve deniz spreyleri kaynaklı sodyumun daha ağırlıklı olarak bölgeye taşınmasıdır.

Kalsiyum: Kalsiyum yıllık ortalama değerleri $PM_{2.5}$, $PM_{2.5-10}$ ve PM_{10} partikül maddeler için sırası ile; $2,15 \mu g/m^3$; $3,25 \mu g/m^3$; $5,40 \mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. Kalsiyum elementi

aerosollerde ölçülen metaller arasında majör yoğunlaşma değerine sahip olan bir elementtir. Atmosferdeki mevcudiyetinin en önemli nedeni endüstriyel faaliyetlerdir. Bulduğumuz ortalama değerler literatürde bahsedilen çalışmalarda geçen değerler ile mukayese edildiğinde partiküllerdeki kalsiyum miktarlarının nispeten düşük oldukları görülmüştür. Yaz dönemlerinde daha yüksek kalsiyum konsantrasyonlarının gözlenmesi örnekleme alanına doğal yollarla üretilen kalsiyum elementinin daha fazla miktarlarda taşındığı fikrini kuvvetlendirmektedir. Kış aylarında düşük seviye yoğunlaşma değerlerinin yanı sıra standart sapma değerleri de oldukça düşüktür. En düşük standart sapma değeri tüm elementler içersinde kışın $PM_{2.5}$ partiküllerinde gözlenmiştir. Böylelikle alıcı ortama ulaşan $PM_{2.5}$ partiküllerinde kalsiyum değerlerinin sabit ve düzenli bir antropojenik kaynaktan etkilenmekte olduğu fikri kuvvet kazanır. Kalsiyum değerleri literatürdeki kentsel bölgelerden etkilenen bölgelerde yapılan çalışmaların değerlerden daha düşük olduğu için bu elementin bu bölgede kritik bir önem arz etmediği belirlenmiştir.

Bu çalışmanın tanımlanmış amaçlarından biriside bölgenin hava kalitesinin Büyükçekmece Gölüne muhtemel etkilerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda bölgede kuru çökme yoluyla göl yüzeyine çökelen ve su ortamına ulaşan atmosferik metallerin bilânçosunun ve miktarlarının tahmin edilmesi önem arz etmektedir. Çizelge 3.7 ve Şekil 3.23’de elde edilen bulgulara göre Büyükçekmece Gölüne dikkate değer miktarlarda atmosferik çökme olmaktadır. Atmosferik konsantrasyonlarına ve çökme hızlarına bağlı olarak en çok depolanan element demir (22~78 ton/yıl) ve alüminyum (14~97 ton/yıl) gibi temel karasal elementler ve en az miktarlarda depolanan elementler ise zehirli ağır metaller olan Cd (50~100 kg/yıl), Pb (195~3.100 kg/yıl) ve Cr (2.100~5.900 kg/yıl) gibi nadir toprak elementleridir. Tabii ki bu noktada önem arz eden metaller su ortamı ve çevre sağlığı açısından tehlikeli ve zehirli olan Cd, Pb gibi elementlerdir.

Bölgenin içme suyu havzası olması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi açısından ayrı bir önem arz etmektedir. Elde edilen bulgulara göre bölge atmosferine yerel ve bölgesel kaynaklardan ağır ve zehirli metal emisyonları olmaktadır. Bu konuyu dikkate alacak şekilde özel kontrol veya iyileştirme stratejileri geliştirilmelidir. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir;

- (i) Önemli noktasal ve bölgesel kaynakların (çimento fabrikası, sanayi bölgeleri vs.) denetlemeleri çok sıkı yapılmalıdır, gerekli görülmesi durumunda arıtım sistemlerinin verimliliklerinin artırılması sağlanmalıdır.
- (ii) Mevcut olan tesislerden teklikeli olanlar başka bir bölgeye taşınabilir.

- (iii) Bölgede özellikle Çatalca, Hadımköy, Kıraç ve Çakmaklı bölgelerinde atık gaz ve partikül emisyonu yapan yeni tesislerin kurulması gerekli hassasiyet dikkate alınarak değerlendirilmelidir, zira bu bölgeler hakim rüzgar yönünde bulunduklarından dolayı Büyükçekmece Gölünü direkt olarak etkilemektedirler.
- (iv) Endüstri ve yerleşim bölgelerinde hızla doğal gaz kullanımına geçilmeli, bu konu ile ilgili alt yapı eksikleri tamamlanmalıdır.
- (v) Bölgede düzenli olarak SO₂, NO, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, atmosferik metaller vs. izlenmeli ve yüksek değerler gözlenen veya tahmin edilen günlerde gerekli stratejik tedbirler alınmalıdır.
- (vi) Bölgenin jeolojik yapısı enverziyon etkilerine çok müsait olduğundan dolayı, enverziyon tahminleri önceden yapılmalı ve bu tahminlere göre özellikle noktasal kaynakların üretimleri kontrollü bir şekilde işletilmeli veya özel bir ilgi ile denetlenmelidir.
- (vii) Bölge için online çalışan bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kurulabilir ve bu sistem aracılığıyla hassasiyet arz eden bölgeler çok daha etkili bir şekilde denetlenebilir.

5. ÖNERİLER

Bu çalışma bu konuda İstanbul ilinde yapılan ilk çalışma niteliğindedir. Şu ana kadar literatürde İstanbul için benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısı ile bu çalışma oldukça kıymetli bir yapıya sahiptir. Bu çalışmanın yapıldığı dönemlerde ülkemizde henüz kurşun muhtevalı benzin kullanımı devam etmekteydi. Dolayısı ile devlet tarafından alınacak olan tedbirlerin (kurşunlu benzin kullanımının yasaklanması) etkilerinin anlaşılabilmesi ve mukayese için bu çalışma önem arz etmektedir. Benzer bir çalışmanın tekrarlar nitelikte yapılması bu husustan dolayı önem arz etmektedir.

Özellikle Marmara ve İstanbul bölgesi düşünüldüğünde atmosferik parçacıkların çökme hızları konusunda yapılmış bir çalışma ve literatür bilgileri mevcut değildir, bundan sonraki çalışmalarda Marmara ve İstanbul bölgesini kapsayan alanlar içersinde (Büyükçekmece bölgesi dahil) kuru çökme hızlarının hesaplanması kuru depolanma yolu ile bölgeye özelliklede Büyükçekmece Gölü gibi hassas bölgelere depolanan madde miktarlarının doğru ve etkili bir biçimde tahmin edilebilmesi açısından önem arz etmektedir.

Hava kaynaklı aerosollerin Dichotomous örnekleyicisi kullanımıyla örneklenmesi düşük emiş hacmi nedeni ile analiz tekniklerini sınırlı kılmaktadır. Benzer bir çalışmada INAA (aletli nötron aktivasyon analizi) benzeri bir analiz tekniği ile daha çok sayıda elementin ölçülebilmesi mümkün olabilecektir.

Bu tip çalışmaların uzun sürelerle yapılması ve paralelinde de Büyükçekmece Gölü ham ve arıtılmış su metal muhtevasının düzenli olarak izlenmesi bu konuda daha doğru çıkarımlar yapılabilmesini sağlayacaktır. Tüm bunlara paralel olarak Büyükçekmece Gölünün dip çamurunun derinlik profili metal muhtevası açısından izlenirse, kentleşme ve antropojenik etkilerin göl ortamındaki etkileri daha net olarak anlaşılabilir.

