



**ÇORLU İLÇESİ KENT
ATMOSFERİNDE
PARTİKÜL MADDELERİN
METALİK
KOMPOZİSYONUNUN
VE
KAYNAK KATKILARININ
BELİRLENMESİ**

Merve FİÇİCİ

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Lokman Hakan TECER

2017

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇORLU İLÇESİ KENT ATMOSFERİNDE PARTİKÜL MADDELERİN
METALİK KOMPOZİSYONUNUN VE KAYNAK KATKILARININ
BELİRLENMESİ**

Merve FIÇICI

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. LOKMAN HAKAN TECER

TEKİRDAĞ-2017

Her hakkı saklıdır

Bu tez TÜBİTAK tarafından 114Y576 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Prof. Dr. Lokman Hakan TECER danışmanlığında, Merve FIÇICI tarafından hazırlanan “Çorlu İlçesi Kent Atmosferinde Partikül Maddelerin Metalik Kompozisyonunun ve Kaynak Katkılarının Belirlenmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Lokman Hakan TECER

İmza :

Üye : Prof. Dr. Alper ÜNAL

İmza :

Üye : Doç. Dr. Asude HANEDAR

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇORLU İLÇESİ KENT ATMOSFERİNDE PARTİKÜL MADDELERİN METALİK KOMPOZİSYONUNUN VE KAYNAK KATKILARININ BELİRLENMESİ

Merve FİÇİCİ

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Lokman Hakan TECER

Bu çalışmada, 05.06.2015 – 06.06.2016 tarihleri arasında Tekirdağ iline bağlı Çorlu ilçesinde atmosferik partikül maddelerin kütle konsantrasyonları, metalik kompozisyonu ve kaynak katkıları belirlenmiştir. Çalışma bölgesi kentsel bir istasyonu temsil etmektedir. $PM_{2,5}$ konsantrasyonu ortalaması $23,35 \pm 13,42 \mu g/m^3$ olarak bulunmuştur. Bu değer Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nun belirlediği yıllık $10 \mu g/m^3$ limit değerinin üzerindedir. PM_{10} konsantrasyonu ortalaması ise $37,05 \pm 26,57 \mu g/m^3$ 'tür. Bu değer ise Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde belirlenen yıllık sınır değer olan $40 \mu g/m^3$ 'ten küçüktür. PM tüm fraksiyonlarında kış dönemi konsantrasyonları yaz dönemine göre daha yüksek ölçülmüştür. Partikül örneklerinin element içerikleri Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrofotometresi (ICP - MS /MS) ile analiz edilmiştir. Element konsantrasyonları zamansal olarak, meteorolojik faktörlerle ve emisyon değişimleriyle ilişkilendirilmiştir. Her iki partikül fraksiyonundaki kirletici kaynakları Pozitif Matris Faktörizasyon (PMF) kullanılarak modellenmiştir. Kaba ve ince partiküllerin kaynakları için 4 faktör belirlenmiştir. Faktörlerin $PM_{2,5}$ fraksiyonuna kütleli katkıları; %45 Toprak, %20 Biyokütle ve Kömür Yanması, %18 Sanayi ve Metalurji, %17 Yol Tozu'dur. $PM_{2,5-10}$ fraksiyonuna kaynakların katkıları ise; %30 Toprak, %25 Yakma, %24 Trafik – Yol, %21 Endüstri'dir şeklinde olmuştur.

Anahtar kelimeler: Atmosferik partikül madde, kimyasal kompozisyon, kaynak belirleme, PMF, Çorlu

2017, 117 Sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF METALLIC COMPOSITION AND SOURCE CONTRIBUTION OF PARTICULATE MATERIALS IN THE URBAN ATMOSPHERE, CORLU

Merve FIÇICI

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Lokman Hakan TECER

In this study, the mass concentrations, the metallic composition and source contributions of atmospheric particulate materials were determined in the province of Çorlu in Tekirdağ between 05.06.2015 - 06.06.2016. The study area represents an urban station. The average concentration of PM_{2.5} was $23,35 \pm 13,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$. This value is above the annual limit of $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ determined by the World Health Organization (WHO). The average concentration of PM₁₀ is $37,05 \pm 26,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$. This value is smaller than the annual limit value of $40 \mu\text{g} / \text{m}^3$, which is determined in the Air Quality Assessment and Management Regulation. In all fraction of PM winter season concentrations were higher than summer season concentrations. The elemental composition of the particle samples were analyzed by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS / MS). Element concentrations have been correlated temporally with meteorological factors and emission changes. The pollutant sources in both particle fractions are modeled using Positive Matrix Factorization (PMF). For sources of PM, four factors have been identified for coarse and fine particles. Mass additions of PM_{2.5} fraction of the factors; 45% Soil, 20% Biomass and Coal Burning, 18% Industry and Metallurgy, 17% Road Tozu. The contributions of sources for PM_{2.5} - 10 fraction are; 30% Soil, 25% Incineration, 24% Traffic - Road, 21% Industry.

Keywords: Atmospheric Particulate matter, chemical composition, source identification, PMF, Corlu

2017, 117 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	2
2.1. Atmosferik Partikül Madde Tanımı	2
2.2. Atmosferik Partikül Madde Özellikleri	4
2.2.1. Atmosferik Partikül Madde Fiziksel Özellikleri	4
2.2.2. Atmosferik Partikül Madde Kimyasal Özellikleri	7
2.3. Atmosferik Partikül Madde Kaynakları	12
2.3.1. Doğal Partikül Madde Kaynakları	14
2.3.2. Antropojenik Partikül Madde Kaynakları	16
2.4. Partikül Maddenin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri	25
2.4.1. Partikül Maddenin Çevre Üzerine Etkileri	25
2.4.2. Partikül Maddenin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri	26
2.5. Partikül Madde Örneklemeye, Ölçüm ve Kaynak Belirleme Yöntemleri	28
2.5.1. Partikül Madde Örneklemeye	28
2.5.2. Partikül Madde Ölçüm ve Analiz Yöntemleri	34
2.5.3. Partikül Madde Kaynak Belirleme Yöntemleri	39
2.6. Partikül Maddenin Emisyon ve Sınır Değerleri	42
3. MATERYAL VE YÖNTEM	43
3.1. Çorlu İlçesi Genel Tanıtımı ve Örneklemeye Bölgesi	43
3.1.1. Nüfus	46
3.1.2. Meteoroloji ve İklim Yapısı	47
3.1.3. Toprak ve Tarım	50
3.1.4. Akarsu ve Yeraltı Suları	50

3.2. Örnekleyici Ekipman.....	51
3.3. Elementel Analiz	51
3.4. İstatistiksel Analizler ve PM Kaynak Belirleme Analizleri	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	52
4.1. PM Kütle Konsantrasyonları	52
4.1.1. PM ve Meteorolojik Faktörler için Tanımlayıcı İstatistiksel Analizler.....	52
4.1.2. PM Günlük, Mevsimsel ve Aylık Değişimi	54
4.1.3. PM Kütle konsantrasyonlarının Literatür ile Karşılaştırılması.....	59
4.2. Elementel Analiz ve CPF	60
4.2.1. Elementlerin Tanımlayıcı İstatistiksel Analizleri	60
4.2.2. Elementlerin Frekans Dağılımları	62
4.2.3. PM Konsantrasyonlarının Literatür ile Karşılaştırılması.....	70
4.2.4. Elementlerin Meteorolojik Parametrelerle İlişkileri.....	73
4.2.5. Elementlerin Zamansal Değişimi	82
4.3. PM Kaynak Belirleme Analizleri	88
4.3.1. Zenginleşme Faktörü (ZF).....	88
4.3.2. PMF (Positive Matrix Factorization).....	89
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	104
6. KAYNAKLAR.....	106
7. ÖZGEÇMİŞ	106

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1. İkincil aerosol ölçül gazları ve oluşturdıkları PM bileşeni.....	3
Çizelge 2. 2. Çeşitli emisyon kaynaklarının karakteristik elementleri	11
Çizelge 2. 3. Çeşitli emisyon kaynaklarının karakteristik elementleri	12
Çizelge 2. 4. Partikül madde global emisyon tahmini	13
Çizelge 2. 5. Endüstriyel süreçlerin her iz metal emisyonuna ve ana kaynaklarına katkısı	20
Çizelge 2. 6. Çeşitli endüstri ve proseslerde PM emisyonları	21
Çizelge 2. 7. Demir çelik üretim proseslerinde oluşan emisyonlar	23
Çizelge 2. 8. Elyaf filtre çeşitleri özellikleri.....	31
Çizelge 2. 9. Partikül maddelerin fiziksel özelliklerinin analizinde kullanılan cihazlar.	37
Çizelge 2. 10. HKKY 'nde PM 'ler için verilen sınır değerler.....	42
Çizelge 3. 1. Çorlu çevresinde bulunan OSB'lerin faaliyetleri ve örnekleme bölgesine olan Uzaklıkları.....	45
Çizelge 3. 2. Çorlu sıcaklık istatistikleri, çalışma dönemi (05.06.2015- 06.06.2016) ve kış dönemi (01.11.2015- 30.04.2016).....	49
Çizelge 4. 1. Partikül madde ve meteorolojik faktörler için tanımlayıcı istatistikler, Çalışma dönemi	53
Çizelge 4. 2. PM tanımlayıcı istatistikleri, aylık değişimler	56
Çizelge 4. 3. PM tanımlayıcı istatistikleri, YD ve KD	57
Çizelge 4. 4. Çeşitli bölgelerde ölçülen PM konsantrasyonları.....	59
Çizelge 4. 5. PM _{2,5} ağır metal içeriği tanımlayıcı istatistikleri, Çalışma Dönemi, ng/m ³	60
Çizelge 4. 6. PM _{2,5} ağır metal içeriği tanımlayıcı istatistikleri, Kış Dönemi(KD) – Yaz Dönem (YD)	61
Çizelge 4. 7. PM _{coarse} ağır metal içeriği tanımlayıcı istatistikleri, Kış Dönemi(YD) – Yaz Dönemi (SD)	62
Çizelge 4. 8. Çorlu ilçesi – Türkiye ve Dünya'da ölçülen element konsantrasyonları	72

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2. 1. Atmosferik aerosol kompozisyonunun idealize edilmiş gösterimi	2
Şekil 2. 2. Partikül madde örneği	4
Şekil 2. 3. Atmosferik partikül madde boyut dağılımı.	6
Şekil 2. 4. AB ülkeleri için sektörler göre PM _{2,5} ve PM ₁₀ emisyonları, 2003 – 2012	17
Şekil 2. 5. Benzinli ve dizel motorlardan kaynaklanan PM'lerin TEM yapıları (a) benzinli araçlar; (b) Dizel araçlar	18
Şekil 2. 6. Kirleticilerin solunum yollarında ilerleme özellikleri	27
Şekil 2. 7. Filtre tutucusu.....	31
Şekil 2. 8. Dichotomous örnekleyicisi çalışma prensibi.....	33
Şekil 2. 9. β ışını absorpsiyon yöntemi akış şeması	35
Şekil 3. 1. Çorlu ilçe sınırları.....	43
Şekil 3. 2.Çorlu çevresinde bulunan sanayiler.	45
Şekil 3. 3.Çorlu yoğun caddeleri ve yerleşim.....	46
Şekil 3. 4. 2007- 2016 yılı Çorlu ilçesi nüfus artış grafiği	47
Şekil 3. 5. Çalışma Dönemi ve Kış Dönemi rüzgar gülleri	48
Şekil 3. 6. Çorlu - Günlük ortalama rüzgar hızı, Çalışma Dönemi	48
Şekil 3. 7. Çorlu Çalışma Dönemi sıcaklık değişimleri	49
Şekil 3. 8. Çorlu Çalışma Dönemi basınç değişimleri.....	49
Şekil 3. 9. Çorlu Çalışma Dönemi nem değişimleri.....	50
Şekil 4. 1. Çorlu günlük PM konsantrasyonları – sıcaklık, Çalışma Dönemi.....	53
Şekil 4. 2. Çorlu günlük PM konsantrasyonları – basınç, Çalışma Dönemi.....	53
Şekil 4. 3. Çorlu günlük PM konsantrasyonları – rüzgar hızı, Çalışma Dönemi.....	54
Şekil 4. 4. Çorlu günlük PM konsantrasyonları – nem, Çalışma Dönemi	54
Şekil 4. 5. Çalışma dönemi (05.06.2015 – 06.06.2016) günlük PM değerleri, Çorlu	55
Şekil 4. 6. PM konsantrasyonları günlük değişimleri, kış dönemi	57
Şekil 4. 7. PM konsantrasyonları günlük değişimleri, yaz dönemi	58
Şekil 4. 8. PM _{2,5} element içeriği frekans dağılım grafiği	66
Şekil 4. 9. PM _{coarse} element içeriği frekans dağılım grafiği.....	70
Şekil 4. 10. PM fraksiyonlarındaki elementler ve sıcaklığın ortalama konsantrasyonları	76
Şekil 4. 11. PM fraksiyonlarındaki elementler ve kirlilik gülleri.....	81
Şekil 4. 12. Elementlerin günlük değişimi, Çalışma Dönemi	85
Şekil 4. 13. Elementlerin Hafta içi - Hafta sonu değişimleri, PM _{2,5}	86
Şekil 4. 14. Elementlerin Hafta içi - Hafta sonu değişimleri, PM _{2,5-10}	86
Şekil 4. 15. Elementlerin yaz ve kış dönemi değişimleri, PM _{2,5}	87
Şekil 4. 16. Elementlerin yaz ve kış dönemi değişimleri, PM _{2,5-10}	87
Şekil 4. 17. Karasal zenginleşme faktörü.....	88
Şekil 4. 18. Denizsel zenginleşme faktörü	88
Şekil 4. 19. Kaynakların PM _{2,5} kütle konsantrasyonlarına katkıları.....	90
Şekil 4. 20. Elementlerin kaynak katkıları	90

Şekil 4. 21. Faktör 1 (Biyokütle ve Kömür Yanması) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği	92
Şekil 4. 22. Faktör 2 (Sanayi ve Metalurji) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği	93
Şekil 4. 23. Faktör 3 (Toprak) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği	94
Şekil 4. 24. Faktör 4 (Yol tozu ve Trafik) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği	96
Şekil 4. 25. Kaynakların PM _{2,5-10} kütle konsantrasyonlarına katkıları	97
Şekil 4. 26. Elementlerin kaynak katkıları, PM _{2,5-10}	97
Şekil 4. 27. Faktör 1 (Yakma) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği – PM _{2,5-10}	99
Şekil 4. 28. Faktör 2 (Toprak) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği – PM _{2,5-10}	100
Şekil 4. 29. Faktör 3 (Trafik/yol) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği – PM _{2,5-10}	101
Şekil 4. 30. Faktör 4 (Endüstri) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği – PM _{2,5-10}	103



SİMGELER DİZİNİ

Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
Ba	: Baryum
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
K	: Potasyum
Li	: Lityum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
Se	: Selenyum
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko
E	: Doğu
S	: Güney
N	: Kuzey
W	: Batı
NE	: Kuzey Doğu
NW	: Kuzey Batı
SE	: Güney Doğu
SW	: Güney Batı

KISALTMALAR

PM	: Partikül Madde
PM _{2,5}	: İnce fraksiyonlu partikül madde
PM _{2,5-10}	: Kaba fraksiyonlu partikül madde
PM ₁₀	: Boyutu 10 mikrogramdan büyük olan partikül maddeler
XRF	: X-ray Fluorescence
NAA	: Nötron Aktivasyon Analizi
PIXE	: Particle Induced X-ray Emission
AAS	: Atomic Absorption Spectrometry
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
CMB	: Kimyasal kütle dengesi
PMF	: Pozitif matriks faktörler
PCA	: Temel bileşen analizi
UNMIX	: Sınır Analizi
Çalışma Dönemi	: ÇD / 05.06.2015 – 06.06.2016
Kış Dönemi	: KD / 01.11.2015 – 30.04.2016
Yaz Dönemi	: YD

ÖNSÖZ

Öncelikle bu çalışmaya başlamamda beni teşvik eden, çalışmanın her aşamasında bilgi, birikim, deneyim ve desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Lokman Hakan TECER'e,

İstasyonlarda örneklerin toplanmasına ve tartımlarına yardımcı olan Melih TECER, Dilek ÜNSAL, Ercan YERCİ ve Merve ELİBOL'a,

PMF Modelini öğrenmemde yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Güray DOĞAN ve Arş. Gör. Ahmet Mustafa TEPE'ye,

Son olarak her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen ailem ve arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Temmuz, 2017

Merve FİÇİCİ

1. GİRİŞ

Gelişen endüstri, yoğun nüfus artışı ile birlikte önemli bir problem haline gelen hava kirliliği tüm ülkeler için halk sağlığını tehdit eden boyutlara ulaşmıştır. 2000 yılından beri yapılan çoğu araştırmada solunum ve kalp rahatsızlıklarında hastanelere olan başvurulardaki artışlarda aerosollerin yan etkisinin yüksek olduğu rapor edilmektedir (Katsouyanni ve ark, 2011). Bu durum partikül maddelerin spesifik bir konu olarak araştırılmasını beraberinde getirmiştir. Partikül madde üzerine yapılan çalışmaların öncelikli nedeni sağlık üzerine olan etkileridir. Ancak partikül maddelerin görüş mesafesine, dünya iklimine ve asit depolanmasına etkisi göz ardı edilemez. Bu nedenle partikül maddelerin sağlık ve çevre üzerine etkisinde; partikül sayısı, boyutu veya yüzeyi gibi fiziksel özellikleri ve partikülün kimyasal kompozisyonu önemli rol oynar (WHO, 2004) .