KAYNAKLAR

- Ak, N., (1995), "İstanbul'da SO₂ ve Partiküler Madde Emisyonlarından oluşan Hava Kirliliğinin Matematik Modelle İncelenmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi
- Alagha, O., (2000), "Wet and dry deposition fluxes of pollutants over a black sea forest region", Doktora tezi, ODTÜ.
- Al-Moami, I.F., Güllü, G., Ölmez, I., Eler, Ü., Özte, E., Şirin, G., Tuncel, G., (1997), "Chemical composition of eastern Mediterranean aerosol and precipitation: Indications of long-range transport", *Pure&appl.chem.*, 69, 1, 41-46.
- Alp, K. ve Eryılmaz, G., (2003), "İstanbul'da gece ozonu", III. Atmosfer bilimler sempozyumu, 19-21 Mart 2003, İstanbul.
- Alp, K., Toröz, İ., Uyak, V., Çitil, E., (2002), "İstanbul'da taş ocakları ve hava kirlenmesi", 8. Endüstriyel kirlenme kontrolü sempozyumu, 18-20 Eylül 2002.
- Álvarez, F.F., Rodríguez, M.T., Espinosa, A.J.F. ve Dabán, A.G., (2004), "Physical speciation of arsenic, mercury, lead, cadmium and nickel in inhalable atmospheric particles", *Analytica Chimica Acta*, 524, 1-2, 33-40.
- Ashbaugh, L.L., Malm, W.C., Sadeh, W.Z., (1985), "A residence time probability analysis of sulfur concentrations at Grand Canyon National Park", *Atmospheric Environment*, 19, 1263-1270.
- ATSDR, (1998), "Toxicological Profile for Chromium", U.S. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA.
- Averill, M., Law, W., Kelton, D., (1991), *Simulation Modeling & Analysis*: McGraw-Hill.
- Balaji, T., (1993), "A study on environmental pollution", Doktora tezi, Sri Venkateswara Üniversitesi, Kimya Bölümü.
- Başak, B. ve Alagha, O., (2004), "The chemical composition of rainwater over Büyükçekmece Lake, Istanbul" *Atmospheric Research*, 71, 4, 275-288.
- Bertine, K.K. ve and Goldberg, E.D., (1971), "Fossil fuel combustion and the major sedimentary cycle", *Science*, 173: 233.
- Bilos, C., Colombo, J.C., Skorupka, M.J., Presa, R., (2001), "Sources, distribution and variability of airborne trace metals in La Plata City area, Argentina", *Environmental pollution*, 111, 149-158.
- Braga, C.F., Teixeira, E.C., Yoneama, M.L., ve Dias, J.F., (2004), "Study of the elemental composition of aerosols in the Candiota region of Brazil using the PIXE technique", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 225, 4, 561-571.
- Breed, C.A., Arocena, J.M., ve Sutherland, D., (2002), "Possible sources of PM₁₀ in Prince George (Canada) as revealed by morphology and in situ chemical composition of particulate", 36 (10), 1721-1731.

- Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Spyrellis, N., Demokritou, P., Koutrakis, P., (2003), "Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} particle concentrations in Athens, Greece", *Atmospheric Environment*, 37, 649–660.
- Chan, L.Y., Kwok, W.S., ve Chan, C.Y., (2000), "Human exposure to respirable suspended particulate and airborne lead in different roadside microenvironments", *Chemosphere*, 41, 1-2, 93-99.
- Chao, C.Y. ve Wong, K.K., (2002), "Residential indoor PM₁₀ and PM_{2.5} in Hong Kong and the elemental composition", *Atmospheric Environment*, 36 (2), 265-277.
- Chapman, R.S., Watkinson, W.P., Dreher, K.L., Costa, D.L., (1997), "Ambient particulate matter and respiratory and cardiovascular illness in adults: particle-borne transition metals and the heart–lung axis", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 4, 331–338.
- Cheng, M.D., Hopke, P.K., Zeng, Y., (1993), "A receptor-oriented methodology for determining source regions of particulate sulfate at Dorset, Ontario", *Journal of Geophysical Research*, 98, 16839–16849.
- Chiaradia, M. ve Cupelin, F., (2000), "Behaviour of airborne lead and temporal variations of its source effects in Geneva (Switzerland): comparison of anthropogenic versus natural processes", *Atmospheric Environment*, 34, 959-971.
- Clark, W.E. ve Whitby, K.T., (1967), "Concentration and size distribution measurement of atmospheric aerosols and a test of the theory of self-preserving size distributions", *J. Atmos. Sci.*, 24, 677-687.
- Cyrys, J., Stölzel, M., Heinrich, J., Kreyling, W.G., Menzel, N., Wittmaack, K., Tuch, T., ve Wichmann, H.E., (2003), "Elemental composition and sources of fine and ultrafine ambient particles in Erfurt, Germany", *The Science of The Total Environment*, 305, 1-3, 143-156.
- Dong-Mei, L., Zhang, L., Wang, X. ve Long-Bo, L., (2003), "Ashing and microwave digestion of aerosol samples with a polypropylene fibrous filter matrix", *Analytica Chimica Acta*, 482, 1, 129-135.
- Dorn, C.R., Pierce, J.O., Phillips, P.E., ve Chase, G.R. (1976), "Airborne Pb, Cd, Zn and Cu concentration by particle size near a Pb smelter", *Atmos Environ*, 10: 443–446.
- Draxler, R.R. ve Hess, G.D., (1998), "An overview of the HYSPLIT_4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition", *Australian Meteorological Magazine*, 47, 295-308.
- Draxler, R.R. ve Rolph, G.D., (2003), HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- Draxler, R.R., (1996), "Trajectory optimization for balloon flight tracking", *Weather and Forecasting*, 11, 111-114.
- Draxler, R.R., (1999), HYSPLIT_4 User's Guide, NOAA Tech. Memo ERL ARL-230, June 1999, 35 p.

Draxler, R.R., (2002), HYSPLIT Model, "Focus on the future", Eastern Region WCM Workshop, 23-25 April, 2002, Harper's Ferry, WV

Duce, R.A., Arimoto, R., Ray, B.J., Unni, C.K., Harder, P.J., (1983), "Atmospheric trace elements at Enewetak Atoll: 1, concentrations, sources, and temporal variability", *Journal of Geophysical Research*, 88, 5321–5342.

Elinder, G., (1985), "Budesonide inhalation to treat idiopathic pulmonary haemosiderosis" *The Lancet*, 325, 8435, 981-982.

EPA, (1998a), Toxicological Review of Trivalent Chromium. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC. 1998.

EPA, (1998b), Toxicological Review of Hexavalent Chromium. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC. 1998.

EPA, (2005), "AP 42", Fifth Edition, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>

EPA/600/8-83/012F, (1985), "U.S. Environmental Protection Agency. Health Assessment Document for Nickel", Environmental Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, Cincinnati, OH. 1985.

EPA/600/P-95/001cF., (1996), Air Quality Criteria for Particulate Matter, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC, Vol. III.

Ertürk F., (1981), "İstanbul'un Haliç Bölgesinde Hava Kirlenmesinin Matematik Modelle İncelenmesi", Doçentlik Tezi, İTÜ.

Ertürk F., (1986), "Investigation of Strategies for the Control of Air Pollution in the Golden Horn Region, İstanbul, Using a Simple Dispersion Model", *Environmental Pollution (Series B)*, Vol. 11, pp.161-168.

Fang, G.C., Wu, Y.S., Huang, S.H, and Rau, J.Y., (2004), "Dry deposition (downward, upward) concentration study of particulates and heavy metals during daytime, nighttime period at the traffic sampling site of Sha-Lu, Taiwan", *Chemosphere*, 56 (6), 509-518.

Fuchs, N.A., (1964), "The mechanics of aerosols". New York, NY, Pergamon Press.

Gatari, M.J., Boman, J., Maina, D.M., (2001), "Inorganic element concentrations in near surface aerosols sampled on the northwest slope of Mount Kenya", *Atmospheric Environment*, 35, 6015-6019

Goldwater, L.J., Clarkson, T.W., (1972), Chapter 2: Mercury. 17-55. In: Lee DHK (ed). *Metallic contaminants and human health*. 1st ed. New York: Academic Press.

Guerzoni, S., Molinaroli, E., Rossini, P., Rampazz, G., Quarantotto, G., de Falco, G. ve Cristini, S., (1999), "Role of desert aerosol in metal fluxes in the Mediterranean area" *Chemosphere*, 39, 2, 229-246.

Gülsoy, G., Tayanç, M., Ertürk, F., (1999), "Chemical analyses of the major ions in the precipitation of Istanbul, Turkey", *Environmental Pollution*, 105, 273-280.