PM'nin kimyasal kompozisyonu içeriğindeki Pb, Cd, Zn, Ni, Cu, Al, Fe, Mg, Na, Cr gibi ağır metallerin belirlenmesi işlemidir. Bunun için öncelikle örnekleme noktası belirlenerek burada PM'nin örnekleyici cihazlar (dichotomous gibi) yardımıyla filtre üzerinde toplanması sağlanır. Bu işlemlerden sonra örneklenen partiküller için elementel analiz yöntemlerinden (XRF, NAA, PIXE, AAS, ICP-MS, ICP-AES, IC) birisi kullanılarak partikülün kimyasal kompozisyonu ortaya konur.

Kimyasal kompozisyonu belirlenen partikül maddelerin hangi kaynaktan atmosfere salındığı kaynak belirleme çalışmalarıyla ortaya çıkarılır. Bunun için emisyon envanterleri, kimyasal taşıyım modelleri ve reseptör model yöntemleri kullanılır. Reseptör modeller partikülün fiziksel ve kimyasal özelliklerini kullanarak kaynak katkılarının belirlenmesine olanak sağlar.

Bu çalışmada, özellikle 2008 yılından sonra çevresindeki fabrikaların ve OSB'lerin artmasıyla, ayrıca İstanbul ve batı sınırına yakın olması gibi etkenlerle, hızlı ve düzensiz nüfus artışıyla dikkat çeken Tekirdağ iline bağlı Çorlu ilçesi örnekleme bölgesi olarak seçilmiştir. Kent merkezine bir adet örnekleme cihazı yerleştirilmiş ve bir yıl boyunca (Haziran 2015 – Haziran 2016) partikül madde örnekleri toplanmıştır. Toplanan örneklerin kimyasal analizi ve kütle konsantrasyonları tayini gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak kentsel bir örnekleme bölgesi olarak seçilen Çorlu'da sanayi, kalabalık nüfus ve trafiğin PM konsantrasyonlarına kaynakların katkıları ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

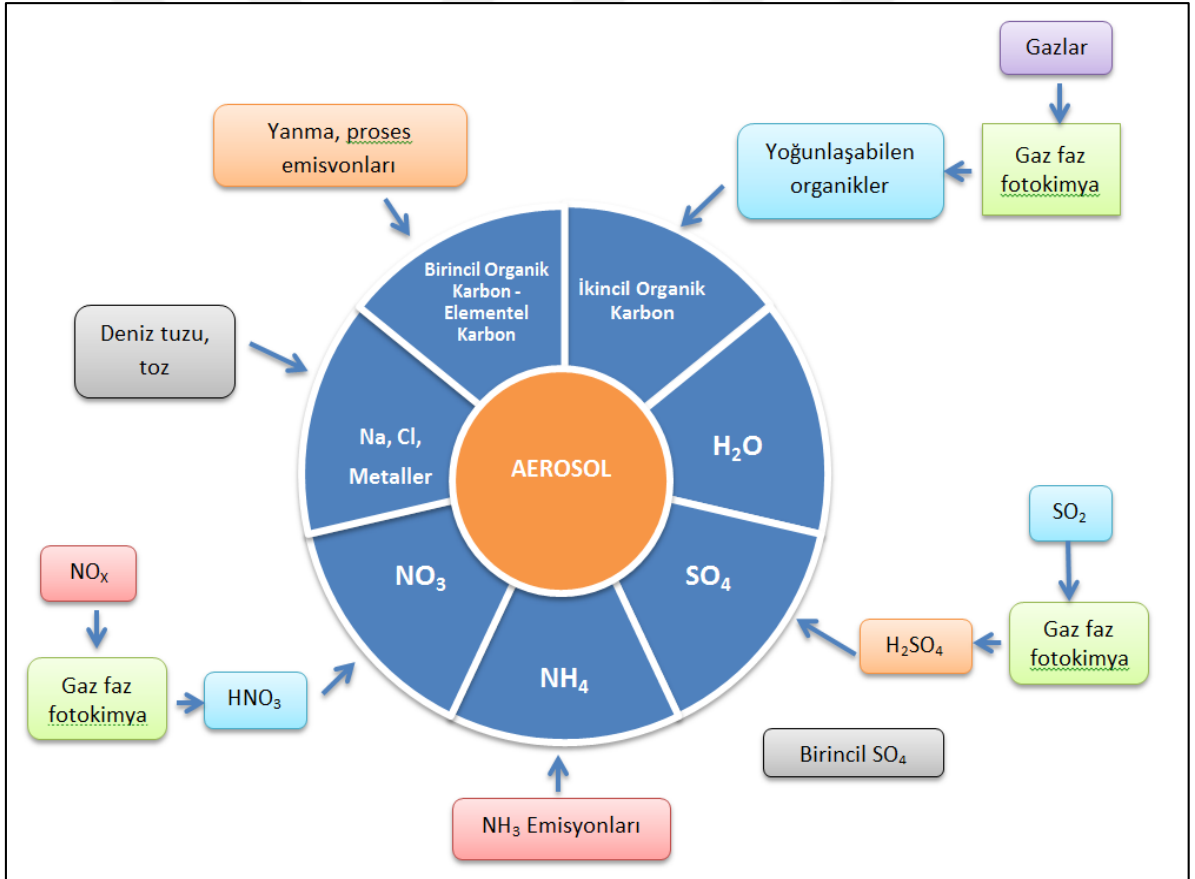
Bu çalışma TÜBİTAK 114Y576 numaralı proje kapsamında finanse edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Atmosferik Partikül Madde Tanımı

Hava kirleticiler atmosferde gaz halinde bulunabildikleri gibi katı ve sıvı parçacıkların bileşimi şeklinde de bulunabilirler. Atmosferdeki bu katı, sıvı parçacıklar genel olarak partikül madde ya da aerosol olarak tanımlanırlar.

Atmosferik partikül madde (PM), kimyasal kompozisyon ve büyüklük açısından çeşitlilik gösteren parçacıkların kompleks bir bütünüdür ve heterojen içeriğe sahiptir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi yerkabuğu elementleri, su, organik bileşikler, suda çözünen asitler (HCl, SO₂, CO₂), iyonlar, gazlar, kirleticiler (amonyak vb.) ve elementler (Pb, Zn, Cu vb.) aerosol kompozisyonunu oluşturur.



Şekil 2. 1. Atmosferik aerosol kompozisyonunun idealize edilmiş gösterimi

Partikül madde oluşumları dikkate alındığında iki sınıfta açıklanabilir;

Birincil partiküller: doğal veya antropojenik kaynaklardan direkt olarak atmosfere salınarak oluşurlar. Tüm dünyada birincil partikül madde üretimi 1.6 milyar ton/yıl'dır (Müezzinoğlu,A., 2005). Polenler, yaprak yüzeylerinden kopan partiküler parçalanma ürünleri, deniz tuzu, toprak tozu (mineral aerosol) ve volkanik tozlar birincil partiküllerin doğal kaynaklarıdır. Isınma işlemleri, çöp yakma fırınları, buhar jeneratörleri, yangınlar, evsel ısınma işlemleri, trafik, tarım ve inşaat aktiviteleri antropojenik kaynaklardır (Tecer L.H.et al,2012).

İkincil partiküller: Doğal ve antropojenik kaynaklardan direkt olarak atmosfere salınmayan ancak atmosferde çeşitli fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan partiküllerdir. Hava kirlenici kaynaklar (motorlu taşıtlar, evsel ısınma, yakma v.b.) atmosfere birincil partikül salınımında etkili olmalarının yanında gaz fazında çeşitli organik ve inorganik bileşenleri de oluştururlar. Öncül gazlar olan NO_x, SO_x, Nitrik asit (HNO₃) ve amonyak (NH₃) gaz fazından kimyasal reaksiyonlarla yaygın ikincil partiküller olan sülfat, nitrat ve amonyak içeren partikül maddelere dönüşür (Çizelge 2.1). İkincil partiküller çoğunlukla ince partikül madde fraksiyonunda bulunur (WHO,2005). Dünyada doğal ve antropojenik kaynaklardan yılda 2.6 milyar ton ikincil partikül madde üretimi gerçekleşmektedir (Müezzinoğlu, A., 2005).

Çizelge 2. 1. İkincil aerosol öncül gazları ve oluşturdukları PM bileşeni

Öncül Gazlar	PM Bileşeni
SO ₂	Sülfat
NO _x	Nitrat
Amonyak	Amonyum
Antropojenik VOC	Organik Karbonlu Çeşitli Bileşikler
Biyojenik VOC	Organik Karbonlu Çeşitli Bileşikler

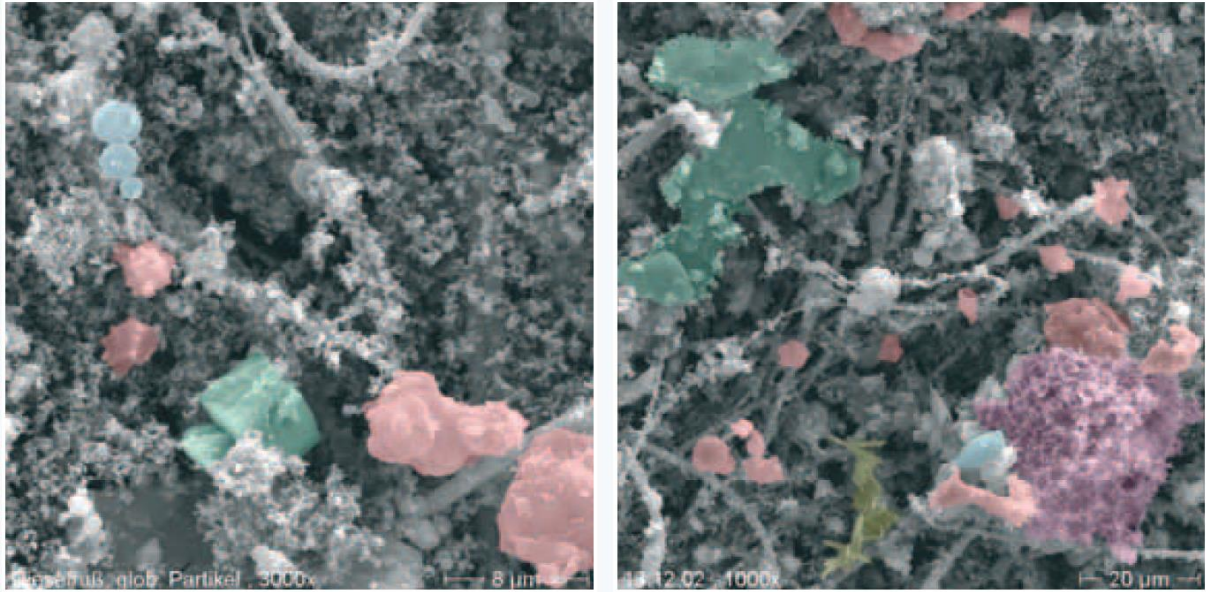
2.2. Atmosferik Partikül Madde Özellikleri

2.2.1. Atmosferik Partikül Madde Fiziksel Özellikleri

2.2.1.1. Partikül madde morfolojisi

Aerosoller oluşum şekillerine göre farklı formlarda ve farklı morfolojik özelliklerde toz, duman, uçucu kül, kurum vb. şeklinde atmosferde bulunabilirler. Aerosollerin morfolojik yapısı optik veya elektron mikroskobu ile incelenebilir. Şekil 2.2’de Avusturya izleme sitesinden alınan 2 farklı partikül madde örneklerinin elektron mikroskobundaki görüntüsü verilmiştir (WHO,2006).

Çoğunlukla düzensiz bir yapıya sahip olan aerosoller kristal, çubuk, küme gibi aldıkları şekillerden ve bölünme niteliklerinden ayırt edilebilir. Örneğin, Uçucu kül partikülleri, camsı küresel şekilli tanecikler, içi boşluksuz veya boşluklu (senosfer), büyük bir küre içinde küçük küreler kümesi içeren yapılar (plerosfer), yüzeyi düzensiz dağılmış şekilsiz boşluklar içeren yapılar, yüzeyinde sıvı damlacıkları bulunan yapılar, yüzeyi kristal ile kaplanmış yapılar, deforme yapılar ve yüzeyinde şekilsiz birikimler olan yapılar gibi değişik şekillerde bulunabilir (Yazıcı, 2004). Ayrıca aerosol boyutu yeterli büyüklükteyse aerosol rengi belirlenebilir. Böylece şeffaf olan mineral tozları şeffaf olmayan kömür parçacıklardan ayrılabilir (Scherbakova K., 2010). Ancak parçacığın kaynağının belirtilmesi gereklidir çünkü kaynak belirlenmedikçe onun kömür tozu ya da başka bir şeffaf olmayan parçacık olduğunu anlamak zordur (Scherbakova K., 2010).



Şekil 2. 2. Partikül madde örneği (WHO,2006)

2.2.1.2. *Partikül madde boyutu ve boyut dağılımı*

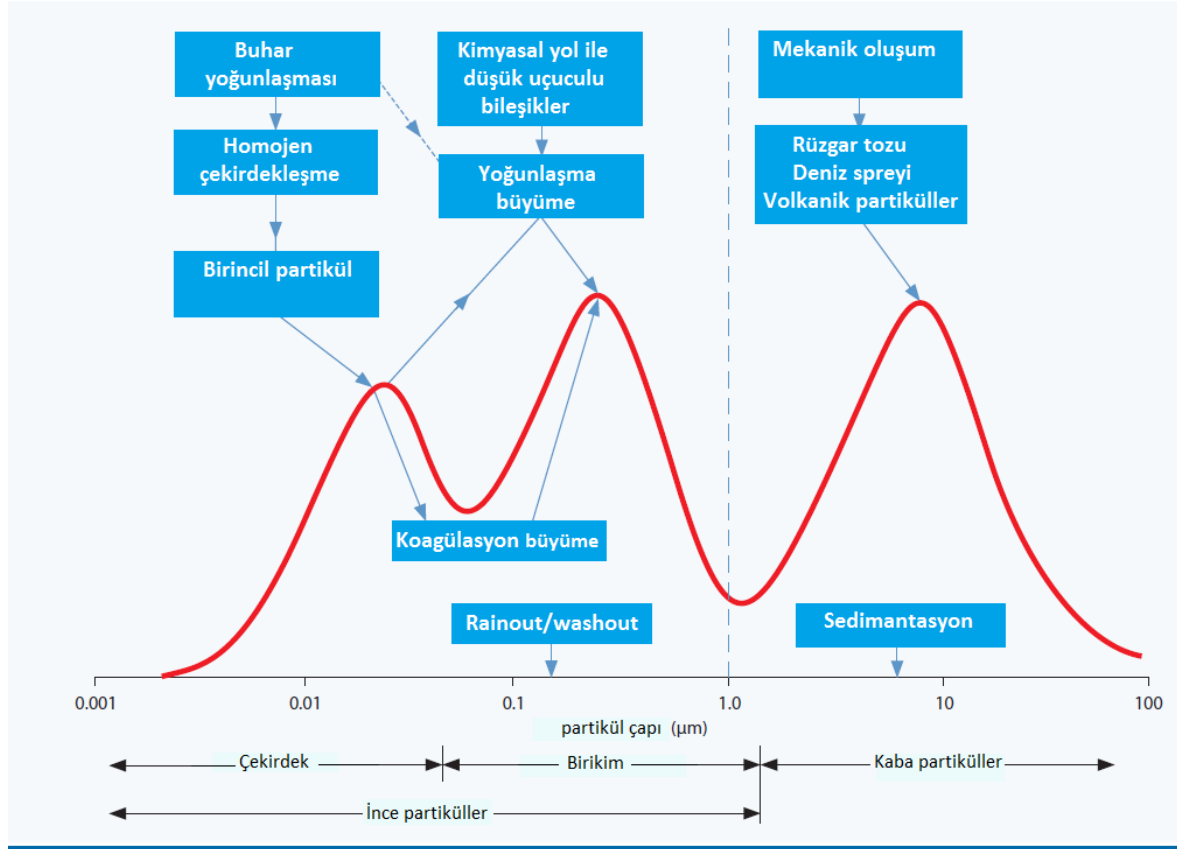
Atmosferik partikül madde, organik ve inorganik maddelerin kompleks bir karışımıdır (Şekil 2.2) ve boyutları çok geniş bir aralığa sahiptir. Partikül madde boyutu özellikle insan sağlığına direkt olarak etkisinden dolayı önemli bir hava kirleticidir. Ancak sağlık etkilerinin yanı sıra; görüş mesafesini azaltma, ışığı saçma ve estetik görünüşü bozma gibi etkileri de vardır. Partikül madde boyutu; partikül maddenin sınıflandırılmasında, kirletici kaynaklarının belirlenmesinde, yer değiştirme, risk belirleme ve atmosferde kalma sürelerinin araştırılmasında önemli bir parametredir.

Doğal ve antropojenik PM'ler atmosferde farklı şekillerde ve yoğunluklarda bulunurlar. Farklı şekil, boyut ve yoğunluğa sahip bu partiküllerin direkt olarak ölçülmesi, boyutlarının belirlenmesi mümkün değildir. Bu yüzden aerodinamik çap terimi kullanılır. Yoğunluğu 1g/cm^3 olan küre şeklindeki bir partikülün çökme hızına eşit partikül çapı “aerodinamik çap” olarak tanımlanır. Partikül maddeler “PM_x” şeklinde gösterime sahiptir ve bu gösterimle X_{µm}'den küçük partikül maddeler ifade edilir.

Partikül maddelerin kaynaklarına ve iriliklerine göre taneciklerin boyut dağılımı ve bunların birbirine dönüşüm eğrileri Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Partikül maddeler 0,01 µm – 100 µm arasında boyut dağılımı gösterirler. Gaz ve buharlaşma yoluyla irileşip partikül sınıfına geçen tanecikler ile; iri tozların parçalanıp ince partikül sınıfına geçmeleri zamanla bu partiküllerin dış havada 3 modda dağılım göstermelerine sebep olmuştur. Kaba mod partiküller genellikle mekanik yollarla (aşınma, yıpranma, rüzgar tozları vb.) üretilirler ve çapları 10 µm aerodinamik çaptan büyüktür. En büyük parçacıklar sabit bir hızla en yakın süre içerisinde çöklerler. Çökme stokes yasası ile kontrol edilir ve partikülün yoğunluk ve çapına bağlıdır. Diğer uçtaki partiküllerde ultrafine olarak adlandırılır ve çekirdek modunu oluşturur. Bu partiküllerin çapları 0,002 µm– 0,1 µm aralığındadır. Brownian hareket ederler. Böylelikle atmosferde uzun süre asılı halde kalırlar. Ultrafine partiküller yanma ve metalurjik işlemlerden kaynaklanırlar. Sabit bir partikül boyutuna sahip olmayıp devamlı birikme eğilimde olan ultrafine partikül maddelerin bu yüzden yüzeyleri oldukça reaktiftir. Selenyum, arsenik, kurşun gibi ağır metallerin birikmesi için yüzey görevi görürler.