Gülsoy, G., Tayanç, M., Ertürk, F., Karaca, M., (1997), "Neutralization of Acid Precipitation in Istanbul Turkey", Air Quality Manegement at Urban, Regional&Global Scales, pp. 627-634, Trans Tech Publications Ltd., Switzerland.

Hacısalihoğlu, G, Balkaş, T.I., Tuncel, S.G., Herman, D.H., Ölmez, I., Tuncel, G., (1991), "Trace element composition of the black sea aerosols" Deep-sea research,38, 1255-1266.

Hana, A.A.K. ve Al-Bassam, K.S., (1983), "A survey of lead pollution in Baghdad", Water Air and Soil Pollution, 19, 3-14.

Hess, G.D. ve Draxler, R.R., (1998), "ETEX simulations using HYSPLIT_4", In Appendix B of the ATMES II Evaluation of Long-range Dispersion Models Using 1st ETEx Release Data, Vol. II, Models Description. Mosca, Bianconi, Bellasio, Graziani, and Klug, EUR 17756 EN, Office of Official Publications of the European Communities.

Hess, G.D., Mills, G.A., ve Draxler, R.R., (1997), "Comparison of HYSPLIT_4 model simulations of the ETEx data, using meteorological input data of differing spatial and temporal resolution", ETEx Symposium on Long-Range Atmospheric Transport, Model Verification and Emergency Response, 13-16 May, Vienna, Austria

Hu, H., (1998), Chapter 397: Heavy metal poisoning. In: Fauci AS, Braunwald E, Isselbacher KJ, Wilson JD, Martin JB, Kasper DL, Hauser SL, Longo DL (eds). Harrison's principles of Internal medicine. 14th ed. New York: McGraw-Hill; pp2564-2569.

IPCS (International Programme on Chemical Safety), (1997), "Aluminium", Environmental HealthCriteria 194. World Health Organization, Geneva, Switzerland. 270 pp.

Işıklı, B., Demir, T.A., Akar, T., Berber, A., Ürer, S.M., Kalyoncu C., ve Canbek, M., (2005), "Cadmium exposure from the cement dust emissions: A field study in a rural residence", Chemosphere, In Press.

Işıklı, B., Demir, T.A., Ürer, S.M., Berber, A., Akar, T., ve Kalyoncu, C., (2003), "Effects of chromium exposure from a cement factory", Environmental Research, 91, 2, 113-118.

Ito, M. ve Shooter, D., (2004), "Seasonal variations in the atmospheric concentration of non-filterable metals (NFM) and possible emission sources", Atmospheric Environment, 38, 6, 899-907.

İşli, İ., (1990), "Statistical Analyses of Air Pollution and Meteorological Data in İstanbul", Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi.

Kamens, R., Jang, M., Chien, C.J., Leach, K., (1999), "Aerosol formation from the reaction of pinene and ozone using a gas-phase kinetics-aerosol partitioning model", Environ. Sci. Technol., 33, 1430-1438.

Karaca, F., Al-Agha, O., Başak, B., Ertürk, F., (2002), "Modeling of Air Pollution Data by Using Artificial Intelligence", EPMR-2002, Environmental Problems of the Mediterranean Region, Near East University, North Cyprus.

Karaca, F., Alagha, O., Ertürk, F., (2005) "Application of inductive learning: Air pollution

forecast in Istanbul City", *Autosoft- Intelligent Automation and Soft Computing*, 11, 4, 207-216.

Karaca, F., Ölmez, İ., Aras, N.K., (2004), "A Radiotracer Method to Study The Transport of Mercury (II) Chloride from Water to Sediment and Air", *Journal of Radioanalytical Chemistry*, 259, 2, 223-226

Karl, X., Yang, K.S. ve Liaquat, H., (2002), "Determination of trace metals in atmospheric aerosols with a heavy matrix of cellulose by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectroscopy", *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 57, 1, 73-84.

Klemm, R.F. ve Gray, J.M.L., (1982), "A study of the chemical composition of particulate matter and aerosols over Edmonton", Prepared for the Research Management Division by the Alberta Research Council. Report RMD 82/9. 125.

Küçüksezgin, F., (1988), "Ege denizi radyoaktivitesinin izlenmesi", Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

Laden, F., Neas, L.M., Dockery, D.W., Schwartz, J., (2002), "Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities", *Environ. Health Perspect*, 108, 941-947.

Lu, H.C. ve Fang, G.C., (2002), "Estimating the frequency distributions of PM and PM by the statistics of wind speed at Sha-Lu, Taiwan", *The Science of the Total Environment*, 298, 119-130.

Lupu, A. ve Maenhaut, W., (2002), "Application and comparison of two statistical trajectory techniques for identification of source regions of atmospheric aerosol species" *Atmospheric Environment*, 36, 5607-5618.

Marcazzan, G.M., Ceriani, M., Valli, G., Vecchi, R., (2003), "Source apportionment of PM10 and PM2.5 in Milan (Italy) using receptor modelling", *The Science of the Total Environment*, 317, 137-147.

Mason, B., (1996), *Principles of Geochemistry*, 3rd edn. Wiley, New York.

McMurry, P.H., (2000), "A review of atmospheric aerosol measurements", *Atmos. Environ.*, 34, 1959-1999.

McQuarrie, M. ve Lime. C., (1966), In: *McGraw-Hill encyclopedia of science and technology: an international reference work*. McGraw-Hill, New York, NY.

McQueen, J.T. ve Draxler, R.R., (1994), "Evaluation of model back trajectories of the Kuwait oil fires smoke plume using digital satellite data", *Atmos. Environ.*, 28A (13):2159-2174.

Michou, M., Laville, P., Serça, D., Fotiadi, A., Bouchou, P. ve Peuch, V.H., (2005), "Measured and modeled dry deposition velocities over the ESCOMPTE area", *Atmospheric Research*, 74, (1-4), 89-116.

Mishra, V.K., Kim, K.H., Kang, C.H., ve Choi, K.C., (2004), "Wintertime sources and distribution of airborne lead in Korea", *Atmospheric Environment*, 38, 17, 2653-2664.

Nho-Kim, E.Y., Michou, M., ve Peuch, V.H., (2004), "Parameterization of size-dependent

particle dry deposition velocities for global modeling”, *Atmospheric Environment*, 38 (13), 1933-1942.

Nriagu, J.O., (1989), “A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals” *Nature* 338, 47-49

Nriagu, J.O. ve Davidson, C.I., (1980), “Zinc in the atmosphere. In: Nriagu JO ed. Zinc in the environment”, Vol. 1. New York, John Wiley & Sons.

O’Dowd, C.D. ve Smith M.H., (1993), “Physicochemical properties of aerosols over the Northeast Atlantic: evidence for windspeed- related submicron sea-salt aerosol production”, *Journal of Geophysical Research*, 98, 1137–1149.

Odabasi, M., Muezzinoglu, A., ve Bozlaker, A., (2002), “Ambient concentrations and dry deposition fluxes of trace elements in Izmir, Turkey”, *Atmospheric Environment*, 36 (38), 5841-5851.

Okuda, T., Kato, Y., Mori, J., Tenmoku, M., Suda, Y., Tanaka, S., He, K., Ma, Y., Yang, F., Yu, X., (2004), “Daily concentrations of trace metals in aerosols in Beijing, China, determined by using inductively coupled plasma mass spectrometry equipped with laser ablation analysis, and source identification of aerosols” *Science of The Total Environment*, 330, 1-3, 145-158.

Ölmez, İ. ve Aras, N.K., (1977) “Trace elements in atmosphere determined by nuclear activation analysis”, *J.Radioanal.Chem.*, 37, 671-677

Önal, M., (1996), “Determination of vapor phase mercury in Mediterranean atmosphere” doktora tezi, ODTÜ.

Öztürk M., (1983), "Şehiriçi Yollarda Taşıtlardan İleri Gelen Karbonmonoksit Kirliliğinin İncelenmesi", Doktora Tezi, İTÜ.

Pacyna, J.M., Bartonova, A., Cornille, P., ve Maenhaut, W., (1989), “Modelling of long-range transport of trace elements. A case study”, *Atmos Environ*, 23 (1), 107–114.

Perwak, J., Goyer, M., Nelken, L., Schimke, G., Scow, K., Walker, P., Wallace, D., ve Delos, C., (1980), “An exposure and risk assessment for zinc”, Washington DC, Environmental Protection Agency (EPA/440/4-81/016).

Poirot, R.L. ve Wishinski, P.R., (1986), “Visibility, sulfate and air mass history associated with the summertime aerosol in northern Vermont”, *Atmospheric Environment*, 20, 1457–1469.

Polissar, A.V., Hopke, P.K., Harris, J.M., (2001), “Source regions for atmospheric aerosol measured at Barrow Alaska”, *Environmental Science and Technology*, 35, 4214–4226.

Polissar, A.V., Hopke, P.K., Paatero, P., Kaufmann, Y.J., Hall, D.K., Bodhaine, B.A., Dutton, E.G., Harris, J.M., (1999), “The aerosol at Barrow, Alaska: long-term trends and source locations”, *Atmospheric Environment*, 33, 2441–2458.

Qi, J., Li, P., Li, X., Feng L. ve Zhang, M., (2005), “Estimation of dry deposition fluxes of particulate species to the water surface in the Qingdao area, using a model and surrogate

surfaces”, *Atmospheric Environment*, 39 (11), 2081-2088.

Quinn, P.K., Bates, T.S., Coffman, D.J., Miller, T.L., Johnson, J.E., Covert, D.S., Putaud, J.P., Neus, C., Novakov, T., (2000), “A comparison of aerosol chemical and optical properties from the 1st and 2nd Aerosol characterization experiments”, *Tellus*, 52B, 239–257.

Quinn, P.K., Coffman, D.J., (1998), “Local closure during the First Aerosol Characterization Experiment (ACE 1): aerosol mass concentration and scattering and backscattering coefficients”, *Journal of Geophysical Research*, 103, 16575–16596.

Sabuncu, M., Erten, H.N., Aras, N.K., (1986), “Trace elements in the atmosphere of Ankara”, *J.Radioanal.Chem.*, 100, 15-19.

Samura, A., Alagha, O., Tuncel, S.G., (2002), “Study of trace and heavy metals in rural and urban aerosols of Uludağ and Bursa (Turkey)”, *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 3: 87-96, 2003.

Saral, A., (2000), “Hava Kirliliğinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi ve Tahmini”, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi*.

Satsangi, G.S., Lakhani, A., Khare, P., Singh, S.P., Kumari, K.M, Srivastava S.S., (2002), “Measurements of major ion concentration in settled coarse particles and aerosols at a semiarid rural site in India”, *Environment International*, 28, 1 –7.

Seinfeld, J.H. ve Pandis, S.N., (1998), “*Atmospheric Chemistry and physics: From Air Pollution to Climate Change*”, Willey Interscience Publication, USA ISBN 0-471-17816-0.

Senaratne, I. ve Shooter, D., (2004), “Elemental composition in source identification of brown haze in Auckland, New Zealand”, *Atmospheric Environment*, 38, 19, 3049-3059.

Sezgin, N., Ozcan, H., Demir, G., Nemlioglu, S., Bayat, C., (2003), “Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway” *Environment international*, 29, 979-985.

Siems, S.T., Hess, G.D., Suhre, K., Businger, S., Draxler, R.R., (2000), “A comparison of observed and simulated trajectories of the ACE-1 Lagrangian experiments”, *Australian Met. Mag.*, 49, 109-120.

Skoog, D.A., and Leary, A., (1991), *Principles of instrumental analysis*, Fourth Edition, Saunders HBJ.

Sohn, D., Heo, M., ve Kang, C., (1989), “Particle size distribution of heavy metals in the urban air of Seoul, Korea”. In: Brasser LJ & Mulder WC ed. *Man and his ecosystem. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress*, The Hague, 11–15 September 1989, vol. 3. Amsterdam, Elsevier, pp 633–638.

Stohl, A., (1996), “Trajectorystatistics —a new method to establish source–receptor relationships of air pollutants and its application to the transport of particulate sulfate in Europe”, *Atmospheric Environment* 30, 579–587.

Stuart, A., ve Keith, J., (1991), *Kendall's Advanced Theory of Statistics*, Volume 2: Oxford University Press.

Şen, Z., (1998), "An application of a regional air pollution estimation model over İstanbul urban area", *Atmospheric Environment*, 32, 10, 3435-3433.

Tayanç, M., (2000), "An assessment of spetial and temporal variation of sulfur dioxide levels over İstanbul, Turkey", *Environmental pollution*, 107; 61-69.

Tayanç, M., Karaca, M., Ertürk, F., Saral, A., Borhan, Y., (1997), "Investigation of Sulfurdioxide Dispersion in Istanbul, Turkey", *Proceedings of the Second European&African Conference on Wind Engineering*, vol 1, 475-482, Genova, Italy.

Tecer, L., (2000), "İstanbul kenti fotokimyasal smog mekanizmasının modellenmesi" Doktora Tezi, Yıldız Üniversitesi.

Topcu, S., Antepioğlu, U., Incecik, S., (2001), "Surface ozon concentrations and its relation to wind field in Istanbul", *Second international symposium on air quality managenemt at urban and global scales*. pp. 228-235, 25-28 september 2001 Istanbul- Turkey

Torres, O., P.K., Bhartia, J.R., Herman, Z., Ahmad, ve Gleason, J., (1998), "Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: 61 Theoretical basis", *Journal of Geophysical Research*, 103 (D14), 17,099-17,110.

Varian, (1988), "Analytical Methods for Graphite Tube Atomizers", Editor: E. Rothery, Varian Australia Pty Ltd, Victoria, Australia, Publication No. 85-100848-00.

Wark, K., Warner, C.F., (1981), "Air Pollution, Its Origin And Control", 2nd. Edition, Harper and Row Publishers, New York.

Weschler, C.J., Shields, H.C., (1999), "Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles", *Atmos. Environ.*, 33, 2301-2312.

Whitby, K., (1978), "The physical characteristics of sulphur aerosols", *Atmospheric Environment*, 12, pp135.

WHO, (1992), *Environmental Health Criteria 134 - Cadmium International Programme on Chemical Safety (IPCS) Monograph*.

Wilson, W.E., Spiller, L.L., Ellestad, T.G., Lamothe, P.J., Dzubay, T.G., Stevens, R.K., Macias, E.S., Fletcher, R.A., Husar, J.D., Husar, R.B., Whitby, K.T., Kittelson, D.B., Cantrell, B.K., (1977), "General Motors sulfate dispersion experiment: summary of EPA measurements", *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 27, 46-51.

Wilson, W.E., Suh, H.H., (1997), "Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies", *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 47, 1238-1249.

Yadav, S. ve Rajamani, V., (2004), "Geochemistry of aerosols of northwestern part of India adjoining the Thar desert" *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68, 9, 1975-1988.

Yi, S.M., Shahin, U., Sivadechathep, J., Sofuoglu, S.C., and Holsen, T.M., (2001), "Overall elemental dry deposition velocities measured around Lake Michigan, *Atmospheric Environment*, 35 (6), 1133-1140.

Yun, H.J., Yi S.M. ve Kim, Y.P., (2002), "Dry deposition fluxes of ambient particulate heavy metals in a small city, Korea", *Atmospheric Environment*, 36 (35), 5449-5458.

Zheng, J., Tan, M., Shibata, Y., Tanakab, A., Li, Y., Zhang, G., Zhang, Y., Shan, Z., (2004), "Characteristics of lead isotope ratios and elemental concentrations in PM10 fraction of airborne particulate matter in Shanghai after the phase-out of leaded gasoline", *Atmospheric Environment*, 38, 1191–1200.