Tane boyut dağılımının ortasında yer alan bölge ise 0,1 – 2,0 µm çapındaki birikme modunu oluşturur. Bu mod çekirdek modundaki partiküllerin Brownian hareket ve yoğunlaşma prosesi etkisiyle birleşerek 0,3 – 05 µm boyutuna kadar büyüdükleri moddur. Ultrafine partiküllerin bu büyümesi yüzey yükü ve yüzey gerilimi etkisiyle burada sonlanır.

Ayrıca kaba partiküller ise mekanik etkiler ve havalanma etkisiyle parçalanarak 1 – 2 μm çapına kadar küçülürler. Çapı 2.5 μm 'den büyük olan partiküller kaba partikül, 2.5 μm 'den küçük olanlar ince partikül, 1 μm 'den küçük olanlar ise çok ince partikül olarak ifade edilir. Toplam asılı partikül terimi ise çapı 40-50 μm 'den küçük partiküllerin kütle konsantrasyonunu ifade eder (Seinfeld ve Pandis,1998).



Şekil 2. 3. Atmosferik partikül madde boyut dağılımı, (WHO,2006).

Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar partikül sayı/boyut dağılımlarına odaklanmıştır. 2015 yılında yayınlanan bir çalışmada 4 Avrupa şehrinde (Kopenhag, Leipzig, Londra ve Helsinki) kentsel, kırsal ve yol kenarları baz alınarak her şehir için bu üç karakteristik bölgede partikül sayısı boyut dağılımının zamansal ölçümleri ve istatistiksel model çalışmaları yapılmıştır (Clemens von Bismarck-Osten ve ark., 2015). Yine 2014 yılında yapılan benzer bir çalışmada kentten uzakta olan ve endüstriyel bir ortamdaki 2 farklı noktada aerosol boyut dağılım modelleri ayrıca aerosol kütle konsantrasyonları ortaya çıkarılmıştır (Adewale, ve ark., 2014).

2.2.2. Atmosferik Partikül Madde Kimyasal Özellikleri

Aerosol boyutu kadar aerosolün kimyasal içeriği de insan sağlığını etkileyen bir diğer parametredir. Boyutu küçük olan aerosoller akciğerlerde alveollere kadar inebilirlerken, kimyasal içeriğinde sülfat, nitrat, amonyak bulunduran ikincil aerosoller insanlarda kronik solunum yolu rahatsızlıkları yanında ölümcül vakalara da sebep olmaktadır. Bu gibi etkileri nedeniyle özellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde aerosollerin zamansal ve mekansal dağılımlarının, fiziko-kimyasal yapılarının ve kaynaklarının belirlenmesine yönelik çalışmaların yoğunlaştırılması bir zorunluluk haline gelmiştir.

Atmosferik PM örnekleri tipik olarak tüm dünyada benzer major bileşikleri ihtiva etmekle beraber bulunma oranları bölgeden bölgeye önemli değişiklikler göstermektedir (Harrison and Yin, 2000). Aerosoller kaynaklarına ve oluşum mekanizmalarına bağlı olarak pek çok kimyasal türü farklı konsantrasyonlarda içerebilirler. İnce partiküller; ikincil olarak oluşan aerosoller (gaz-partikül dönüşümü), yanma sonucunda oluşan partikülleri, yoğunlaşan organik ve metal buharlarını içerir. Kaba partiküller; genelde yer kabuğu kaynaklı olup yerden havalanan tozları ve endüstriyel kaynaklı tozlardan meydana gelir. Oluşan kaba ve ince partikül maddelerin içerdikleri bileşenler genel olarak:

- Sülfat
- Nitrat
- Elementel Karbon
- Organik Karbon
- Amonyum
- Klorür
- Biyolojik Maddeler
- Yer Kabuğu Maddeleri
- İz Elementlerdir.

2.2.2.1. Sülfat

Partiküler sülfatın oluşması için iki önemli kimyasal yol vardır. Birincisi gaz fazındaki SO_2 'nin OH^- ile reaksiyonunu içerir (Yi, 1995). Bunun oluşumunda çok etkili olduğu düşünülmektedir çünkü bu aktivite güneş ışığı uygun miktarda olduğu sürece kolay bir şekilde devam etmektedir (Yi, 1995). Kükürt içeren yakıtların yakılması kükürt oksitlerin atmosferde bulunmasının en önemli nedenidir.

Sülfat partiküllerinin oluşmasında diğer önemli reaksiyon su içeren şartlar içerisinde yine gaz formundaki SO_2 'nin ozon ve/veya peroksitler ile olan reaksiyonlarıdır (Mueller ve Bailey 2005). Bu reaksiyon mekanizması solüsyon bir sıvıya veya başka bir deyişle damlalara ihtiyaç duyar. Bu ikinci mekanizma yüksek atmosferik su buharı seviyesinde önem taşımaktadır (Mueller ve Bailey 2005). İkincil sülfatlar çoğunlukla H_2SO_4 , $(\text{NH}_4\text{HSO}_4)$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ olarak bulunur. Sülfür dioksidin sülfata sıvı-fazdaki dönüşümü gaz-faza göre 10-100 kat daha hızlıdır.

2.2.2.2. Nitrat

Atmosferik partiküllerdeki nitrat (partikül nitrat), azot oksitler (NO ve NO_2) ile başlayan gaz – partikül dönüşüm süreçleri aracılığıyla oluşur ve bir ara adım olan nitrik asit oluşumu ile devam eder (Millstein ve ark., 2008).

PM_{10} 'daki ikincil nitratlar çoğunlukla amonyum nitrat olarak (NH_4NO_3) bulunur. Her ne kadar bir kısım nitrat kaba partikül kısmında bulunsun da genellikle sodyumla birleşmiş durumdadır. Bu sodyum nitratın (NaNO_3), nitrik asit ve deniz tuzunda bulunan sodyum klorit (NaCl) ile reaksiyonu sonucu oluştuğu kabul edilir. Direkt salınan azot oksit (NO) ozonla girdiği reaksiyonla azot dioksite (NO_2) dönüşür.

Atmosferdeki gaz – partikül azot dioksit döngüsü şu şekildedir:

- Ultraviyole reaksiyon varlığında tekrar azot oksite dönüşebilir. Diğer kimyasal reaksiyonlarda yer alan kısa ömürlü radikal türlerine dönüşebilir.
- PAN gibi organik nitratları oluşturabilir.
- Nitrik aside okside olabilir.

Nitrik asit oluşumları 24 saatlik periyot boyunca değişim gösterir. Nitrik asidin önemli bir gündüz oluşum yolu hidroksil radikali ile NO_2 reaksiyonunu içerir (Finlayson-Pitts ve Pitts, 2000). Calvert ve Stockwell (1983) azot oksitin, nitrik asite dönüşüm hızında saatte $< \% 1 - \% 90$ gibi geniş bir aralık belirtmişlerdir (Calvert, ve Stockwell, 1983).

Partikül nitratın oluşması için atmosferin bol miktarda amonyak ve nitrik asit, düşük sülfat, düşük sıcaklık ve yüksek bağıl nem içermesi gerekir (Seinfeld and Pandis, 1998).

2.2.2.3. Elementel Karbon

Kentsel ortamlarda ölçülen partikül maddeler diğer ortamlara oranla daha yoğun bir karbon içeriğine sahiptir. Atmosferik partiküllerdeki karbon ise çeşitli organik bileşiklerden oluşmakla birlikte temek olarak elementel karbon ve organik karbon olarak iki sınıfta incelenebilir (Arı ve Gaga, 2013).

Elementel karbon ya da diğer bir adıyla black karbon yanma kaynaklı bir atık oluşumunu işaret eder. Grafit yapıda ve siyah renktedir. Elementel karbon parçacıkları çift modlu dağılım gösterirler (1. pik 0.05-0.12 µm, 2. pik 0.5-1.0 µm) ve boyutları çoğunlukla 1 µm 'den küçüktür. Bu sayede atmosferde uzun süre taşınabilirler. Bu durum görüş azalmasına ve ışık adsorbsiyonuna sebep olur. Hatta bir çalışma EC 'nin ışık absorbsiyonunun % 90 'nından daha fazlasından, görüş azalmasının % 24 – 45 'inden sorumlu olduğunu göstermiştir. Ayrıca black karbon büyük miktarda ince partikül içeriğinde bulunur (Chow ve ark., 1996; Kirchstetter ve ark., 1999; Begum ve ark., 2011)

2.2.2.4. Organik Karbon

Atmosferde solunabilir partikül maddelerin ölçüm yapılan yerin özelliklerine göre %20 – 90 aralığında bir organik madde içeriğine sahip olduğu bilinmektedir (Arı ve Gaga, 2013).

Organik ve elementel karbonun birincil kaynakları antropojenik veya biyojenik iken ikincil kaynakları belirli öncül gazların atmosferdeki oksidasyon prosesleri ile oluşur (Guor-Cheng Fang ve ark., 2008). Bu durum ikincil organik partiküllerin oluşum mekanizmasının tam olarak açıklanamamasının bir nedenidir. Bu organik partikül oluşumları diğer kirletici konsantrasyonlarına ve meteorolojik değişimlere bağlıdır.

Çok sayıda bileşen ve bu bileşenlerin yarı-uçucu yapısı nedeniyle organik karbonu tam olarak analiz etmek zordur. Bu nedenle organik karbonun numune alma ve analiz metodu işlemleri ayrıca tanımlanmıştır (EPA, 1988) .

Gray ve ark. (1986) asılı partikül maddede ikincil organik karbonun bulunabildiği durumları şu şekilde belirtmiştir (Gray ve ark., 1986) :

- Kaynak emisyonunda toplam karbon/elementel karbon oranı arttığında (tipik olarak 2/1 - 3/1 ancak 4/1 'e kadar yükselebilir)

- Ortamda toplam karbon/elementel karbon oranı yazın ve öğleden sonraları daha yüksektir (fotokimyasal üretim etkisinin yüksek olduğu zamanlarda)
- Toplam karbon/elementel karbon oranı rüzgar altı bölgeler gibi uzun süre önce oluşmuş aerosollerin ulaştığı bölgelerde daha yüksektir.

2.2.2.5. Amonyum, Klorür, Yer Kabuğu Maddeleri, Biyolojik Maddeler ve İz Elementler

Amonyum: Amonyum tuzları sülfirik asit (H_2SO_4) ve nitrik asit (HNO_3) ile nötralizasyon reaksiyonuna girer. Bu reaksiyon sonucu atmosferik amonyak oluşur. Tarım, insan aktivitesinden kaynaklanan atmosferik amonyağın ana kaynağıdır (Kılıç, Şimşek, 2009).

Klorür: Ana kaynağı deniz spreyleri ve kış boyunca kullanılan buzlanma önleyici tuzlardır. Aynı zamanda elektrik santrali ve çöp yakımıyla oluşan HCl 'nin amonyak nötralizasyonu ile oluşur (Süren, P.,2007).

Biyolojik Maddeler: Bakteri, poleni bitki artıkları ve sporlar atmosferdeki biyolojik bileşenleri oluşturur ancak bu maddeler genellikle organik karbon bileşeninin içeriğinde düşünülür. Genellikle kaba partikül sınıfında bulunurlar.

Yer Kabuğu Maddeleri: Yer kabuğu maddeleri bölge jeolojisi ve yüzey durumu gibi bir alanın karakteristik özelliklerini gösterdiği için önemlidir. Bu maddeler toprak tozu (yüzey kuruluğu) ve rüzgar gibi fiziksel durumlardan etkilenerek atmosfere karışırlar. Bu nedenle yer kabuğu maddelerinin atmosfere taşınmasında en önemli etken bölge iklimidir. atmosferde başlangıçta kaba partikül olarak daha sonra ince partikül boyutunda bulunan yer kabuğu maddeleri genel olarak Demir (Fe), Oksijen (O), Silisyum (Si), Magnezyum (Mg), Nikel (Ni), Kalsiyum (Ca), Alüminyum (Al), Kükürt (S), Krom (Cr), Sodyum (Na), Mangan (Mn), Fosfor (P)'dur.

İz Elementler: Eser miktarlarda doğada ve canlı vücudunda mutlaka bulunması gereken iz elementler kaba ve ince partikül içeriğinde de bulunur. Kaba partiküllerdeki iz elementleri yerkabuğu maddeleri oluştururken ince partiküllerde iz elementler yanma kaynakları ya da yüksek sıcaklık gerektiren işler oluşturur. İz elementler uçucu özellik göstermezler bu sebeple salındıklarında çok ince partiküllere tutunurlar ve kimyasal dönüşüm eğilimi göstermezler.

Literatürde kaynak belirleme çalışmaları incelendiğinde iz elementler çeşitli kaynakların karakteristik elementleri olarak belirlenmiştir (Çizelge 2. 2 ve Çizelge 2.3)

Çizelge 2. 2. Çeşitli emisyon kaynaklarının karakteristik elementleri

Salınan Karakteristik Element	Emisyon Kaynağı
As, Mn, V, deniz tuzu olamayan sülfat ve amonyum	Fosil yakıt yanmasını (Lee., 2003) .
Al, Ca, Fe, Mn	mineral tozun ve yerkabuğu elementleri (Lee., 2003) .
Mg, Al, Si, K, Ca, Fe	Toz fırtınaları süresince toplanan aerosol partiküllerinde majör fraksiyon oluşturmaktadır (Fan, 1996) .
Fe, Zn, Pb, V, Mn, Cr, Cu, Ni, As, Co, Cd	Kömürlü elektrik santrallerin oluşturdugu uçucu kül (Schroeder, 1987) .
Al, Si, K, Ca, Ti ve Fe	Toprak kaynaklı karakteristik elementler (Watson ve Chow, 2001) .
K ve BC	Biyokütle yanması, veya tuğla ocakları (Watson ve Chow, 2001;Azad ve Kitada, 1998).
K, Fe, Mn, Zn ile karışık yüksek Al, Mg, Si, Ca	Metal eritme kaynağını karakterize edebilir (Biswas, 2001) .
BC ve S bu elementler çöken yol tozlarının tekrar asılı hale gelmesi nedeniyle Mg, Al, Si, P ve Fe gibi yerkabuğu elementleriyle karışabilir.	Motorlu taşıt kaynağı (dizel ve benzin egzozu) (Watson ve Chow, 2001, Kim ve ark., 2003, Maricq, ve ark., 2002) .
Na, K, Fe, Br, Cl, nitrat, sülfat ve amonyum	Odun yanmasıyla oluşan dumanda (Kleeman ve ark., 1999) .
As, Se, Ni, V	Kömür ve yağ yakımı emisyonlarında bulunur (Huang ve ark. 1994; Lee ve ark., 1994) .
Cu, Ni, Zn	Metalurjik prosesler (Pacyna ve ark., 1998) .
Cu, Zn, Pb, Br, Fe, Ca, Ba	Taşıt emisyonlarında (Huang ve ark. 1994; Cadle ve ark,1997; Sternbeck ve ark., 2002)
Fe, Cu, Zn, Ni ve Pb, Cu, Pb, Zn, Cr, Ag, ve Mn, Pb, Ni, Cd, Zn	Yol tozlarında (Yongming ve ark., 2006, Kartal ve ark., 1991).
BCE, Pb, Br, V, Cu, Ni, Zn	Yağ yanması (Chow ve ark. ,1995).

Çizelge 2. 3. Çeşitli emisyon kaynaklarının karakteristik elementleri (Lidia M., Junfeng J.Z., 2002)

Emisyon Kaynağı	Salınan Karakteristik Element
Yağ yakıtlı elektrik santrali	V, Ni
Motor taşıt emisyonları	Br, Pb, Ba
Çöp yakımı	Zn, Sb, Cu, Cd, Hg
Kömür yakımı	Se, As, Cr, Co, Cu, Al
Rafineriler	V
Metal madenleri (demir hariç)	As, Cu, In (Ni madeni)
Pestisit kullanımı	As
Demir – Çelik fabrikaları	Mn
Mn metali ve kimyasalları üretimi tesisi	Mn
Bakır rafinerileri	Cu

2.3. Atmosferik Partikül Madde Kaynakları

Partikül madde atmosfere 2 şekilde salınabilir. Bunlar;

- Doğal partikül madde kaynakları
- Antropojenik partikül madde kaynaklarıdır.

Tüm bu kaynaklar yeryüzü için zeminine yakın ortamlara salınır ve ortam konsantrasyon seviyelerinde önemli etkilere yol açar.

Çizelge 2.4'te global ölçekte partikül maddelerin doğal ve antropojenik kaynakları gösterilmekle birlikte her iki konu aşağıda ayrı ayrı açıklanacaktır.

Çizelge 2. 4. Partikül madde global emisyon tahmini (Seinfeld ve Pandis, 1998)

Kaynak	Hesaplanmış akış (Tg /yıl)			Partikül boyutu ^a
	Düşük	Yüksek	En iyi tahmin	
DOĞAL				
Birincil				
Toprak tuzu(mineral aerosol)	1000	3000	1500	Çoğu kaba(iri)
Deniz tuzu	1000	10000	1300	Kaba
Volkanik tuz	4	10000	30	Kaba
Biyolojik parçalar(kırıntılar)	26	80	50	Kaba
İkincil				
Biyolojik kaynaklardan kay.gazlar	80	150	130	İnce(ufak)
Volkanik SO ₂ 'lerden kay. Sülfatlar	5	60	20	İnce
Biyolojik VOC lardan kay.org.mad	40	200	60	İnce
NO _x den kaynaklanan nitratlar	15	50	30	İnce ve kaba
Toplam	2200	23500	3100	
ANTROPOJENİK				
Birincil				
Endüstriyel tozlar	40	130	100	İnce ve kaba
İs	5	20	10	Çoğu ince
İkincil				
SO ₂ den kaynaklanan sülfatlar	170	250	190	İnce
Biyokütle yangınları	60	150	90	İnce
NO _x den kaynaklanan nitratlar	25	65	50	Çoğu kaba
Antropojenik VOC lardan kay. org	5	25	10	İnce
Toplam	300	650	450	

^aKaba ve ince boyut katagorilerini sırayla 1 mikrometre'nin üstündedir ve altındaki ortalama partikül çapını gösterir.

Atmosferik partikül madde kütlesinin bölgesel kaynak katkılarının belirlenmesi hava kalitesi yönetimi için ortak bir yaklaşımdır (WHO, 2005). Partikül madde emit edildiği kaynağa göre belirli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Bu özellikler partikül kaynak belirleme çalışmalarında kullanılır ve şu şekilde sıralanabilir:

- Partikül fazın spesifik boyut dağılımı
- Kaynağın spesifik organik bileşen veya element profili
- Bileşen, element veya izotopların spesifik oranı.

Bu konu ile ilgili literatürde pek çok araştırma mevcuttur. Örneğin Vickery (2004) Kuzey Amerika'nın 9 farklı bölgesinde partikül maddenin önemli kaynak katkılarını belirlemiştir. Aynı şekilde Chow ve arkadaşları (1992) PM_{2,5} ve PM₁₀ için California San Joaquin vadisindeki 6 site için yıllık ortalama kaynak katkılarını belirlemişlerdir.

2.3.1. Doğal Partikül Madde Kaynakları

İnsan sağlığına ve çevreye zararlı etkileri olan hava kirleticilerin çoğu antropojeniktir. Ancak doğal kaynaklar da hava kirletici emit etmektedir. Özellikle doğal kaynaklar atmosferde önemli miktarda partikül kirliliğine neden olmaktadır. Partikül madde çeşitli doğal kirleticilerle atmosfere salınır. Bunlar:

- Çöl toz partiküllerinin rüzgar ile taşınımı
- Deniz spreylelerinden oluşan partiküller
- Volkanik toz partikülleri
- Doğal yollarla oluşan partiküller
- Birincil biyolojik aerosoller
- İkincil organik biyojenik aerosoller
- Toz parçacıklarının yeniden süspanse olması

olarak sıralanabilir.

Çöl toz partiküllerinin rüzgar ile taşınımı:

Atmosferde doğal yollarla salınan mineral tozlarının çoğu kurak ve yarı kurak alanlardan kaynaklanır. Yeniden süspanse olan ve taşınan (rüzgar esintisi ile) çöl toz partikülleri atmosferik görüş mesafesi üzerine, aerosol bileşimine ve partikül konsantrasyonu üzerinde önemli etki gösterir. Örneğin; yağmurun çok nadir görüldüğü Kuzey Afrika sıcak çöl alanı Avrupa ülkelerinde önemli bir toz kaynağıdır. Yapılan araştırmalara göre çeşitli meteorolojik senaryolar Avrupa'ya doğru Afrika toz hava kütlelerinin taşınmasına yol açabilir (EEA, 2012).

Akdeniz Bölgesi'nde Afrika tozu üzerine yapılan son yıllardaki çalışmalarda bütün Akdeniz Havzası'nda Afrika toz episodlarının mevsimsellikleri, yoğunlukları ve oluşumları özetlenerek Avrupa Akdeniz Bölge genelinde bir dizi PM₁₀ veri seti izlenip değerlendirildiği bir çalışmada, açık olarak havza boyunca doğudan batıya ve güneyden kuzeye PM₁₀ seviyesinde artış bulunmuştur. Querol ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmada Batı Akdeniz havzasına göre Doğu Akdeniz havzasında birincil organik aerosol seviyelerini 5 – 10 µg/m³ daha yüksek bulmuşlardır (Querol ve ark., 2009).

Çöl tozlarını oluşturan parçacıkların içerisinde kaynaklandığı yöreye özgü kil minerallerinin bulunduğu ayrıca tozların yerden kalkmasına neden olan meteorolojik olaylarla

bakteri ve mantarların da atmosferik taşınımına girebildiği tespit edilmiştir (Güllü, 1998). Bu konuyla alakalı yapılan çalışmalar aşağıda değerlendirilmiştir.

Sahra çölüne ait toz taneciklerinin temel mineral içerikleri: bu kaynaktan çıkan partikül parçacıklarda nispeten çözünür ana elementlerce (sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum) zengindir, nadir toprak elementleri içerir (Evans et al., 2004).

Sahra çölü sedimenter havzalarında toz taneciklerin temel mineral içerikleri: Bu grup partiküller magnezyum ve demir açısından zengin, birincil silikat mineraller tükenmiştir (Evans et al., 2004).

Atlantik margin-tipi partiküller: Bu tür malzemeler, karbonat yönünden zengindir (kalsiyum, magnezyum ve stronsiyum olarak bulunmaktadır). Bunlar genellikle demir oksitleri içerirler, ayrıca magnezyum ve demir açısından zengin kil içerebilirler (EPA, 2012).

Deniz spreylelerinden oluşan partiküller

Okyanussal yüzeyler, yeryüzünün %71'ini kapsar hava – okyanus ara yüzü ile havaya salınan PM'nin önemli bir kaynağıdır. Denizel doğal partikül madde birincil ve ikincil aerosol bileşenleri içerir. Deniz spreylelerinden oluşan partikül maddeler inorganik deniz tuzu ve organik maddenin bir kombinasyonudur. Deniz ana bileşeni Magnezyum (Mg), Sülfat (SO_4^{2-}), Sodyum klorürdür (NaCl). Aerosoller, okyanus yüzeyindeki rüzgar şiddeti nedeniyle dalgalanma oluşması ile yayılırlar. Deniz spreyinden oluşan partikül madde boyut aralığı bir μm 'den birkaç μm 'ye kadar değişmektedir. Böylece bu partiküller PM_{10} konsantrasyonuna katkıda bulunurlar. Örneğin kıyı bölgelerinde Pm kütlesi %80 deniz tuzu içerebilir (Putaud ve ark., 2004).

Deniz tuzu (özellikle NaCl) PM seviyelerinde deniz aerosollerinin doğal katkıları değerlendirilirken dikkat edilmesi gereken bir bileşedir. Atmosferdeki deniz aerosolleri kuvvetli rüzgarlar sırasında episodik olaylar oluşturma eğilimindedir.

Atmosferik partikül madde konsantrasyonlarına deniz tuzunun katkısını hesaplamanın bir yolu deniz suyunun ortalama bileşimine bakmaktır. Deniz tuzu aerosolleri çoğunlukla klorür (%55) ve sodyum (%31) içerir.

Teorik olarak klorür, havadaki PM içerisine deniz tuzu katkısını hesaplamak için referans iyon olarak kullanılabilir. Ancak sülfirik asit (H_2SO_4) veya nitrik asit (HNO_3) ile etkileşimi nedeniyle klorür tükenmesi gerçekleşebilir. Ayrıca bu gazlarda insan faaliyetleri

nedeniyle salınan hidrojen klorür (HCl) tarafından etkilenebilirler. Bunun aksine suda çözünebilir sodyum kullanılarak, sodyum nitrat (NaNO₃) varlığı nedeniyle doğal deniz sprej katkısı tahmin edilebilir.

Volkanik tozlardan oluşan partiküller

Volkanik emisyonların kompozisyon ve miktarı volkanik yapıdaki termodinamik koşullara (sıcaklık, basınç vb.) ve magma türüne bağlıdır. Bu emisyonlardan atmosfere yayılan ana bileşenler; su buharı, uçucu kül, CO₂, SO₂, hidrojen klorür, florür ve bromür (HCl, HF, HBr) ve daha düşük miktarlarda birçok bileşendir (von Glasow ve ark., 2009). Civa volkanik patlamalar tarafından yayılan en toksit elementler arasındadır (Ferrara ve ark., 2000).

Kontrol edilemeyen yangınlardan (doğadaki yangınlar) kaynaklanan partiküller

Özellikle kırsal alanlarda çıkan kontrol edilemeyen yangınlar (doğal yangınlar) atmosferik partikül madde üzerine önemli etkiye sahiptir. Emisyonlar primer hava kirleticileri yani partikül madde, azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO) içerir. Dahası metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC) ve NO_x gibi gazlar yangın sonrası kimyasal işleme tabi tutulması halinde atmosferde, kirletici ozon (O₃) ve ikincil aerosol formunda yayılırlar (Urbanski ve ark., 2009).

2.3.2. Antropojenik Partikül Madde Kaynakları

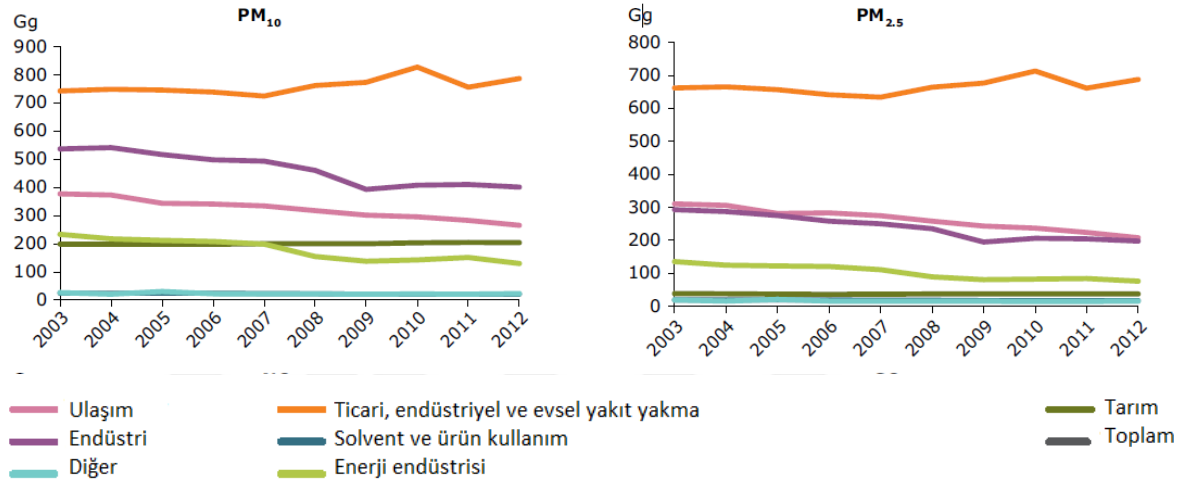
Globalleşmeyle birlikte artan sanayi antropojenik hava kirletici kaynaklardan salınımları her geçen gün arttırmaktadır. Atmosferik partikül madde için antropojenik kaynaklar çok çeşitlidir ve uçucu küller, duman, is, metalik oksit, metal tozları bu kaynaklardan salımlar sonucu oluşan partikül çeşitliliğine örnek olarak verilebilir.

Belirli bir kaynağın etkileri bölgeler arasında farklılık göstermekle birlikte gelişmiş bölgelerde yapılan analizlerde PM_{2,5} kütlesinin 2/3'ünden fazlasının antropojenik kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Örneğin; Hildemann ve arkadaşları endüstriyel ölçekli kazanları, evsel ısınma kaynaklarından salımları, ulaşım kaynaklı otomobil gibi araçları ve yemek pişirme işlemlerini esas alarak 0,1 – 0,2 µm boyut aralığında bu kaynaklardan partikül yayıldığını göstermişlerdir (Hildemann, 1991).

Avrupa 2014 Hava Kalitesi Raporuna göre (EEA, 2014);

1990 – 2012 yılları için AB emisyon envanterine bakıldığında (doğal birincil emisyonlar dahil değil); birincil PM emisyonlarında, PM₁₀ için %14, PM_{2,5} için ise %16'ya kadar düşüş

olduğu görülmüştür. Avrupa çevre ajansına üye 33 ülke için bu düşüş PM₁₀ için %6, PM_{2,5} için %16'dır. Çeşitli sektör kaynakları birincil PM emisyonuna katkıda bulunur (Şekil 2.4). Antropojenik kaynaklı emisyonlar tek tek ele alındığında birincil PM emisyonlarında en baskın kaynağın evsel ısınma kaynaklı olduğu görülmüştür ve 2014 Avrupa Hava Kalitesi Raporuna göre 2003 yılından bu yana PM₁₀ %13'e kadar, PM_{2,5} ise %11'e kadar artmıştır (EEA, 2014).



(Gg / yıl = 1 000 ton / yıl)

Şekil 2. 4. AB ülkeleri için sektörlere göre PM_{2,5} ve PM₁₀ emisyonları, 2003 – 2012, (EEA, 2014)

Ticari, kurumsal ve evsel yakıt yakma sektörü özellikle PM_{2,5} emisyonlarında en yüksek paya sahiptir. Yine EEA 2014 Raporuna göre; Birincil emisyonlarda bu sektörün payı PM₁₀ için 2003'te %35 iken 2012'de %43'e çıkmıştır. Bu durum PM_{2,5} için 2003 yılında %45 iken 2012 yılında %55'tir (EEA,2014). Ayrıca Şekil 2.4'te PM emisyonları için en büyük ikinci kaynağın endüstri olduğu görülmüştür ve bunu ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar takip etmektedir.

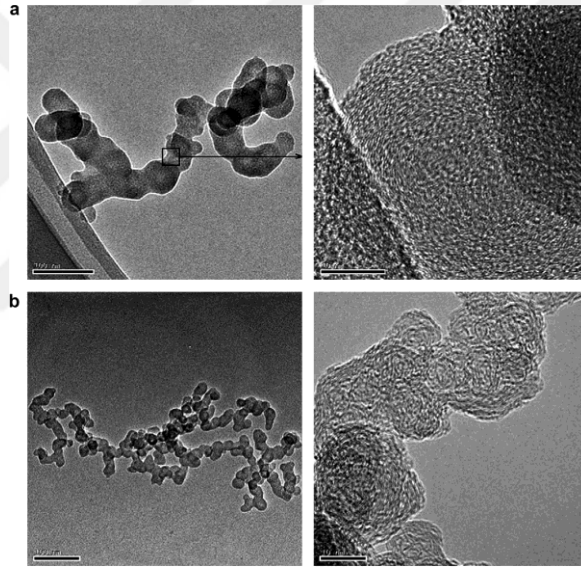
Ulaşımdan Kaynaklanan Partikül Madde

Şehirlerde PM emisyonunun ana kaynağı motorlu taşıtlardır ve PM emisyonlarının %50'den fazlasını oluştururlar (Wrobel ve ark., 2000). Ulaşım kaynaklı partiküllerin kimyasal karakteristikleri ve oluşum bölgeleri üzerine pek çok araştırma yapılmıştır. Karayolu taşıtlarından gelen PM emisyonları iki şekilde kaynaklanmaktadır;

- Egzoz emisyonları,
- Fren, debriyaj, tekerlek gibi aksamalar nedeniyle yol tozunun yeniden süspanse olması,

Egzoz partikülleri ince frankiyona ($PM_{<2,5}$) sahiptir ve PAH gibi organik ve kurşun tozları, platinyum, sülfat, metal oksitler gibi inorganik türler içermektedir. Duman partikülleri ise daha çok kaba mod ($PM_{2,5-10}$) partiküllerdir.

Dizel ve benzinli araçlarda partiküler madde oluşum mekanizması farklıdır. Şekil 2.5’de benzinli ve dizel araçlardan kaynaklanan başlangıç ve daha sonraki peryotta partiküler maddelerin TEM (Transmissin Electron Microscopy) görüntüleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere benzinli motorlarda başlangıçta zincir yapısında olan PM’ler daha sonra paralel düzenli yapıya ulaşmaktayken, dizel motorlarda oluşan PM’ler düzensiz grafit tabakları halindedir ve zincir, halka, sferoid gibi karmaşık yapılarda bulunurlar. Dizel araçların oluşum mekanizmaları ve oluşturdukları çekirdek yapıları daha komplekstir (Yao et al., 2009).



Şekil 2. 5. Benzinli ve dizel motorlardan kaynaklanan PM’lerin TEM yapıları (a) benzinli araçlar; (b) Dizel araçlar

Dizel kaynaklı partikül maddeler hemen hemen saf karbondur ve yaklaşık $0,1\ \mu m$ aerodinamik çapa ultraince küremsi mikron altı boyutlu agregat şekline sahiptir (WHO, 2005).

Ulaşım kaynaklı partikül salımına bakıldığında; katalitik konventörlü benzinli araçlar, konventörsüz araçlara göre daha az PM kütlesi emit ederlerken, dizel kamyonlar ise katalitik konventörlü bir yolcu arabasından km başına 100 kat fazla partikül kütlesi üretir (WHO, 2005).

Trafik kaynaklı PM konsantrasyonu özellikle trafiğin yoğun olduğu günlerde ve kirletici dağılım/yayılmı şartlarının zayıf olduğu durumlarda artabilir. Taşıt emisyonlarında sıklıkla bulunan elementler Cu, Zn, Pb, Br, Fe, Ca, ve Ba'dır (Süren, 2007).

Endüstriden Kaynaklanan PM

Hızlı ekonomik ve endüstriyel gelişmeler özellikle gelişmekte olan ülkelerde, artan enerji tüketimi, hava kirletici emisyonları ve kötü hava kalitesine yol açmıştır. Sanayi çoğunlukla havadaki partikül maddenin önemli bir kaynağıdır.

2014 EEA raporuna göre AB üyesi ülkelerde endüstriyel prosesler sırasıyla PM_{2,5} ve PM₁₀'un ikinci ve üçüncü en büyük kaynağıdır (EEA, 2014).