EK 1. Ölçülen Kütle Konsantrasyonları

PM _{2.5}												
Genel			Kimyasal									
Örnek Kodu	Tarih	Toz Ağırlığı	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
		[mg/m ³]	[ng/m ³]									
2-1	23.07.02	14.58	0.59	35.1	304	78	1316	354	35	35.8	182	844
2-2	25.07.02	16.67	1.96	8.4	141	52	250	49	30	79.3	47	445
2-3	29.07.02	20.83	DL	6.4	130	104	927	16	82	117.6	172	471
2-4	31.07.02	8.33	1.46	35.6	208	329	5421	182	44	0.6	833	1105
2-5	02.08.02	25.00	1.64	9.6	89	223	1061	50	20	18.4	31	1406
2-6	04.08.02	16.67	0.79	14.5	341	198	3504	185	90	119.2	1049	964
2-7	06.08.02	2.08	1.32	158.0	221	972	2079	293	28	3.5	672	1812
2-8	08.08.02	16.67	0.32	82.4	399	122	3109	514	101	101.1	465	538
2-9	10.08.02	12.50	DL	16.3	180	1247	2436	116	40	49.1	370	2207
2-10	12.08.02	8.33	1.38	164.3	727	144	2094	783	DL	4.9	693	1000
2-11	14.08.02	8.33	0.81	95.6	72	132	2193	151	62	22.9	411	579
2-12	10.09.02	8.33	1.34	75.1	655	244	5826	127	93	30.2	1635	916
2-13	12.09.02	12.50	0.75	144.7	356	153	3422	386	42	15.5	531	699
2-14	13.09.02	14.58	DL	53.2	200	187	2224	147	56	19.7	318	955
2-15	03.10.02	4.17	DL	67.1	460	477	8179	103	112	DL	1656	2335
2-16	04.10.02	4.17	2.84	83.1	456	124	15458	180	20	DL	2375	3772
2-17	05.10.02	12.50	DL	558.7	543	158	3152	318	85	40.5	490	747
2-18	06.10.02	DL	1.66	28.0	1419	130	5282	239	24	DL	1625	1107
2-19	07.10.02	DL	15.80	19.7	286	197	5401	184	112	59.4	469	942
2-20	08.10.02	16.67	0.08	48.1	495	434	10507	440	256	252.0	1818	1439
3-1	15.11.02	62.50	DL	65.6	603	719	13508	587	159	10.2	1833	2266
3-2	18.11.02	29.17	0.25	41.9	339	1262	7332	283	18	1.9	531	3294
3-3	21.11.02	25.00	0.83	48.1	343	48	1895	336	30	42.7	10	1172
3-4	22.11.02	37.50	3.33	97.3	651	200	4065	682	71	58.5	604	1293
3-5	23.11.02	66.67	3.62	194.9	1150	335	4954	1205	148	182.0	635	1471
3-6	24.11.02	54.17	DL	41.0	612	156	1869	313	92	369.8	115	2795
3-7	25.11.02	DL	DL	15.7	135	82	1565	46	DL	DL	94	1888
4-1	12.12.02	12.50	0.04	66.4	395	143	3994	389	28	DL	542	777
4-2	13.12.02	25.00	4.03	21.4	334	174	3653	116	34	DL	458	833
4-3	14.12.02	40.91	0.70	100.6	791	163	3096	754	120	95.5	386	985
4-4	15.12.02	37.50	0.45	179.0	477	999	4388	434	59	DL	948	2326
4-5	16.12.02	33.33	1.54	129.5	243	194	4009	254	60	26.8	781	911
4-6	17.12.02	41.67	3.57	227.1	660	653	15622	644	153	0.6	2458	2083
4-7	18.12.02	62.50	0.09	163.0	464	389	7334	534	128	34.2	1375	1510

PM _{2.5}												
Genel			Kimyasal									
Örnek Kodu	Tarih	Toz Ağırlığı	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
		[mg/m ³]	[ng/m ³]									
5-1	28.01.03	8.33	0.50	65.9	143	150	4648	136	41	DL	906	729
5-2	29.01.03	16.67	2.76	52.2	217	213	5845	248	42	9.9	1000	1810
5-3	30.01.03	16.67	0.12	77.9	343	236	5204	209	35	16.5	969	1845
5-4	31.01.03	4.17	0.03	46.0	273	240	5148	331	52	23.3	938	4575
5-5	01.02.03	12.50	0.26	66.9	217	423	8114	266	89	DL	1208	1224
5-6	02.02.03	DL	DL	30.1	239	1721	6141	211	46	68.8	781	3277
5-7	03.02.03	16.67	0.46	41.4	200	154	5135	177	31	DL	990	838
5-8	04.02.03	5.26	4.40	1409.9	1902	248	6906	821	63	100.0	1461	1436
5-9	05.02.03	29.17	2.21	19.0	907	170	7077	145	117	257.9	906	846
5-10	09.03.03	16.67	1.51	25.4	178	119	3799	158	172	33.6	500	1076
5-11	10.03.03	20.83	7.69	48.8	204	229	8030	139	105	51.1	1063	1467
5-12	11.03.03	25.00	1.53	64.0	174	151	3903	138	106	46.0	479	1293
5-13	12.03.03	20.83	0.65	53.1	360	67	4664	311	59	52.8	521	1406
5-14	13.03.03	25.00	0.57	49.0	343	147	4289	242	65	22.3	646	938
5-15	14.03.03	16.67	0.15	68.3	399	176	6265	503	52	264.3	458	1819
5-16	15.03.03	DL	1.19	143.0	534	128	4122	736	35	DL	490	595
5-17	16.03.03	12.50	3.00	75.7	438	111	3550	529	48	DL	615	720
5-18	17.03.03	20.83	3.00	55.8	668	144	3293	281	71	20.9	302	1332
5-19	18.03.03	16.67	DL	152.6	365	184	5042	536	45	6.8	823	1137
5-20	19.03.03	16.67	0.15	243.7	577	205	4927	257	57	5.5	854	1085
6-1	22.04.03	33.33	1.17	50.7	425	395	6171	189	120	71.6	1740	2156
6-2	23.04.03	20.83	1.34	127.0	3798	388	5045	245	52	1445.8	2951	2274
6-3	24.04.03	25.00	0.90	131.2	576	205	4519	491	52	13.2	2569	1351
6-4	25.04.03	25.00	1.31	92.0	339	163	5956	181	37	21.3	3082	5712
6-5	26.04.03	20.83	3.04	98.1	386	264	3984	123	29	748.7	2691	3203
6-6	27.04.03	25.00	4.65	119.3	482	264	4306	314	109	59.0	563	3260
6-7	28.04.03	41.67	1.98	47.1	625	113	15122	224	102	114.6	7682	894
6-8	29.04.03	DL	4.61	65.7	955	1347	45813	302	89	56.9	16406	11667
6-9	30.04.03	16.67	3.04	93.6	985	1922	52500	399	92	131.5	11979	14080
6-10	01.05.03	20.83	3.08	53.5	438	1440	12420	210	111	116.8	2865	3819
6-11	02.05.03	16.67	1.24	45.4	608	1738	18833	131	151	150.6	2908	3173
6-12	03.05.03	12.50	5.30	91.3	1007	140	11701	331	139	197.9	3646	1450
6-13	08.05.03	12.50	3.19	66.1	421	163	14292	206	27	5.8	688	2374
6-14	09.05.03	25.00	1.84	124.1	499	179	7465	623	20	164.1	594	1602
6-15	10.05.03	20.83	2.10	252.6	729	237	9066	523	26	57.3	375	1957