PM emiyonlarına katkıda bulunan pek çok sanayi kolu olmasıyla birlikte bunlar; imalat (otomotiv, çelik ve metal yapımı sektörleri dahil), havacılık, tarım, kimyasal, inşaat, enerji olarak sıralanabilir. Bu endüstrilerden oluşan partikül maddeler; metaller, organik karbon, elementel karbon, PAH ve suda çözünür iyonlar içerir. 2009 İngiltere Atmosferik Emisyon Envanteri sonuçlarından alınarak endüstriyel süreçlerin iz metal katkıları Çizelge 2.5 verilmiştir (EEA, 2009).

Endüstriyel emisyonlardan üretilen bir başka kirletici de organik karbon (OC) ve elementel karbondan (EC) oluşan karbonlu partiküllerdir. OC ve EC doğrudan endüstriyel proseslerden yayılmalarının yanında bazı endüstrilerin ilgili faaliyetleri ile de ilişkilidir. Küresel olarak endüstriler yaklaşık %10 OC ve %15 EC emit ederler (Bond ve ark., 2004). 21. Yüzyılın başlarında Çin'de endüstriyel EC emisyonları öncelikle kontrolsüz kömür yakıtlı stokerslar ve demir çelik üretim endüstrisinde kok kullanımından kaynaklanmaktadır ve toplam kömür kaynaklı 83Gg emisyon vardır (97 Gg 'lık toplam sanayi sektörünün %85'i) (Streets ve ark, 2001).

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) esas olarak organik maddelerin pirolizi ve eksik yanma tarafından üretilen organik bileşiklerin bir grubudur. Endüstriyel süreçler 2008 yılında İngiltere'de %5 (AEA, 2010) gibi PAH'lar için küçük bir kaynak iken; 2011 yılında AB'de %9 (EEA, 2012) gibi bir katkıda bulunmuştur. PAHlar için en önemli sanayi kaynakları başta alüminyum ve kok üretimi olmak üzere (örneğin; demir ve çelik üretimin bir parçası olarak), atık yakma, çimento üretimi, petrokimya sanayi, zift ve asfalt endüstrisi, ahşap koruma endüstrisi, lastik üretimi, ticari ısı/ güç üretimi, kağıt fabrikalarıdır (European Commission, 2001; Fauser ve ark., 2011.)

Çizelge 2. 5. Endüstriyel süreçlerin her iz metal emisyonuna ve ana kaynaklarına katkısı (EEA, 2009)

	Toplam Emisyon ton	Endüstriyel katkı, %	Temel Kaynaklar
As	13	93	Endüstriyel yanma için işlenmiş ahşap; metal üretimi; elektrik ve ısı üretimi
Cd	2	78	Demir dışı metal üretimi; demir çelik imalatı (aynı zamanda endüstriyel yanmanın diğer formları); enerji üretimi (elektrik üretimi için atık yakma, fuel oil yanması önemli bir kısmını içermektedir)
Cr	26	89	Kömür yakma, kömür ark ocaklarında ve entegre çalışmalarda demir ve çelik üretimi, krom bazlı kimyasalların üretimi
Cu	52	49	Metal üretimi, sanayideki metal yağların yanması ve kömür yanması
Pb	60	87	Metal üretimi, sanayideki metal yağların yanması
Hg	7	99	Demir ve çelik üretim süreçleri; elektrik ve ısı üretimi; atık yakma; cıva hücrelerinde klor üretimi; kömür ve endüstriyel yanmanın diğer formları
Ni	83	54	Baskın bir şekilde fuel oil yanması
Se	31	92	Elektrik ve ısı üretimi için yakma;; cam üretimi
V	477	21	Fuel oil yakma
Zn	339	72	Metal üretimi, endüstride yakma

Partikül madde karakterizasyonu emit edildikleri endüstriyel kaynağa göre farklılık gösterir. Bu nedenle partikül madde için her endüstriyel kaynak ayrıca ele alınmalıdır. Çizelge 2.6'da çeşitli endüstriler için partikül emisyonlarını oluşturan bazı kaynak kirleticiler verilmiştir.

Çizelge 2. 6. Çeşitli endüstri ve proseslerde PM emisyonları, (NATO, 1973)

SANAYİ	PARTİKÜL EMİSYONLARI	
	DOĞAL	TEMEL KAYNAKLAR
Demir-Çelik Fabrikaları	Demir oksit tozu, duman	Maden eritme ocakları, çelik üretim ocakları, eritme makinaları
Gri Demir Dökümhaneleri	Demir oksit tozu, yağ ve gres, metal dumanları	Döküm ocakları, maçalar, silkeleme sistemleri
Petrol rafinerileri ve Asfalt yakma	sülfirik asit dumanları, sıvı aerosoller, kül, kataliz tozları	Asfalt yakımı için hava, kataliz jeneratörleri, sulu çamur yakan makine
Portland Çimento	Alkali ve ürün tozları	Soğutucu, kurutucu, fırın, madde işleme sistemleri
Kağıt Hamuru Fabrikaları	Kimyasal tozlar, puslar	Maden eritme tankları, kimyasal ıslah ocakları, kireç ocakları
Asfalt Fabrikaları	Kum Tozları	Kurutucu, Madde işleme sistemleri
Asit Üretimi		
Fosforik	Asit dumanları, tozlar	Isıl prosesler, fosfor kayası eritme
Sülfirik	Asit dumanları	Öğütme ve işleme tesisleri
Kok İmalatı	Kömür ve kok tozları, kömür katranı	Su ile soğutma, madde işleme, fırın hücrelerinin yüklenmesi ve boşaltma
Cu, Pb, Zn, ve Al için birincil ve ikincil kolaylaştırma	Duman, metal dumanları, yağ ve gres	Tasfiye ve eritme ocakları
Sabun ve Deterjan İmalatı	Deterjan tozları	Sprey dryer, ürün ve hammadde işleme sistemleri
Cam Fırınları ve Camlif İmalatı	H ₂ SO ₄ dumanları, hammadde tozu, alkali oksitleri	Cam lif biçimlendirme, sertleştirme, is jeneratörleri
Siyah Karbon	İs	İs jeneratörleri
Alçı Taşı Prosesi	Ürün tozları	Kalsiner, kurutucu, öğütme ve madde işleme sistemleri
Kahve Prosesi	Çöp, yağ aerosoller, kül, dehidrate kahve tozları	Çöplerin yakılması, soğutucu, kurutucu, tavlama tavası, atık ısı kazanı
Pamuk Çirçir makinası	Pamuk lifleri, toz ve duman	Çirçir makinası, çöplerin yakılması

Termik Santraller: PM karakterizasyonu ve havadaki konsantrasyonu termik santrallerde kazan özelliklerine (yakma biçimi, işlemi), PM tutucu ekipman özelliklerine ve yakıt özelliklerine bağlıdır. Yakıt olarak kömür, fuel – oil ve doğal gaz kullanılabilir.

Termik santral reaktöründe toz halindeki linyit kömürünün yanması sonucu kömürde bulunan mineral maddeler yanmayıp uçucu kül olarak reaktörü terk etmektedir. Elektrofiltrelerin çalıştırılmadığı durumlarda (yedek ünitelerin devreye alınması gibi) bu uçucu küller atmosfere salınır ve önemli bir hava kirliliği oluşturur.

Uçucu küller baca dumanı ile havaya yayılarak ağırlıklarına ve atmosferik olaylara göre bacadan itibaren belirli mesafelerde yere çökerler. Bu esnada içerdikleri Co, Cd, Zn, Pb, Cu gibi metal bileşikler de baca dumanındaki SO₂ ve NO_x gazlarının toksik etkisini artırır ve asit yağmurlarına dönüşmesinde katalizör etkisinde bulunur.

Partikül madde emisyonları filtre edilebilen ve yoğunlaşabilen olarak sınıflandırılabilir. 0.3 mikrondan küçük buhar ve partiküller filtreyi geçer. Yoğunlaşabilir partikül madde daha sonra homojen ve/veya heterojen aerosol partikülleri olarak yoğunlaşmak üzere buhar olarak yayılır. Kömürlü veya kazanlardan salınan yoğunlaşabilen partikül öncelikle inorganik yapıdadır (Süren, 2007).

Bazı iz metaller yakma işlemiyle oluşan partikül içinde yoğunlaşırken (taban külü, kolektör külü, ve uçucu gaz partikül), bazıları yoğunlaşmaz (Süren, 2007). Bu dağılım davranışını tanımlamak için çeşitli sınıflamalar yapılmıştır, bunlar:

1. Sınıf: Uçucu külde ve taban külünde yaklaşık olarak eşit miktarlarda yoğunlaşan elementlerdir (veya hem kaba hem ince partiküllerde bulunanlar). Örneğin, manganez (Mn), berilyum (Be), kobalt (Co) ve krom (Cr)
2. Sınıf: Nispeten uçucu külde daha fazla zenginleşenler (veya ince partikül boyutlarında zengin olanlar). Örneğin: arşeni k(As), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), ve antimon (Sb)
3. Sınıf: Gaz fazında salınan elementler daha çok civa (Hg) bazen selenyum (Se).

Enerji amacıyla kullanılan bir diğer yakıt türü fuel – oil'dir. Distile yağlar ve atık yağlar en çok kullanılan fuel – oil yakıtlardır. Daha uçucu ve daha akışkan olan distile yağlar ihmal edilebilecek miktarlarda azot, kül ve ağırlıkça %3'ten küçük kükürt bileşeni içerir. Genel olarak evsel ve ticari işletmelerde kullanılırlar. Atık yağlar ise yüksek miktarda kül, azot ve kükürt içerir. Genellikle kamu, endüstri ve büyük ticari işletmelerde kullanılırlar. Distile yağların yakılması atık yağların yakılmasına göre daha az PM emisyonu oluşturur.

Demir – Çelik fabrikaları: Demir çelik üretiminde her bir proses farklı bir partikül emisyon kaynağıdır. Çizelge 2.7'de bu proseslerin oluşturduğu emisyonlar açıklanmıştır.

Çizelge 2. 7. Demir çelik üretim proseslerinde oluşan emisyonlar

Proses Adı	Oluşturduğu Emisyonlar
Sinter (katılaştırma)	Hammaddenin elden geçirilmesi, windbox (verilen hava) egzozu (demiroksitler, kükürtoksitler, karbonlu bileşenler, alifatik hidrokarbonlar ve kloritler), boşaltma işlemi, ve soğuk bölme işlemleri
Yüksek Fırın İşlemi	Erimiş demir ve cüruf yüzeylerinin hava ile teması
Çelik Üretimi-Elektrik Ark Fırını	Eritme işlemi esnasında salınan demiroksit, Tasfiye işlemi esnasında cüruftan yayılan kalsiyum oksit, Dövme (vurma) işlemi esnasında majör partikül demiroksittir.
Proses dışı toz kaynakları	Taşıt trafiği, hammaddenin bina dışında elden geçirilmesi, depolanmış yığınlardan rüzgar erozyonu

Petrol rafinerileri: Temel partikül kaynakları katalizör rejenerasyonu, asfalt yakma birimleri ve çamur yakıcılarıdır.

Çimento fabrikaları: Portland çimento madenleri ve fabrikalarında hammaddenin eldesi ve çimento üretimi toz oluşumuna neden olmaktadır. Tas ocaklarında delme, yükleme, taşıma ve rüzgarın etkisiyle tozlar oluşur. Parçalama-öğütme birimlerinden, transfer karıştırma noktalarından ve yükleme-boşaltma işlemleri esnasında toz oluşur.

Asfalt pişirme fabrikaları: Elevatörler ve konveyörler bazı tozları oluşturmalarına rağmen esas kaynak direk ateşli kurutuculardır (NATO,1973). Sıcak sülfat ile mineral toz, kuru kum ve çakıl taşlarının sıcak karışımını ihtiva eder.

Asit üretim fabrikaları: PM emisyonları öncelikle sülfirik asit ve fosforik asit üretiminden kaynaklanır. Nitrik asit ve hidroklorik asit üretiminde ise yüksek miktarda ait dumanları oluşmaktadır.

İnşaat aktiviteleri: Bina yıkımı, toprak yolda araçların seyri, kum püskürtme işlemi ile binaların temizlenmesi, açıklık alanda yakma işlemleri (çalılık, ahşaplar, ağaçlar vb.), toprak erozyonu, alçı ve porlant çimentosunun bir alana yığılması gibi işlemler önemli toz kaynaklarındadır.

Bakır, kurşun, çinko ve alüminyum elde etme tesislerinde: İkincil alüminyum elde etme tesislerinden partiküller eritme işlemlerinden, parçacıkların içindeki yağlı ve gresli safsızlıklardan ve erimiş alüminyumun klorlanması işlemlerinden açığa çıkmaktadır.

Alçı taşı isleme fabrikalarında: Alçı taşı kayalarının kalsinasyonu, kurutulması, öğütülmesi gibi mekanik sistemlerde islenen alçı taşı toz kaynağının temelini oluşturmaktadır. Ayrıca isleme, paketleme ve duvar kaplaması üretimi de ikincil kaynakları oluşturmaktadır.

Cam fırınları ve camlif fabrikalarında: Bütün cam ürünlerinin üretiminde kullanılan uzun alevli fırınlar partikül kaynaklarını oluşturmaktadır. Çıkış gazlarındaki partiküller iki kaynaktan gelmektedir. Bunlardan birincisi yanma gazlarına giren ergimemiş hammaddeler, diğeri ise ergitme işlemi esnasında oluşan CO₂ gazı yanındaki kalsiyum, sodyum, potasyum oksit şeklindeki katılardır (NATO,1973).

Sentetik deterjan ve sabun üretiminde: Partiküller, kuru hammaddelerin işlenme tarzından ve sprey kurutucularda islenmesi esnasında kaynaklanmaktadır (NATO,1973).

Ham kahve taneleri ve kahve üretimi: Toz ve sıvı aerosollerin yanında kokulu gazlar da oluşmaktadır. Emisyon kaynakları kavurma tavaları, sprey kurutucular, atık ısı kazanları ve ham kahve temizleyicileridir. Kavurucular kokuların ve yağ aerosollerinin etkin kaynağı olmasına rağmen katı partiküllerin de önemli bir miktarda oluştuğu temel kaynaklardandır (NATO,1973).

Evsel PM Kaynakları

Ulaşım ve sanayi gelişiminin beraberinde getirdiği nüfus artışı yerleşim bölgelerinde evsel kaynaklı hava kirletici emisyonları arttırmıştır. İnsan sağlığına etkileri bir çok bilimsel çalışmada ele alınan partikül kirleticilerde bu kaynaklardan salınmaktadır. Evsel kaynaklı partikül madde emisyonları; ısınma kaynaklı, sigara dumanı ve pişirme işlemlerinden kaynaklanan emisyonlar olarak sıralanır. Isınma amaçlı yakıt kullanımı sonucunda oluşan toz emisyonları şu şekilde sıralanabilir;

- Yanmamış gaz ve buharın atmosferde yoğunlaşarak boyutu 0.1 μ 'dan küçük ince toz ve aerosoller oluşturmaları,
- Yanma işlemi sırasında oluşan kirlilik moleküllerinin atmosferde yoğunlaşarak 0.1 μ 'dan küçük ince toz ve aerosoller oluşturmaları,
- Yanmadan arta kalan kül ve yakıt zerreciklerinin 1 μ ve daha iri boyutta PM oluşturmaları,
- Yakıtların tam yanmamasından ileri gelen yaklaşık 1 μ büyüklükteki PM 'ler (Müezzinoğlu, 2005).

Evsel yakıtların yakılması sonucu oluşan emisyonların PH'ı 2.8 – 4.2 arasındadır (Burnet ve ark., 1986). Partikül çapları genellikle 0.1 – 0.2 μm 'dir. Isınma kaynaklı partikül parçacıkları Na, K, Fe, Br, Cl, nitrat, sülfat ve amonyum içerirler (Kleeman ve ark., 1999). Odun ve kömür yakılan sobalardan kaynaklanan 'is' te yüksek konsantrasyonlarda PAH bulunmaktadır (Mumford ve ark., 1987) . Bu emisyonlarda bulunan PAH türlerinin benzin ve dizel yakıt emisyonlarında bulunan PAH'lardan farklı olması, kentsel odun ve kömür yakımın da PAH 'ların kaynak belirleyici olarak kullanılabilmelerini mümkün kılmaktadır (Li ve Kamens, 1993) .

2.4. Partikül Maddenin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Atmosferik partikül maddelerin insan ve çevre sağlığına çeşitli ve göz ardı edilemez etkileri vardır. Bunlar; görüş mesafesine etkisi, iklim değişikliğine etkisi, insan sağlığına etkisi ve asit depolanması şeklinde sıralanabilir.

2.4.1. Partikül Maddenin Çevre Üzerine Etkileri

Partikül maddelerin ışığı dağıtma özellikleri vardır. Bu özellikleri başta görüş mesafesini azaltma ve güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasını engelleme gibi etkilere sebep olabilir. Görüş mesafesi üzerine en çok etkili olan partiküllerin boyutları 0,1-1 μm arasındadır. Bunun nedeni partiküllerin büyüklüklerinin görünen ışınların dalga boylarına yakın olmalarıdır (Gündüz, 1994). Ayrıca hidroskobik özelliğe sahip partikül maddelerin havadaki nem seviyesi arttıkça görüş mesafesini azalttığı çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Partiküller yeryüzüne gelen güneş ışınlarının dağıtarak tekrar uzaya gönderirler. Bu durum özellikle kırsal alanların %15-20 daha az güneş ışığı alması ile sonuçlanır.

Ayrıca atmosferik partiküllerin radyasyonu saçma ve absorblama etkisiyle direkt, bulutların albedo (aklık) ve derinliğini değiştirme etkisi nedeniyle dolaylı olarak iklim değişiminde rolü vardır (Charlson ve ark., 1994).

Yanma sonucu oluşan kükürt dioksit emisyonlarının %5 – 10'u kükürt trioksite (SO_3) dönüşmektedir. SO_3 ortamdaki nem ile reaksiyona girerek sülfirik asiti (H_2SO_4) oluşturur. Havadaki H_2SO_4 'in çoğu yanma reaksiyonlarından kaynaklanırken bir kısmı da asit, gübre ve pigment üretimi gibi endüstriyel faaliyetler sonucu oluşur. H_2SO_4 atmosferde parçacık şeklindedir ve partiküler diğer kirleticilerle birleşme eğilimindedir. Havada bulunan diğer asit parçacıkları; amonyum bisülfat, nitrik asit ve hidroklorik asittir. Bu asit parçacıkları asit yağmurlarını oluşturabilir. Asit yağmurları ise hem insan sağlığına hem de yapı ve malzemelere korozyon gibi etkilere sahiptir.

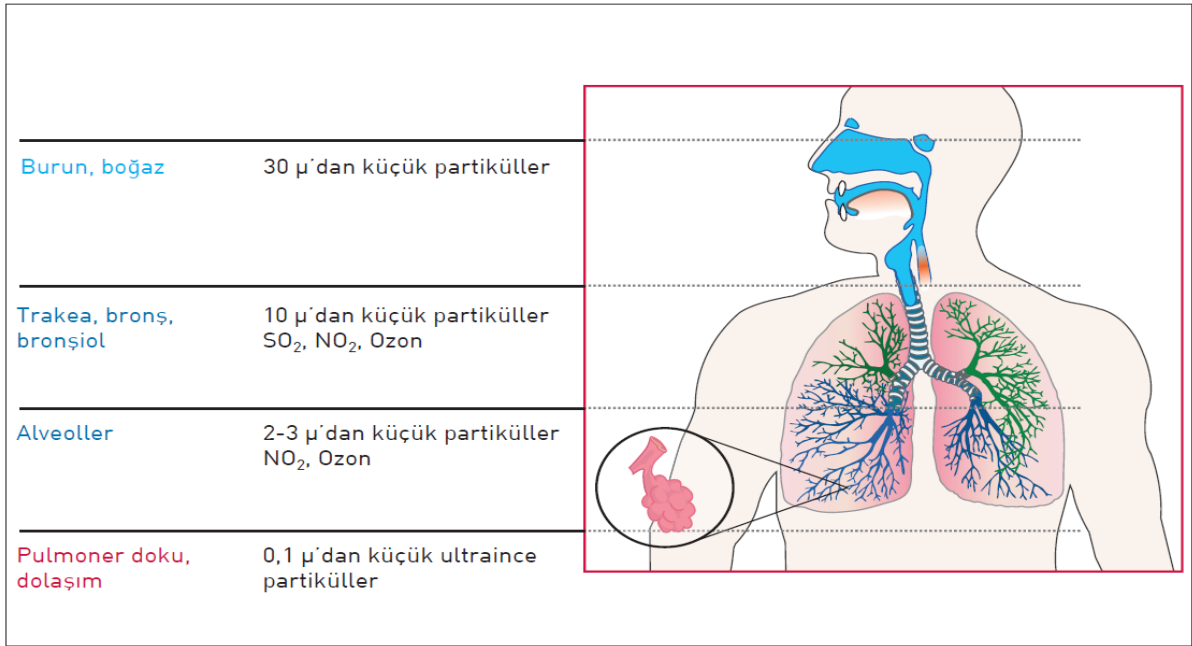
Bunun yanında partikül maddeler bitkiler üzerinde birikerek onların güneş ışığı almalarını engeller. Bu nedenle fotosentez yapamayan bitkide sararma ve çürüme gibi olayların meydana gelmesi görülür.

2.4.2. Partikül Maddenin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Global olarak PM'nin akciğer kanser ölümlerinin %8'ne, kardiyovasküler ölümlerin %5'ine ve solunum yolu enfeksiyonlarının %3'üne neden olduğu tahmin edilmektedir (WHO, 2004, 2006, 2007, 2009).

Partiküllerin hava yollarına girişi öncelikle partikül özelliklerine bağlıdır. Solunan gazın emilim yeri gazın suda çözünürlüğü ile ilişkilidir ve bu nedenle az çözünür gazlar solunum sisteminin daha dış kısmında kalırlar. Örneğin; kükürt dioksit iletilen hava yollarında emilir buna karşın ozon ve nitrojen dioksit alveollere kadar ulaşabilir.

İnsanlarda solunum yolları denilen sistem burun-farinks-larink ve nefes borusundan oluşan üst solunum yolları ile, nefes borusunun ikiye bölünmesiyle meydana gelen bronşlardan oluşur. Bronşlar ise çok sayıda kapiler hava borucuklarına (bronsiol) ayrılır ve bunlar en sonunda alveol dediğimiz hava kesecikleriyle son bulur. Partiküllerin solunum sisteminde ilerlemeleri boyutlarıyla doğru orantılıdır (Şekil 2.6). Çapları 10 μm 'den büyük olan partiküller ağız ve burunda tutulurken, çapları 10 μm 'den küçük olan partiküller solunum sistemine geçerler. Çapı 2 – 3 μm 'den küçük partiküller ise alveollere kadar ulaşır. İnce partiküller (< 0.1 μm) büyük partiküllere oranla daha uzun süre alveollerde kalabilirler. Ayrıca ince partiküllerin yüzey alanı aynı kütledeki büyük partiküllere oranla daha geniştir. İnce partiküllerin bu özellikleri; gazların, tuz, asit, metal gibi çözünür maddelerin emilim ve çözünürlüklerini kolaylaştırır.



Şekil 2. 6. Kirleticilerin solunum yollarında ilerleme özellikleri (ERS,2010).

Solunan partiküller bazı lokal ve sistematik iltihaplanmalara yol açabilmektedir. Bunun en önemli nedeni oksidatif strestir. Oksidatif stres; hava kirliliğinin çeşitli sağlık sorunlarına neden olan potansiyel mekanizmalarından biridir (ERS,2010). Oksidatif stresin ilk basamağını solunan partikülün karbon molekülü ile temas eden akciğer hücreleri tarafından reaktif oksijen radikallerinin salınması oluşturur.

Ayrıca ciğerlerin derinliklerindeki bağıl nem yaklaşık %99 – 99,5 civarındadır. Hidroscobik özelliğe sahip ve alveollere kadar ulaşabilen ince partiküller kimyasal kompozisyonlarına bağlı olarak yüksek nemli bir ortamda boyutlarının yaklaşık 3 – 6 katına kadar büyüyebilirler.

Çapları 10µm'den küçük partiküller kan içindeki karbondioksitin oksijene dönüşmesini yavaşlatarak nefes darlığını sebep olabilirler. Bunun yanında PM konsantrasyonu ve maruz kalma süresine bağlı olarak ciddi sağlık problemleri yaşanmaktadır (Kuzenli ve ark., 2000; Tecer 2009). Bu sağlık problemleri;

- Solunum yolu semptomlarında artış; hava yolu tahrişi, öksürük veya nefes almada zorluklar,
- Akciğer fonksiyonlarında düşüş,
- Astım şiddetlenmesi,
- Kronik bronşit gelişimi,
- Kalp atışlarında düzensizlikler,
- Nonfatal kalp atakları,
- Kalp ve akciğer hastası insanlarda erken ölümler.

Uzun süreli maruziyetlerde insan akciğerlerinde partikül madde birikimi gözlenir. Bu durum partikül maddelerin kronik etkilerinin daha önemli olduğunu göstermektedir.

2.5. Partikül Madde Örneklem, Ölçüm ve Kaynak Belirleme Yöntemleri

Çevre etkilerinin araştırılması, kirlilik/kirletici kaynağının belirlenmesi, toplam partikül bileşenlerin sebep olduğu sağlık etkilerinin ortaya konması amacıyla partikül madde örneklem ve analiz çalışmaları yapılır. Çalışmalar aşağıda belirtilen sıra ile yürütülür;

- ✓ Örneklem yöntemi seçimi, örneklem yer seçimi, örnekleyici filtre seçimi, uygun örnekleyici ekipman seçimi,
- ✓ Toplanan örneklerin analizi için uygun yöntem seçimi,
- ✓ Analizi gerçekleştirilen partiküllerin uygun modelleme metodu ile incelenmesi.

2.5.1. Partikül Madde Örneklem

Atmosferik partikül madde örneklemesi; hava akışının bir absorban madde veya filtre ortamından geçirilerek toplanması esasına dayanır. Örneklem sistemi boyunca hava örnekleyiciye pompalanır ve partikül maddeler çarpışma ve/veya filtrasyon yoluyla toplanır. Çarpma prosesinde girişten itibaren verilen yoğun hava akımı içerisindeki ağır partiküller ağırlıkları nedeniyle hava akışını takip edemezler ve bir yüzeye çarparak ayrılırlar. Filtrasyon prosesinde ise hava akışı bir filtreden geçirilmeye zorlanarak partikül maddelerin filtre yüzeyinde toplanması sağlanır.

Genel olarak örneklem için kullanılan cihazlar;

- ✓ Yüksek hacimli, orta hacimli ve düşük hacimli örneklem sistemleri
- ✓ Partikül boyut ayırmalı örneklem sistemleri

olarak iki sınıfta incelenebilir.

Yüksek hacimli, orta hacimli ve düşük hacimli örneklem sistemleri birim zamanda örneklenen hava hacmi ile örneklem yaparlar. Örneklem girişi; partiküllerin, hava kalitesi yönergelerine uygunluğunun belirlenmesine yönelik bir örneklem yapmak üzere tasarlanmıştır. Genelde, rüzgar hızının ve kaba partikül konsantrasyonlarının yüksek olduğu durumlarda; yüksek, orta ve düşük hacimli örnekleyiciler kullanıldığında, ölçülen TAP (veya APM) konsantrasyonlarında anlamlı farklılıklar olabilir.

Partikül boyut seçici örneklem giriş sistemleri, partikülleri farklı boyutlarda ayıran örnekleyicilerdir ve “çok safhalı örnekleyiciler” olarak da adlandırılırlar. Çok safhalı örnekleyicilerde; kütlelerin çarpma etkilerinin kullanılmasıyla partiküllerin iki ayrı boyutta eş zamanlı olarak toplanması sağlanır.

Örnekleme sistemlerinin amaçları;

- ✓ Çevre havasındaki partikül boyut dağılımı hakkında daha ayrıntılı bilgi sağlamak,
- ✓ Örneklem sonuçlarının kalitesini, rüzgardan bağımsız olarak iyileştirmek,
- ✓ Sağlıkla ilişkili partikül boyut fraksiyon tanımı ile uygunluğu sağlamak için, (Özellikle, 10 µm'nin altındaki partiküler maddeler, torakik fraksiyon veya PM₁₀ 'un gravimetrik ölçümlerinde)

olarak özetlenebilir.

2.5.1.1. Örneklem Bölgesi Seçimi

Partikül madde örneklemesinde kullanılacak cihaz seçimlerinin yanı sıra belirli kriterler çerçevesinde örneklem bölgesi seçimi de yapılmalıdır. EPA'nın 1997 yılında yayınladığı “Guidance for Network Design and Optimum Site Exposure for PM_{2.5} and PM₁₀” isimli rapor örneklem bölgesi seçim kriterleriyle ilgili bir yol göstericidir. Rapora göre bir PM örneklem noktası seçimi; yerel meteoroloji, jeoloji, arazi kullanımı ve PM kaynaklarının birlikte değerlendirildiği bir süreç sonunda belirlenmelidir.

Seçilen nokta öncelikli olarak bulunduğu bölgeyi temsil edebilmeli ve örneklem programının amaçlarına uygun ve güvenilirlikli olmalıdır.

Yer seçiminde göz önünde bulundurulması gereken bazı temel kriterler;

- ✓ *İstasyon bölgesi ölçeği* örneklem programının amaçlarına ve ilgilenilen kaynağın etki alanına bağlı olarak seçilmelidir.
- ✓ *Zaman ölçeği*; meteorolojik parametreler zaman içinde değişim gösterdiğinden örneklem zaman aralığı bu değişimleri temsil edebilecek şekilde seçilmelidir.
- ✓ Bina, duvar gibi engellerden en az 2 m uzakta bulunmalıdır.
- ✓ Örneklem girişi yer seviyesinden 2-15 m yukarda olmalıdır. Yoğun trafik koşullarında potansiyel insan maruziyetinin belirlenmesi için 1,5 m yüksekte olması

tercih edilir. ancak cihaza verilebilecek zararlara karşı gibi sebeplerle genellikle 2,5 m yükseklik kabul edilir.

- ✓ İstasyon bölgesi direkt olarak bir kaynaktan etkilenmemelidir.
- ✓ Örneklem borusu çevresinde, örneklem cihaz çevresindeki hava akışını engelleyebilecek herhangi bir engel olmamalıdır.

Diğer taraftan; örnekleme bölgesine örnekleme yapılabilecek personelin güvenli bir şekilde ulaşmasına dikkat edilmelidir. Ölçüm numunelerinin toplanması, taşınması, stabil halde korunması, cihazın bakımı, filtre değişimi, gibi işlemler için kolay ulaşım imkanlarının sağlanması gerekmektedir. Cihazın çalışması için elektrik bağlantısının sorunsuz sağlanması gerekmektedir.

2.5.1.2. Filtre Seçimi

Partikül madde örnekleme sistemlerinin hepsi havadaki partikülleri bir filtre üzerinde toplar. Filtre malzemesi seçimi yapılacak olan fiziksel veya kimyasal analize bağlı olarak değişim gösterir. Buna göre genel olarak filtre malzemesi özellikleri şu şekilde özetlenebilir;

- ✓ Partiküllerin materyal üzerinde kalmasını sağlayacak şekilde olmalı ama aynı zamanda hava geçişine de izin vermelidir,
- ✓ Filtre, toplanan materyalin toplam kütlesi ve örneklerin kimyasal yapısının da birlikte tayinine imkan vermelidir.

Genel olarak, iki tip filtre vardır:

- ✓ Elyaf (fiber) filtreler
- ✓ Membran filtreler

Elyaf Filtreler

- ✓ Cam elyaf filtreler,
- ✓ Quartz elyaf filtreler,
- ✓ Selüloz (kağıt) filtreler çeşitleridir.

Örnekleme yapılan cihaz ile içeri çekilen hava içindeki Partikül parçacıklar, rastgele yerleştirilmiş olan elyaf etrafından ve içinden veya hasır gibi örülü ve birbirine sıkıştırılmış bir yapı içinden geçerken tutulur. Çoğu zaman filtre ile birlikte filtre tutucuları kullanılır (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7. Filtre tutucusu

Bu filtreler rölatif olarak düşük basınçta, havanın bir taraftan diğer tarafa geçmesi prensibi ile çalışır ve yüksek hacimli örneklem için çok uygundur.

Elyaf filtre çeşitlerine ait özellikler Çizelge 2.8’de özetlenmiştir.

Çizelge 2. 8. Elyaf filtre çeşitleri özellikleri

Elyaf filtre çeşitleri	Özellikleri
Cam elyaf filtreler	✓ Yüksek kapasitelidir. ✓ Kükürt dioksidin sülfata dönüşmesiyle kütle üzerinde oluşan + etkisi ve amonyum nitrat ve amonyum klorürün buharlaşmasından dolayı da etkisi vardır. Bu kütle değişimi daha sonraki kimyasal analizleri etkiler. ✓ Blank değerleri yüksek olduğundan Zn ve Ba gibi eser element analizleri için uygun değildir. ✓ Gravimetrik tayinler için tercih edilmektedir.
Quartz elyaf filtreler	✓ Aralarında en hassas kütle ölçüm imkanına sahiptir. ✓ Kırılgan olmaları nedeniyle dikkatli çalışma gerektirir. ✓ Blank değerleri cam filtrelere göre daha iyi olduğundan eser element analizleri için kullanılabilirler.
Selüloz (kağıt) filtreler	- Örneklem başlangıcında partikül toplama kapasitesi düşük ancak PM yüklenmesi ile toplama kapasitesi artar. - Yükleme kapasiteleri yüksek, blank değerleri düşüktür. - Gravimetrik ölçümler için uygun değildir. - Düşük hacimli örneklem için kullanılmaz.

Membran Filtreler

Partikül maddelerde eser element tayinleri için daha uygun bir örneklem (örneğin, INAA, ED-XRF veya mikroskopik analiz gibi) sağlayan membran filtreler çoğunlukla polikarbonat (örneğin, Nuclepore) ve polytetrafluoroethylene (PTFE, yaygın olarak teflon olarak bilinir) içerir. Filtreler polyesterden de üretilebilir (örneğin; Millipore ve Sartorius) (Yeşilyurt ve Akcan,2001).

Partikül toplama verimi, özellikle Nuclepore filtreler için gözenek boyutlarına bağlıdır. Teflondan yapılan filtreler, çok sayıda üretici tarafından pazarlanmaktadır. Genel olarak teflon filtrelerin problemi, ince olmaları nedeniyle çalışma zorluğu ve pahalı olmasıdır.

Gravimetrik kütle tayinlerinde rutin örneklem için cam elyaf filtreleri kullanılması önerilirken, kimyasal analizlerde teflon, Nuclepore, kuartz gibi diğer tip filtrelerin kullanılması önerilmektedir.

2.5.1.3. Örnekleyici Ekipman Seçimi

Partikül örnekleyici cihazlar

- ✓ Yüksek hacimli, orta hacimli ve düşük hacimli örneklem sistemleri
- ✓ Partikül boyut ayırmalı örneklem sistemleri

Yüksek Hacimli Örnekleyici Yöntemi

Yüksek hacimli örnekleyici, çok karmaşık olmayan tekniği ve dayanıklılığından dolayı hala kullanılan çevre havasındaki partiküler maddelerin toplanması için bilinen en iyi yöntem. Bu sistemlerde genellikle filtre olarak cam elyaf kullanılır. Geçen hava miktarı $1,5 \text{ m}^3/\text{dk}$ (örneğin; filtresiz konumda $2000 \text{ m}^3/\text{gün}$) dür. Örneklem girişi ve toplama filtresi boyutları kullanılan örnekleyici tipine göre değişir. Filtreler, kullanımdan önce ve sonra kararlı sıcaklık ($20-25 \text{ }^\circ\text{C}$) ve nisbi nem (%40-45) koşullarında bekletilerek analitik terazi ile tartılmalıdır. Filtre kağıdı üzerinde biriken TAP kütle konsantrasyonu, filtre üzerindeki ağırlık fazlalığı ve toplam hava akışından hesaplanabilir. Bu yöntem 24 saatlik entegre ve $100 \text{ }\mu\text{m.e}$ kadar olan TAP ölçümleri için uygulanabilir (Yeşilyurt ve Akcan, 2001).