PM _{2.5}												
Genel			Kimyasal									
Örnek Kodu	Tarih	Toz Ağırlığı	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
		[mg/m ³]	[ng/m ³]									
6-16	11.05.03	25.00	2.20	60.4	655	150	8698	823	25	15.7	1417	1233
6-17	12.05.03	25.00	1.99	71.2	243	188	7375	443	38	6.4	1052	924
6-18	13.05.03	20.83	0.70	90.6	291	162	52161	363	37	2.2	438	790
6-19	14.05.03	12.50	6.28	133.6	425	238	227	471	46	1.8	1104	1345
6-20	15.05.03	4.17	3.21	24.1	347	251	257	148	53	11.6	1997	1172
7-1	21.06.03	DL	1.38	123.3	299	253	4440	212	37	DL	406	1185
7-2	22.06.03	12.50	2.07	135.4	391	242	3692	305	107	46.4	292	1345
7-3	23.06.03	4.17	2.76	122.8	690	113	5045	394	16	DL	1519	1780
7-4	24.06.03	25.00	2.81	88.0	360	270	4744	245	56	30.8	1302	1602
7-5	25.06.03	8.33	3.03	38.0	369	653	4546	196	200	57.3	4340	2478
7-6	26.06.03	16.67	2.95	31.7	781	156	17974	835	DL	13.9	1302	2344
7-7	27.06.03	33.33	5.23	77.2	712	183	20979	361	49	106.8	9635	4779
7-8	28.06.03	41.67	7.01	55.8	916	1266	20788	237	198	257.4	6076	2513
7-9	29.06.03	37.50	10.01	129.3	1241	201	15910	1552	207	280.8	5382	2309
7-10	30.06.03	41.67	5.57	51.5	738	149	46622	216	129	84.2	25434	1923
7-11	09.07.03	12.50	1.08	42.4	499	1033	19059	187	42	23.9	9896	3980
7-12	10.07.03	20.83	0.96	47.2	855	710	45333	204	207	60.3	20703	5100
7-13	11.07.03	4.17	DL	61.1	686	676	42826	279	130	80.3	18056	8056
7-14	12.07.03	16.67	0.42	109.9	1107	230	36747	1015	83	49.0	17274	3880
7-15	13.07.03	12.50	0.73	96.0	942	469	33080	2336	192	13.0	14497	2274
7-16	14.07.03	8.33	2.94	101.7	1133	1164	30833	447	151	80.3	12240	3529
7-17	15.07.03	4.17	0.86	102.3	1137	824	21875	842	52	90.7	11285	4106
7-18	16.07.03	DL	1.10	45.1	512	2112	25240	245	18	14.1	12847	4392
7-19	17.07.03	25.00	1.51	67.1	482	98	20653	516	60	122.8	7422	1211
7-20	18.07.03	DL	DL	84.6	564	650	18622	731	22	DL	7509	1372

PM _{2.5-10}												
Genel			Kimyasal									
Örnek Kodu	Tarih	Toz Ağırlığı	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
		[mg/m ³]	[ng/m ³]									
2-1	23.07.02	14.58	0.21	22.0	565	316	3370	112	15	14.2	3646	1792
2-2	25.07.02	16.67	0.05	60.7	1135	404	4804	493	30	46.5	2214	2398
2-3	29.07.02	22.92	0.24	24.0	875	508	5036	134	33	52.9	2656	2810
2-4	31.07.02	11.11	DL	30.6	753	391	7118	180	52	0.8	1875	1688
2-5	02.08.02	29.17	DL	51.0	469	313	4257	368	34	0.7	1432	1820
2-6	04.08.02	16.67	0.11	43.9	705	521	5889	230	68	39.3	1597	2128
2-7	06.08.02	4.17	DL	53.9	505	218	3813	440	26	0.8	2734	1026
2-8	08.08.02	19.44	0.81	74.9	1125	750	9840	514	119	58.3	1944	2889
2-9	10.08.02	8.33	0.26	19.5	617	529	4299	135	50	26.6	1693	2086
2-10	12.08.02	10.42	0.20	10.7	688	510	4234	86	41	1.1	1875	2284
2-11	14.08.02	50.00	0.31	38.5	435	378	4686	312	47	41.6	1380	1320
2-12	10.09.02	4.17	0.68	40.5	1073	1570	14951	291	90	39.0	5208	3703
2-13	12.09.02	8.33	0.67	22.1	516	288	5087	178	39	36.8	4010	1651
2-14	13.09.02	DL	0.24	519.2	484	243	4554	106	27	8.8	2109	844
2-15	03.10.02	4.17	0.40	33.0	385	296	6278	191	47	22.3	2396	1130
2-16	04.10.02	4.17	0.43	126.0	2240	192	2679	209	DL	1.1	479	1229
2-17	05.10.02	12.50	0.61	70.4	443	1233	7453	250	29	25.7	2292	5432
2-18	06.10.02	4.17	0.42	221.3	1703	243	5905	393	40	DL	2188	1271
2-19	07.10.02	DL	0.67	264.1	1490	533	4044	1142	53	19.4	2396	3656
2-20	08.10.02	12.50	0.95	155.5	857	460	3277	168	58	151.7	1380	2992
3-1	15.11.02	25.00	DL	83.3	DL	DL	6553	DL	DL	DL	0	5984
3-2	18.11.02	16.67	DL	104.2	4964	353	5905	409	41	DL	2396	1464
3-3	21.11.02	29.17	0.27	111.2	995	436	4736	394	58	82.5	3438	2557
3-4	22.11.02	45.83	0.02	558.3	521	3037	5190	262	27	DL	3229	5339
3-5	23.11.02	37.50	0.04	80.7	771	330	6296	270	41	48.4	2052	2188
3-6	24.11.02	12.50	DL	89.1	813	447	6169	632	61	16.9	1531	2359
3-7	25.11.02	DL	0.73	55.4	328	157	3337	285	19	1.1	500	8177
4-1	12.12.02	33.33	DL	118.1	651	200	4010	858	33	1.0	750	760
4-2	13.12.02	50.00	0.17	24.3	266	193	4094	182	40	DL	594	1089
4-3	14.12.02	63.64	0.25	32.8	511	145	1842	67	DL	15.3	182	1812
4-4	15.12.02	45.83	0.32	28.9	281	180	3642	173	32	DL	750	865
4-5	16.12.02	50.00	DL	47.8	8151	2757	6154	317	59	26.6	1260	5146
4-6	17.12.02	62.50	0.36	23.5	313	156	2061	128	DL	28.9	42	1542

PM _{2.5-10}												
Genel			Kimyasal									
Örnek Kodu	Tarih	Toz Ağırlığı	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
		[mg/m ³]	[ng/m ³]									
4-7	18.12.02	41.67	0.59	28.0	651	170	2285	180	17	4.4	115	1667
5-1	28.01.03	DL	0.07	17.7	245	172	3553	82	27	DL	500	635
5-2	29.01.03	12.50	0.05	32.5	464	109	1775	185	DL	9.1	94	1068
5-3	30.01.03	8.33	DL	13.9	302	375	5792	58	41	244.4	656	1026
5-4	31.01.03	16.67	0.09	1142.4	609	525	7520	209	40	3.5	2229	1995
5-5	01.02.03	8.33	0.09	59.9	625	363	5241	411	45	12.7	823	1714
5-6	02.02.03	16.67	DL	307.6	266	238	3832	124	46	0.3	417	911
5-7	03.02.03	12.50	DL	105.7	495	225	5332	304	36	DL	906	896
5-8	04.02.03	5.26	0.72	285.7	1125	298	5232	1725	46	DL	1276	1671
5-9	05.02.03	20.83	0.68	86.5	755	127	6813	616	19	11.3	1021	3698
5-10	09.03.03	12.50	0.62	96.9	594	254	4331	674	41	DL	740	1005
5-11	10.03.03	20.83	2.06	71.5	526	310	5418	142	57	35.5	1250	1729
5-12	11.03.03	20.83	0.62	139.4	708	646	9129	241	113	DL	1792	2615
5-13	12.03.03	DL	0.50	76.3	411	226	4505	255	37	6.0	427	1245
5-14	13.03.03	12.50	0.39	64.0	286	238	4049	115	44	DL	708	1526
5-15	14.03.03	16.67	0.33	49.0	995	290	4769	418	37	DL	1990	1464
5-16	15.03.03	8.33	0.29	21.4	396	288	5785	123	60	0.2	1052	1495
5-17	16.03.03	16.67	0.41	52.7	354	76	4909	365	DL	0.5	1021	1552
5-18	17.03.03	16.67	0.33	17.6	146	258	4141	108	39	0.4	708	1057
5-19	18.03.03	20.83	DL	30.6	255	385	4597	242	34	0.3	688	1490
5-20	19.03.03	12.50	9.88	85.6	495	294	4430	726	37	2.2	990	1531
6-1	22.04.03	70.83	0.17	88.9	1922	1276	8993	423	41	25.6	4010	5526
6-2	23.04.03	20.83	DL	129.6	1203	767	8170	436	60	DL	3333	1010
6-3	24.04.03	29.17	DL	128.8	833	770	9090	156	99	25.7	3750	3005
6-4	25.04.03	29.17	DL	88.6	865	920	11889	433	84	117.7	6146	4344
6-5	26.04.03	16.67	DL	310.8	911	721	10677	439	86	12.5	5469	3708
6-6	27.04.03	33.33	0.35	61.5	1208	7188	7448	121	82	371.9	5573	15797
6-7	28.04.03	37.50	0.13	89.7	1255	931	9549	474	108	122.9	5729	5047
6-8	29.04.03	8.33	0.43	88.6	2057	5848	6378	520	59	76.6	7031	12724
6-9	30.04.03	37.50	0.21	66.5	1714	492	8576	268	76	37.8	3490	4573
6-10	01.05.03	37.50	0.06	93.3	1203	563	6674	504	95	43.3	3021	14063
6-11	02.05.03	37.50	DL	92.2	995	734	10194	409	98	68.8	4063	4182
6-12	03.05.03	33.33	1.21	68.9	1078	746	8542	181	88	206.3	3438	5958
6-13	08.05.03	12.50	5.20	230.7	771	491	12003	280	47	3.9	3698	2755
6-14	09.05.03	12.50	0.18	93.5	823	641	11934	355	67	30.5	3646	2938