Orta / Düşük Hacimli Örnekleyici Yöntemleri

Bu sistemlerde hava geçişi 100 l/dk ($150 \text{ m}^3/\text{gün}$) dır. Örneklem girişi ve filtre çapı yaklaşık 5 cm. dir. Örneklem etkinliği, rüzgar hızına kuvvetle bağlıdır.

Düşük hacimli örnekleyicide, günlük hava geçişi sadece birkaç ($\cong 2$) $\text{m}^3/\text{gündür}$. Örneklenen düşük hacimden dolayı, gravimetrik deteksiyon limiti oldukça yüksektir (onlarca $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Düşük hacimli örnekleyici yöntemi, mikro-terazi ve kontrollü sıcaklık ve nem koşullarının bulunmaması durumunda, gravimetrik uygulamalar için kullanılamaz; sadece partikül yüklü filtrelerin analizi amacıyla yönelik olarak kullanılabilir. Düşük hacimli örnekleyici yöntemi, metal ve ikincil aerosol analizleri için, bazı durumlarda, koyuluk ölçümleri için kullanılabilir (Yeşilyurt ve Akcan, 2001).

Partikül Boyut Ayrılmalı Örneklem Sistemleri

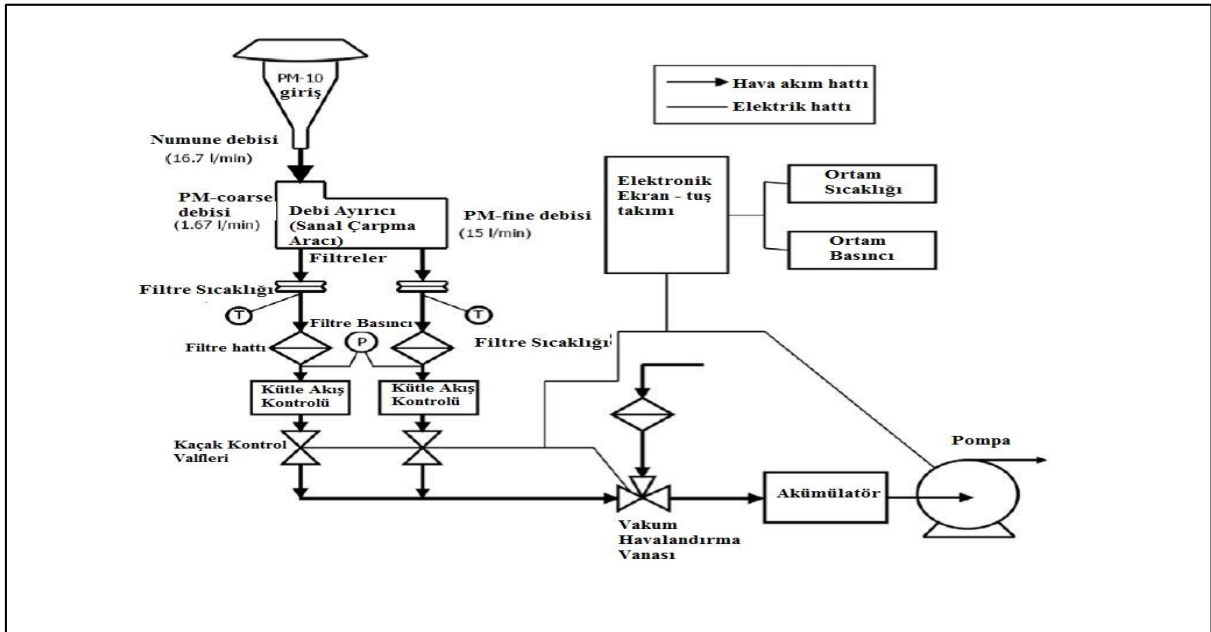
Torakik partikül fraksiyonunu belirlemek için; yüksek hacimli ve orta hacimli örnekleyicilere uygun bir PM₁₀ girişi monte edilebilir. “Düşük hacimli örnekleyici+PM₁₀ örnekleyicisinin” birlikte kullanımı anlamsızdır; çünkü düşük hacimli örnekleyici, çapı 10 µm. den küçük olan partikülleri örnekler.

Yöntem, 1-5 µg/m³ ün üzerindeki konsantrasyonlardaki, PM₁₀ un 24 saatlik entegre ortalamalarının ölçülmesi için uygundur. İmpaktör tipi cihazlar, siklon tip cihazlara göre, kritik yüzeyler üzerinde daha az kirliliğe sebep olur. Böylece örneklem karakteristikleri, uzun örneklem periyotları sonunda hafifçe kötüleşir (Yeşilyurt ve Akcan, 2001).

Dichotomous Sampler

Atmosferik partikül maddelerin Aktif örnekleme yöntemlerinde partikül toplayıcı ekipman olarak PM₁₀-PM_{2.5} Sıralı Toz Örneklem Cihazı (Dichotomous Sampler) kullanılır.

Cihaz, atalet kuvvetlerinin çarpma etkisi prensibine göre farklı boyutlardaki parçacıkları ayırabilmektedir (Şekil 2.8). Dichotomous cihazı giriş başlığından PM₁₀ boyutundaki partiküller girer, cihaz içindeki bir kütle ayırıcısıyla PM_{2.5} partiküller bir filtre üzerinde toplanırken, PM_{2.5-10} partiküller ise başka bir filtre üzerinde toplanmaktadır. Böylece birinci filtrede aerodinamik çapı 2.5 µm’den küçük partiküller, diğerinde ise aerodinamik çapı 2.5 µm ile 10 µm arasında olan partiküller toplanmış olur.



Şekil 2. 8. Dichotomous örnekleyicisi çalışma prensibi

Örnekleyicinin toplam debisi 1 m³/saattir. Bu debinin 0.9 m³/saat i PM_{2.5} partiküllerinin, 0.1 m³/saat i ise PM_{2.5-10} partiküllerinin kütleli ayırımında kullanılmaktadır. Partiküllerin atalet etkilerine göre bu iki ayrı debi sayesinde ayrılarak farklı kanallardan farklı filtrelele taşıırlar.

Örnekleyici içerisine filtreler yerleştirilmeden önce ve örneklem gerçekleştirildikten sonra filtre nem etkisinden korunması için 24 saat süreyle desikatörde bekletilmelidir.

2.5.2. Partikül Madde Ölçüm ve Analiz Yöntemleri

Örnekleyici cihaz ile filtrelele toplanan partiküllerin analizi; fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir. Temel olarak 3 farklı tip analiz yapılır:

- Kütlesinin tayini,
- Toplanan partiküler maddenin boyut dağılımının karakterizasyonu,
- Partikül fraksiyonlarının kimyasal analizleri.

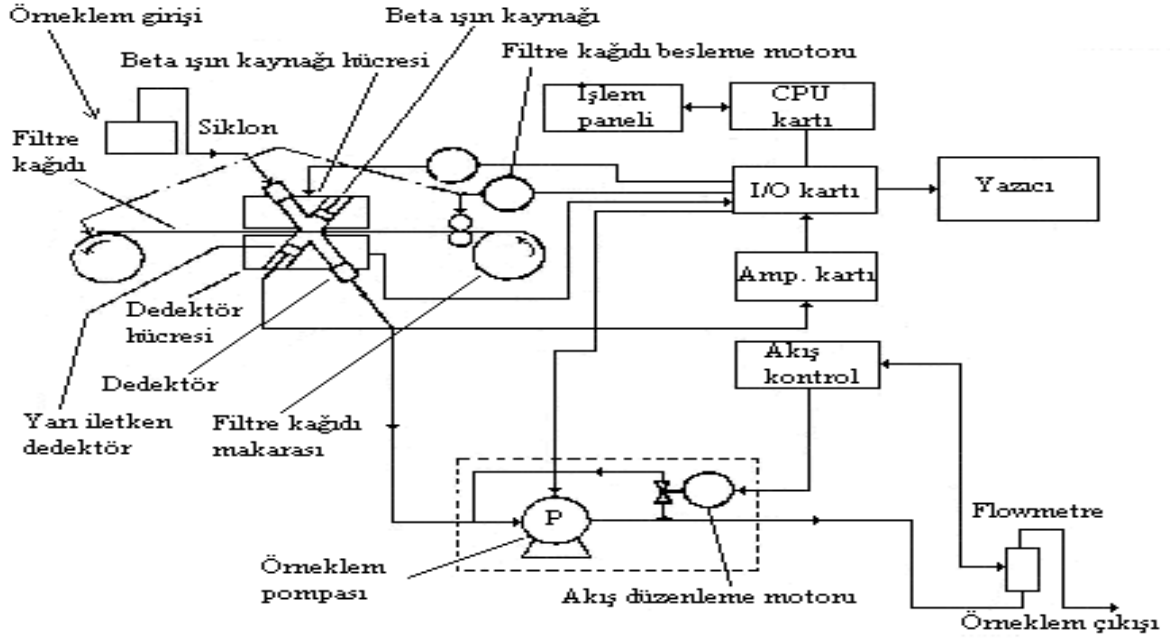
2.5.2.1. Kütle Tayini

Gravimetri

Filtredeki kütle ölçümünü bulmak amacıyla laboratuvar şartlarında yapılan gravimetri analizi; sıcaklık ve bağıl nemin kontrol edildiği evre şartlarında filtrenin örnekleme öncesi ve sonrasın tartılmasıyla bulunan net kalıntı miktarını belirtir.

Radyometri / ̢ Işını Absorbsiyonu

Bu metoda göre; partiküller bir filtre kağıdı üzerinde toplanır ve üzerine ̢ ışınları gönderilir. Absorblanan beta ışını, toplanan partiküllerle orantılı olarak artar. Madde düşük enerji seviyelerinde ışınlanır ve ışınların bir kısmı absorblanır, bir kısmı yansır. Filtre kağıdı üzerinde toplanan partikül maddelerin beta ışınları tarafından ışınlanmasıyla, toplanan madde miktarı tayin edilir (Yeşilyurt ve Akcan,2001).



Şekil 2. 9. β ışını absorpsiyon yöntemi akış şeması

β yöntemi; sürekli, on-line veri temini, otomatik ve pratik olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Geçen beta ışınının yoğunluğu ile partiküler madde miktarı arasında, aşağıdaki eşitlikle, bağıntı kurulur.

$$I = I_0 (-u_m/X_m)$$

I: Filtre ve partiküller üzerinden geçen beta ışını yoğunluğu

I₀: Sadece filtre üzerinden geçen beta ışını yoğunluğu

u_m: Kütle absorpsiyon sabiti (cm²/gr)

X_m: Partiküler maddenin kütlesi

Bu eşitlikten APM nin kütlesi:

$$X_m = 1/u_m \ln(I_0/I) \text{ olarak hesaplanır.}$$

APM nin konsantrasyonu da;

$$C = S/V \times X_m \times 10^3 = (S/V) \ln(I_0/I) \times 10^3 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Burada;

C: APM nin konsantrasyonu µg/m³)

S: Toplama yüzeyi (cm²)

V: Geçen hava hacmi (m³)

Reflektometri / Siyah Duman

Partikül yüklü filtrelerin gözlenen koyuluğu, çevre havası aerosolünün toplam grafitik karbon içeriğinin ölçümü olarak yorumlanır. Koyuluk, bir blankten (R_0) ve partikül yüklü filtreden (R) geçirilen beyaz ışığın reflektansının karşılaştırılması ile belirlenir. Yansıyan ışın, filtre yüzeyindeki partikül üzerinden iki defa geçer ki;

$$\ln (R/R_0) = 2 \ln (I/I_0) \text{ dir.}$$

Burada I_0 beyaz ışığın şiddeti ve I partikül tabakasından geçen ışığın şiddetidir. Pratikte, partiküller, filtre ortamı içine, filtre tipi ve yüzey hızına bağlı olarak nüfuz ederler. Bu yansımayı artırır ve geçişi azaltır. Bundan dolayı, OECD kalibrasyonu sadece Whatman #1 filtre kağıdı ve/veya cam elyaf filtreleri için verilmiştir (klasik OECD metodunda önerildiği gibi). Sadece bu şartlar altında, OECD kalibrasyon eğrisini, standart siyah duman eşdeğer $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak koyuluğa çevirmek, uygulamayı anlamlı hale getirir. Siyah duman yöntemi, sadece evsel ısınma amacıyla kömür yakılan durumlarda, kömürün tam yanmaması sonucu oluşan karbon partikülleri için anlamlıdır (Yeşilyurt ve Akcan,2001).

Nefhelometri / Işık kırınımı

Bu yöntem, absorbe olmayan beyaz partiküllerin, özellikle ikincil aerosoller (sülfat+nitrat+ amonyum) için üstün bir yöntemdir (Yeşilyurt ve Akcan,2001).

Piezoelektrik terazi yöntemi

Partiküllerin yapışmasıyla bir quartzın frekansındaki düşüşten, kütle konsantrasyonu olarak elde edilen hassas bir metoddur.

Çizelge 2.9’da partikül maddelerin fiziksel özelliklerinin ölçümünde kullanılan bazı cihazlara ait bilgiler özetlenmiştir.

Çizelge 2. 9. Partikül maddelerin fiziksel özelliklerinin analizinde kullanılan cihazlar (Süren, 2007).

CİHAZ	ÖLÇME PRENSİBİ	ÖLÇME ARALIĞI	NOT
Filtre Kağıdında Toplama	Diferansiyel gravimetrik kütle ölçümü	TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} >0.1 mg	Nispeten ucuz
Kuvars Kristal Mikroterazi	Titreşim frekansındaki değişime dayanan kütle ölçülmesi (yakın gerçek-zaman)	TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	Yüksek kütle konsantrasyonu ve geniş partikül ölçüm limiti, daha pahalı
TEOM	Titreşim frekansındaki değişime dayanan kütle ölçülmesi (yakın gerçek-zaman)	TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	Yarı uçucu bileşenler ve fazla yükleme problemleri nedeniyle düşük ölçme eğiliminde. Hızlı değişen şartlar için uygun değil. Daha pahalı.
Kaskat Etki Metodu	Aerodinamik boyut ayırımına dayalı kütle dağılımının ölçülmesi	0.1 - >10 µm	Kütle dağılımında çok kullanılan bir cihaz, nispeten ucuz.
Elektriksel Düşük Basınç Etkisi	Aerodinamik boyut ayırımına dayalı kütle dağılımının ölçülmesi (gerçek-zaman)	0.1 - >10 µm	Partikül örneklerinin yüklenmesine ve etki alanında partiküllerin topladığı akımı ölçmeye dayanan yeni bir teknik
Hareketli Partikül Boyutu Tarayıcısı (SMPS)	Elektrik alanda yüklü partiküllerin yakın gerçek-zaman tespitine dayanır.	0.01 – 1.00 µm	Sayı dağılımı için sık kullanılan bir cihaz, çok pahalı.
Beta Ölçüm Cihazı	Aerosollerin filter üzerinde depolanmasıyla azalmanın belirlenmesine dayanır (gerçek zaman)	TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	Gerçek zaman partikül ölçümünde yaygın kullanılır, orta pahalılıkta.
Tümleyici Nefelometre	Aerosoller tarafından saçılan ışığın ölçümüne dayanır	TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	Genelde görüş mesafesi için kullanılır. Hassasiyeti zayıfır. Nispeten ucuz.
Yoğunlaşmış Partikül Sayıcı	Yakın gerçek-zaman optik belirleyici, partikül yoğunlaşarak büyüdükten sonra.	0.003 - 3 µm	Bağımsız olarak veya SMPS ile birlikte kullanılır, pahalı.

2.5.2.2. *Elementel Analiz*

Elementel analiz yöntemleri, sağlık etkilerinin araştırılması ve partikül madde kaynak paylaşırma çalışmalarının yapılması amacıyla gerçekleştirilir. Partikül örneklerinin elementel analizi için çeşitli metotlar vardır.

1. X-ray Fluorescence (XRF)
2. Nötron Aktivasyon Analizi (NAA)
3. Particle Induced X-ray Emission
4. Atomic Absorption Spectrometry (AAS)
5. Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)
6. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)
7. Ion Chromatography (IC)

X-ray Fluorescence (XRF);Yüksek x-rays enerjisine maruz bırakılan filtre kalıntısı örneğindeki her bir elementin atomlarının iç kabuklarından elektron atılır. Yüksek enerjili elektron düşük enerjili boş orbitale düşer ve belli bir sayıda flüoresan fotonu her bir elementin konsantrasyonuyla orantılı olarak yayılır. Dalgaboyu dağıtıcı XRF (WDXRF) ve Enerji Dağıtıcı XRF (EDXRF) şeklinde iki türü vardı.

Numunelerin parçalanmasını gerektirmeyen nükleer esaslı teknikler olan XRF, NAA ve PIXE; filtrelerin çözünme ihtiyacı olmaması ve pek çok element için hassasiyetinden dolayı elementlerin çoğu için çok uygundur.

AAS, ICP – AES, ICP – MS, IC analiz yöntemleri numunenin parçalanmasını gerektirir. AAS’de tek element tayinleri mümkünken, ICP – AES, ICP – MS birden çok element tayini gerçekleştirilebilir.