PM _{2.5-10}												
Genel			Kimyasal									
Örnek Kodu	Tarih	Toz Ağırlığı	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
		[mg/m ³]	[ng/m ³]									
6-15	10.05.03	29.17	DL	75.5	594	432	8201	184	45	24.0	5521	2219
6-16	11.05.03	33.33	DL	98.7	719	309	8632	248	26	15.3	6823	2458
6-17	12.05.03	29.17	DL	51.2	958	722	9819	241	113	24.9	8958	3974
6-18	13.05.03	25.00	0.00	112.5	1099	415	9510	967	51	6.3	5781	4307
6-19	14.05.03	25.00	0.20	128.1	1521	608	10382	990	95	299.9	5313	2604
6-20	15.05.03	37.50	0.08	74.9	1255	659	11028	368	92	490.6	6927	3943
7-1	21.06.03	DL	0.14	73.3	495	321	5756	302	27	38.0	2188	2505
7-2	22.06.03	8.33	0.29	86.9	766	552	7594	277	100	71.4	1927	3448
7-3	23.06.03	25.00	0.11	42.1	870	554	6998	84	73	32.3	2031	3557
7-4	24.06.03	16.67	2.34	72.6	1078	442	2323	357	27	328.1	1021	677
7-5	25.06.03	187.50	1.51	82.6	734	489	10324	221	83	11.3	3646	2917
7-6	26.06.03	41.67	0.08	52.6	786	720	9859	226	120	25.3	4323	3917
7-7	27.06.03	41.67	0.72	53.7	1542	1130	8719	262	119	74.0	4115	8469
7-8	28.06.03	100.00	1.43	70.0	2464	1443	16181	280	78	146.4	9635	12927
7-9	29.06.03	87.50	1.87	77.6	2630	DL	11788	249	286	194.3	5885	15406
7-10	30.06.03	50.00	1.01	48.7	1568	1215	14215	187	101	49.0	5781	7073
7-11	09.07.03	12.50	0.11	42.8	573	307	7896	127	35	0.5	3698	1656
7-12	10.07.03	20.83	0.82	49.2	708	439	8531	159	40	12.0	2917	2797
7-13	11.07.03	DL	0.30	105.5	703	249	12934	901	42	DL	2552	880
7-14	12.07.03	25.00	1.60	79.7	938	533	6167	408	70	15.2	3802	3375
7-15	13.07.03	16.67	0.11	97.9	776	327	4250	510	24	18.6	667	2104
7-16	14.07.03	12.50	0.39	63.0	604	389	7670	234	52	29.0	833	2031
7-17	15.07.03	16.67	0.34	43.5	698	476	11597	154	57	27.7	6563	2604
7-18	16.07.03	4.17	DL	69.7	536	247	6753	305	50	DL	3073	729
7-19	17.07.03	25.00	0.56	54.5	1089	610	8038	285	38	72.9	6563	5323
7-20	18.07.03	DL	0.56	54.5	1089	610	8038	285	38	72.9	0	2604

PM ₁₀												
Genel			Kimyasal									
Örnek Kodu	Tarih	Toz Ağırlığı	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
		[mg/m ³]	[ng/m ³]									
2-1	23.07.02	29.17	0.79	57.2	869	394	4686	465	51	50.1	3828	2636
2-2	25.07.02	33.33	2.01	69.1	1276	456	5054	542	60	125.8	2260	2843
2-3	29.07.02	43.75	0.24	30.5	1005	612	5964	150	114	170.4	2828	3281
2-4	31.07.02	19.44	1.46	66.2	962	720	12539	361	96	1.4	2708	2793
2-5	02.08.02	54.17	1.64	60.6	558	535	5318	419	54	19.2	1464	3227
2-6	04.08.02	33.33	0.90	58.4	1046	719	9393	415	158	158.5	2646	3092
2-7	06.08.02	6.25	1.32	211.9	727	1190	5892	732	55	4.3	3406	2838
2-8	08.08.02	36.11	1.13	157.3	1524	872	12950	1028	220	159.4	2410	3427
2-9	10.08.02	20.83	0.26	35.8	797	1776	6735	251	90	75.7	2063	4293
2-10	12.08.02	18.75	1.58	175.0	1414	654	6329	869	41	6.1	2568	3284
2-11	14.08.02	58.33	1.13	134.1	507	510	6879	463	108	64.5	1792	1900
2-12	10.09.02	12.50	2.02	115.5	1728	1814	20777	418	183	69.2	6844	4619
2-13	12.09.02	20.83	1.42	166.8	872	440	8509	564	81	52.3	4542	2350
2-14	13.09.02	14.58	0.24	572.5	684	429	6779	253	84	28.5	2427	1799
2-15	03.10.02	8.33	0.40	100.2	845	773	14456	294	158	22.3	4052	3465
2-16	04.10.02	8.33	3.27	209.1	2695	316	18137	389	20	1.1	2854	5001
2-17	05.10.02	25.00	0.61	629.1	985	1390	10605	569	113	66.3	2781	6179
2-18	06.10.02	4.17	2.08	249.3	3122	373	11186	632	64	0.0	3813	2378
2-19	07.10.02	0.00	16.47	283.8	1776	730	9445	1325	165	78.8	2865	4598
2-20	08.10.02	29.17	1.03	203.6	1352	894	13783	608	313	403.8	3198	4431
3-1	15.11.02	87.50	0.00	148.9	603	719	20061	587	159	10.2	1833	8250
3-2	18.11.02	45.83	0.25	146.1	5302	1615	13237	693	59	1.9	2927	4758
3-3	21.11.02	54.17	1.10	159.3	1338	484	6631	731	88	125.2	3448	3729
3-4	22.11.02	83.33	3.36	655.6	1172	3237	9255	945	98	58.5	3833	6632
3-5	23.11.02	104.17	3.65	275.6	1921	664	11250	1475	190	230.4	2688	3659
3-6	24.11.02	66.67	0.00	130.1	1424	602	8038	945	153	386.7	1646	5155
3-7	25.11.02	0.00	0.73	71.1	463	239	4902	331	19	1.1	594	10065
4-1	12.12.02	45.83	0.04	184.5	1046	343	8004	1246	61	1.0	1292	1537
4-2	13.12.02	75.00	4.21	45.7	600	367	7747	298	73	0.0	1052	1922
4-3	14.12.02	104.55	0.95	133.4	1302	308	4938	821	120	110.8	568	2797
4-4	15.12.02	83.33	0.77	208.0	759	1180	8031	607	91	0.0	1698	3191
4-5	16.12.02	83.33	1.54	177.3	8394	2951	10163	571	119	53.3	2042	6057
4-6	17.12.02	104.17	3.93	250.6	972	809	17684	772	153	29.5	2500	3625

PM ₁₀												
Genel			Kimyasal									
Örnek Kodu	Tarih	Toz Ağırlığı	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
		[mg/m ³]	[ng/m ³]									
4-7	18.12.02	104.17	0.69	191.0	1115	560	9619	714	144	38.5	1490	3177
5-1	28.01.03	8.33	0.57	83.6	388	322	8201	218	68	0.0	1406	1365
5-2	29.01.03	29.17	2.80	84.6	681	322	7620	433	42	19.0	1094	2878
5-3	30.01.03	25.00	0.12	91.8	645	611	10996	267	76	260.8	1625	2871
5-4	31.01.03	20.83	0.12	1188.4	883	765	12669	540	92	26.9	3167	6569
5-5	01.02.03	20.83	0.35	126.8	842	786	13355	676	134	12.7	2031	2938
5-6	02.02.03	16.67	0.00	337.7	504	1959	9972	335	92	69.1	1198	4188
5-7	03.02.03	29.17	0.46	147.1	694	379	10467	481	67	0.0	1896	1734
5-8	04.02.03	10.53	5.11	1695.6	3027	546	12138	2546	109	100.0	2737	3107
5-9	05.02.03	50.00	2.89	105.5	1662	296	13890	761	136	269.2	1927	4544
5-10	09.03.03	29.17	2.13	122.3	772	373	8129	832	213	33.6	1240	2082
5-11	10.03.03	41.67	9.75	120.2	730	539	13447	282	162	86.7	2313	3196
5-12	11.03.03	45.83	2.15	203.3	882	797	13032	379	219	46.0	2271	3908
5-13	12.03.03	20.83	1.15	129.4	772	293	9168	566	97	58.9	948	2651
5-14	13.03.03	37.50	0.96	113.0	629	385	8338	357	109	22.3	1354	2464
5-15	14.03.03	33.33	0.48	117.3	1394	466	11034	922	89	264.3	2448	3282
5-16	15.03.03	8.33	1.48	164.4	930	416	9907	859	94	0.2	1542	2089
5-17	16.03.03	29.17	3.41	128.4	793	187	8459	894	48	0.5	1635	2273
5-18	17.03.03	37.50	3.33	73.5	814	402	7434	389	110	21.4	1010	2390
5-19	18.03.03	37.50	0.00	183.2	620	569	9639	779	80	7.1	1510	2627
5-20	19.03.03	29.17	10.03	329.3	1072	499	9356	983	94	7.7	1844	2616
6-1	22.04.03	104.17	1.34	139.6	2347	1671	15164	611	161	97.2	5750	7682
6-2	23.04.03	41.67	1.34	256.6	5001	1155	13215	681	112	1445.8	6285	3285
6-3	24.04.03	54.17	0.90	260.0	1410	976	13609	646	152	38.9	6319	4356
6-4	25.04.03	54.17	1.31	180.6	1203	1084	17845	614	121	139.0	9227	10056
6-5	26.04.03	37.50	3.04	408.9	1298	985	14661	562	115	761.2	8160	6911
6-6	27.04.03	58.33	5.00	180.8	1690	7452	11754	436	191	430.9	6135	19056
6-7	28.04.03	79.17	2.10	136.8	1880	1045	24670	698	210	237.5	13411	5941
6-8	29.04.03	8.33	5.03	154.3	3012	7195	52191	821	148	133.4	23438	24391
6-9	30.04.03	54.17	3.26	160.1	2699	2414	61076	667	169	169.3	15469	18653
6-10	01.05.03	58.33	3.15	146.7	1641	2003	19094	714	205	160.1	5885	17882
6-11	02.05.03	54.17	1.24	137.6	1602	2471	29028	540	249	219.4	6970	7355
6-12	03.05.03	45.83	6.51	160.1	2085	886	20243	512	227	404.2	7083	7408
6-13	08.05.03	25.00	8.38	296.8	1192	654	26295	486	74	9.7	4385	5129
6-14	09.05.03	37.50	2.03	217.6	1322	820	19399	979	87	194.6	4240	4539

PM ₁₀												
Genel			Kimyasal									
Örnek Kodu	Tarih	Toz Ağırlığı	Cd	Cr	Fe	Mg	Na	Ni	Pb	Zn	Al	Ca
		[mg/m ³]	[ng/m ³]									
6-15	10.05.03	50.00	2.10	328.2	1323	669	17267	706	71	81.3	5896	4176
6-16	11.05.03	58.33	2.20	159.1	1374	459	17330	1071	51	31.0	8240	3691
6-17	12.05.03	54.17	1.99	122.4	1201	909	17194	684	151	31.3	10010	4898
6-18	13.05.03	45.83	0.71	203.1	1390	577	61672	1330	88	8.4	6219	5097
6-19	14.05.03	37.50	6.48	261.6	1946	846	10609	1461	141	301.7	6417	3950
6-20	15.05.03	41.67	3.29	99.0	1602	910	11285	516	145	502.2	8924	5115
7-1	21.06.03	0.00	1.52	196.6	794	574	10196	514	65	38.0	2594	3690
7-2	22.06.03	20.83	2.36	222.2	1156	794	11286	582	207	117.8	2219	4793
7-3	23.06.03	29.17	2.87	164.9	1560	667	12044	478	89	32.3	3550	5337
7-4	24.06.03	41.67	5.14	160.6	1438	712	7068	602	83	358.9	2323	2279
7-5	25.06.03	195.83	4.54	120.5	1103	1142	14870	417	283	68.5	7986	5395
7-6	26.06.03	58.33	3.03	84.4	1568	875	27833	1061	120	39.2	5625	6260
7-7	27.06.03	75.00	5.94	130.9	2253	1313	29698	623	169	180.7	13750	13247
7-8	28.06.03	141.67	8.44	125.8	3379	2709	36969	517	276	403.7	15712	15440
7-9	29.06.03	125.00	11.88	206.9	3872	201	27698	1802	493	475.1	11267	17715
7-10	30.06.03	91.67	6.58	100.2	2306	1364	60837	403	230	133.2	31215	8996
7-11	09.07.03	25.00	1.19	85.2	1072	1340	26955	314	77	24.4	13594	5636
7-12	10.07.03	41.67	1.78	96.4	1563	1149	53865	363	247	72.3	23620	7897
7-13	11.07.03	4.17	0.30	166.6	1389	926	55760	1180	172	80.3	20608	8936
7-14	12.07.03	41.67	2.03	189.6	2044	763	42913	1423	152	64.3	21076	7255
7-15	13.07.03	29.17	0.84	193.9	1718	797	37330	2846	217	31.7	15163	4378
7-16	14.07.03	20.83	3.33	164.7	1737	1553	38503	681	203	109.3	13073	5560
7-17	15.07.03	20.83	1.20	145.8	1835	1299	33472	996	110	118.4	17847	6710
7-18	16.07.03	4.17	1.10	114.8	1049	2359	31993	550	68	14.1	15920	5122
7-19	17.07.03	50.00	2.07	121.6	1570	708	28691	801	98	195.7	13984	6534
7-20	18.07.03	0.00	0.56	139.1	1653	1261	26660	1016	60	72.9	7509	3976

EK 2. Fotoğraflar

Fotoğraf 1. Örnekleme bölgesi ve örnekleyicinin konumu



Fotoğraf 2. Örnekleme bölgesi panorama



Fotoğraf 3. Hava kirliliği laboratuvarı



Fotoğraf 4. Filtrelerin tartılma işleminden bir görüntü

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 29/08/1974

Doğum yeri İskilip-Çorum

Lise Abdurrahman Paşa Lisesi, Kastamonu

Lisans Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Fatih Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Doktora Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

Araştırma Asistanı, Fatih Üniversitesi 1997-1998

Eğitim Asistanı, Fatih Üniversitesi 1998-2000

Öğretim Görevlisi, Fatih Üniversitesi 2000-2005