İyon kromatografi yöntemi, anyonların [S-bileşikleri, (NO₃)⁻, (Cl)⁻, (Br)⁻, (F)⁻, (I)⁻, (HPO₄)⁻², (BrO₃)⁻, karboksil (COOH)⁻ gibi] ve katyonların [(NH₄)⁺, (Na)⁺, (K)⁺, (Ca)⁺², (Mg)⁺² gibi] ppb’den daha düşük konsantrasyonlarının tayini için geniş ölçüde kullanılabilir. Bu yöntem genellikle, halojenler, kükürt bileşikleri, (NH₄)⁺ ve (NO₃)⁻ tayinleri için kullanılırken, partiküler madde içeriği ağır metal analizi için düşünülmez. AES veya AAS’ de olduğu gibi, IC tekniğinde de numunenin parçalanması için özel bir işleme ihtiyaç vardır.

Inductively Coupled Plasma (ICP) Emission Spectroscopy Analizi: Çözünmüş numune tesla bobini ile çevrelenen ve yüksek gerilimle indüklenen serbest elektronlarla yüklenmiş bir argon gazı içine sokulur. İndüktif plazmadaki yüksek sıcaklıklar en yüksek değerdeki elektronların normalde kararlı durumlarının üstünde yükseltir. Bu elektronlar kararlı durumlarına döndüklerinde, heyecanlı olan elemente özgü bir ışık fotonu yayılır. Bu ışık, numunedeki elementleri tanımlamak için belirli dalga boylarında tespit edilir. ICP-AES, atmosferik numuneler için kabul edilebilir saptama limitleri olan küçük örnek hacimleri kullanarak çok sayıda element konsantrasyonu elde eder. AAS'de olduğu gibi bu yöntem, numunenin tamamen çıkarılmasını ve yok edilmesini gerektirir (Chow ve Watson, 1998).

2.5.3. Partikül Madde Kaynak Belirleme Yöntemleri

Zenginleştirme Faktörü

Zenginleştirme faktörü elde edilen numunelerin antropojenik ve doğal kaynaklarını ayırt etmek için kullanılır. Partikül madde içeriğindeki “E” elementinin “ZF” değeri şu şekilde hesaplanır:

$$ZF_E = \left(\frac{C_E}{C_R}\right)_{PM} / \left(\frac{C_E}{C_R}\right)_{REFERANS}$$

C_E : zenginleşme faktörü hesaplanan element konsantrasyonu
 C_R : referans element konsantrasyonu

Partikül madde içindeki element konsantrasyonlarının referans olarak alınan element konsantrasyonlarına oranıyla bulunur. Karasal zenginleştirme faktörü hesaplanırken genelde Al, Fe, Sr, Ti, Mn, Si elementleri referans alınırken, denizsel zenginleşme faktörü hesaplanırken genelde Na ve Cl elementleri referans alınır.

ZF <10 için, elementlerin doğal kaynaklardan köken aldığı ve 10'dan fazla ZF değeri için antropojenik kaynaklardan türetildiği varsayılmaktadır (Kothai, 2011).

Reseptör Modeller

Emisyon envanteri ve kimyasal – taşınım modelleri partikül madde kirliliğinin değerlendirilmesinde önemli araçlardır. Bu modeller alıcı ortama kirletici kaynağın katkısını tahmin için kirletici emisyonlarını, meteorolojik verileri ve kimyasal mekanizmaları kullanılır.

Ancak bu modeller genellikle önemli miktarda kaçak PM kaynaklarını belirleyememe gibi sınırlamaları vardır (Almeida ve ark., 2005). Ayrıca parçacık – gaz dönüşüm modelleri ikincil partikül katkılarını yeterince açıklayamaz.

Bu nedenle reseptör modelleme önemli bir araçtır. Hava kalitesi modellenmesi (reseptör modeller) emisyonları azaltmak ve hava kalitesini arttırmak için yapıcı bir politika izlenmesine yardımcı olur. Reseptör modeller; alıcı ortamda hava kirletici kaynakları tanımlamak ve nicel analizini yapmak amacıyla kullanılan çok değişkenli matematiksel ve istatistiksel yöntemlerdir. Reseptör modeller reseptör konsantrasyonuna, kaynak katkısının varlığını ve miktarını belirlemek için, kaynak ve reseptörde ölçülen, gaz ya da partiküllerin kimyasal ve fiziksel karakteristiği kullanılır (USEPA, 2008).

Reseptör modeller PM kaynak katkılarını belirlemek için hava kirleticilerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini kullanır.

Reseptör modellerde 4 temel başlık altında incelenebilir;

- Kimyasal kütle dengesi (CMB)
- Pozitif matriks faktörler (PMF)
- Temel bileşen analizi (PCA)
- Sınır Analizi (UNMIX)

Reseptör modelleri emisyonlardan kaynaklanan PM_{2,5} kimyasal konsantrasyonları yanında öncelikle kaynak katkılarının bilinmesi gerekip gerekmediğine göre iki farklı kategoriye ayrılabilir (Hopke, 2003).

CMB çalışma alanındaki önemli kaynaklara (N) ve emisyon özelliklerine (f) ilişkin önceden bilgi sahibi olmayı gerektirirken, diğerleri (faktör analizi, PMF gibi) kaynak dağılımını gerçekleştirmek için yalnızca ortam ölçüm verileri gerektirir (Lee ve ark., 2008).

Hem CMB hem PMF ölçülen ve tahmini konsantrasyonlar arasındaki farkları en aza indirgeyerek ağırlıklandırılmış en küçük kareleri (girdi verileri belirsizliklerine göre) kullanmaktadır (Lee ve ark., 2008).

PMF kaynak faktörlerini ve profillerini açıklamak için önemli miktarda ortama ait örnekler gerektirirken, CMB’de zaten kaynak profilleri bilindiği için her sayıda numuneye uygulanabilir (Lee ve ark., 2008).

PMF tekniği, çeşitli değişkenlerin (örn; türler arasında örnekten örneğe değişim) varyasyonu üzerine kurulmuş bir faktör analiz tekniğidir. Bu değişkenler orjinal değişkenlerle ilişkili olan küçük bir faktör setini tanımlar (örn; kirletici kaynakları). PMF tekniği, maksimum veri kullanımı ve minimum eksik veri ya da belirleme limiti altındaki değerlerin çıkarımının diğer reseptör modellere göre daha iyi yapılmasını sağlar.

Modelin matematik temeli ve özellikleri

EPA tarafından önerilen reseptör modellerden biri olan PMF tekniğinin mevcut son versiyonu (PMF 5.0)'dır ve 24 saatlik PM, boyut-çözünürlüklü aerosoller, birikim örnekleri, havada bulunan toksik bileşikler ve VOC'ler üzerinde çok geniş uygulamaları mevcuttur.

Genel model, bir reseptörü etkileyen p adet kaynak olduğunu ve bu etkinin p adet faktörün lineer kombinasyonlarının çeşitli türlerin gözlenen konsantrasyonlarını arttırdığını kabul eder (EPA-PMF, 2014). Matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir;

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik}f_{kj} + e_{ij}$$

Burada;

- x_{ij} :bir reseptörde i örnekleme gününde ölçülen j . Tür için konsantrasyon değer
- g_{ik} : k faktörünün i örneğindeki katkısının kirletici kütle konsantrasyonu cinsinden değer
- f_{kj} : j türünün k kaynağından oluşan kütle fraksiyonu
- e_{ij} : j türünün i günündeki kalanı (residual)

Bu formüle karşılık gelen matriks aşağıdaki şekildedir:

$$X = GF + E$$

Burada;

- X : $n \times m$ data matriks- n ölçüm ve m sayıda bileşik
- E : $n \times m$ data matriks- kalanlar için (residual)
- G : p adet kaynaktan $n \times p$ kaynak katkı matriksi
- F : $p \times m$ kaynak profil matriksi

EPA-PMF’de yalnızca x_{ij} değişkeninin bilindiği kabul edilir ve amaç katkı değerini (g_{ik}) ve fraksiyonları (ya da profilleri) (f_{kj}) tahmin etmektir. Katkı ve kütle fraksiyonlarının tümünün non-negatif olduğu kabul edilir. Bu yüzden “sınırlamalar” en küçük karelerin bir parçasıdır. Buna ek olarak, EPA-PMF kullanıcıya her bir x_{ij} hesaplamasında ne kadar belirsizlik olduğunu da verir (USEPA-PMF, 2008). PMF, her bir örnekteki belirsizliğe dayanarak $Q(E)$ fonksiyonunu minimize eder. Bu fonksiyon aşağıda verildiği şekildedir;

$$Q(E) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{x_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj}}{u_{ij}} \right]^2$$

Burada; u_{ij} , i örnekte ölçülen, j elementteki belirsizlik tahminidir.

2.6. Partikül Maddenin Emisyon ve Sınır Değerleri

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği 06.06.2008 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Buna göre; dış hava da bulunabilecek partikül maddelerin sınır değerleri Çizelge 2.10’da özetlenmiştir.

Çizelge 2. 10. HKKY ’nde PM ’ler için verilen sınır değerler, (HKDYY,2008)

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih
PM ₁₀	24 saatlik	50 µg/m ³	30 µg/m ³	20 µg/m ³	1 Ocak 2019
	Yıllık	40 µg/m ³	14 µg/m ³	10 µg/m ³	1 Ocak 2019
Kurşun	Yıllık	0,5 µg/m ³	0,35 µg/m ³	0,25 µg/m ³	1 Ocak 2019
Kirletici	Hedef değer		Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih
Arsenik	6 ng/m ³		3,6 ng/m ³	2,4 ng/m ³	1 Ocak 2020
Kadmiyum	5 ng/m ³		3 ng/m ³	2 ng/m ³	1 Ocak 2020
Nikel	20 ng/m ³		14 ng/m ³	10 ng/m ³	1 Ocak 2020

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çorlu İlçesi Genel Tanıtımı ve Örnekleme Bölgesi

Marmara bölgesinde yer alan Çorlu ilçesi Tekirdağ iline bağlıdır. Şehir $41^{\circ} 9' 20.923''$ kuzey enlemi ile $27^{\circ} 48' 49.934''$ doğu boylamı arasında yer almaktadır. Yüz ölçümü 899 km²'dir ve rakım 193 m'dir. Çorlu ilçesi doğuda İstanbul, batıda Tekirdağ ili ve Muratlı ilçesi, kuzeyde Saray ve Çerkezköy İlçeleri ve güneyde Marmara Ereğlisi ve Marmara Denizi ile çevrilidir (Şekil3.1). İlçenin bulunduğu arazinin görünümü dalgalı düzlükler şeklinde ve engebesizdir, eğim değerleri yüksek değildir. Çorlu ilçesi ayrıca İstanbul'u Edirne'ye bağlayan D100 karayolu üzerinde bulunur. Ulaşım olanakları nedeniyle Tekirdağ'ın ekonomik, sosyal ve kültürel açıdan en gelişmiş ilçesidir.



Şekil 3. 1. Çorlu ilçe sınırları

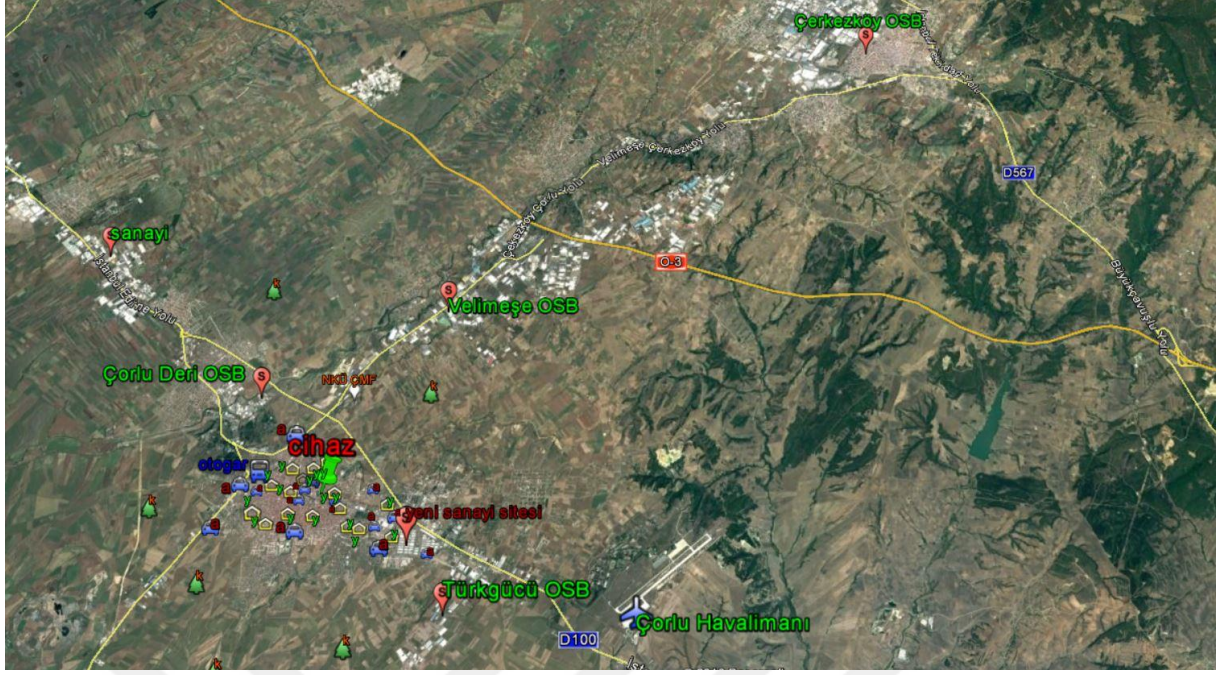
Partikül madde örnekleme yeri seçimi EPA “Guidance for Network Design and Optimum Site Exposure for PM_{2,5} and PM₁₀” (EPA, 1997a) isimli raporu göz önüne alınarak belirlenmiştir. Buna göre;

- Seçilen bölge öncelikle örnekleme programına uygun olmalıdır.

- Seçilen bölge bölgeyi temsil edebilmeli ve güvenli örnekleme (herhangi bir kaynaktan direkt etkilenebilir) yapılabilir olmalıdır.
- Bölgenin jeolojik meteorolojik koşulları göz önüne alınmalıdır.
- Meteorolojik koşullar zaman içinde değişim gösterebileceğinden örnekleme için seçilen zaman periyodu bu değişikliği temsil edebilecek şekilde ayarlanmalıdır.
- Örnekleme cihazı bina, duvar gibi engellerden en az 2 – 2,5 m uzakta olmalıdır.
- Örnekleme cihazında bulunan örnekleme giriş noktası yer seviyesinden 2 – 15 m yüksekte olmalıdır.
- Örnekleme cihazı için gerekli elektrik kolay ve güvenilir bir şekilde temin edilebilmelidir.
- Örnekleme yapacak personel için ulaşımın kolay olduğu bir nokta olmalıdır.

Bu kriterler göz önüne alınarak 1 adet Dichotomous PM aktif örnekleme cihazı şehir merkezinde Şekil 3.2’de gösterilen 41°9’28” ile 27°48’4” koordinatlarına yerleştirilmiştir. Cihazın bulunduğu noktaya en yakın yol güzergahı 150 m uzaktadır. Ayrıca cihaza en yakın yerleşim noktası 200 m’dir ve en yakın sanayi 2 km’dir. Bu çalışma TÜBİTAK 114Y576 numaralı projenin bir parçasıdır. Projede çalışmanın amacına uygun olarak kentsel alan örneği Çorlu ilçesi seçilmiştir.

Çorlu ilçesi çevresinde pek çok organize bölgesi ve sanayi bulunmaktadır. Şekil 3.2’de de görüldüğü gibi ilçenin kuzeybatısında Çorlu Deri OSB ve tekil sanayiler, yakma tesisi (Modern Enerji), kuzeydoğusunda Velimeşe OSB ve Çerkezköy OSB, güneydoğusunda Türkgücü OSB ve çoğunlukla oto – tamircilerinin bulunduğu yeni sanayi sitesi bulunmaktadır. Ayrıca Çorlu’nun güney doğusunda ve doğusunda maden, kum ve taş ocakları, bulunmaktadır. İlçe çevresinde bulunan Organize Sanayi Bölgelerinde yapılan faaliyetler Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3. 2. Çorlu çevresinde bulunan sanayiler.

Çizelge 3. 1. Çorlu çevresinde bulunan OSB'lerin faaliyetleri ve örnekleme bölgesine olan uzaklıkları

Organize Sanayi Bölgesi (OSB)	Cihaza olan uzaklıkları	Faaliyetleri
Çorlu Deri OSB	3,40 km	Deri ile ilgili ürünlerin imalatı.
Velimeşe OSB	6,06 km	Tekstil ürünleri, metal sanayi, kimyasalların ve kimyasal ürünlerin üretimi, makine üretimi, çimento, plastik.
Çerkezköy OSB	20,57 km	Elektrikli teçhizat üretimi, kimyasalların ve kimyasal ürünlerin üretimi, mobilya imalatı, metal ürünlerin imalatı, ilaç ürünleri imalatı, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı, tekstil ürünleri imalatı, deri ile ilgili ürünlerin imalatı, kağıt ve kağıt ürünleri imalatı.
Türkçücü OSB	4,74 km	Tekstil ürünleri, yapı kimyasalları, makine, plastik, maden ocakları
Tekil sanayiler	10 km	kağıt ve kağıt ürünleri imalatı, ilaç ürünleri imalatı, gıda, temizlik ürünleri üretimi, tekstil.
Yeni sanayi sitesi	2 km	Oto tamirâtı

Bölgede bulunan tekstil firmalarının çoğu kömür kullanmaktadır. Bölgenin kuzey batısında Modern Enerji'ye ait bir adet yakma tesisi bulunmaktadır. Tesis, toplam 27,6 mw/s elektrik veya 100 ton/s buhar üretme kapasitesine sahiptir (Anonim, 2017).

Çorlu ilçesi trafiğinde kayıtlı motorlu araç sayısı TUİK'ten alınan verilere göre 2014 yılında toplam 68065 adettir. Araç trafiğinin gün içinde en yoğun Salih Omurtak Caddesi'nde görülmektedir. Bunu Kumyol Caddesi, Cumhuriyet Bulvarı, Atatürk Bulvarı ve Çetin Emeç Bulvarı takip etmektedir (Şekil 3.3).

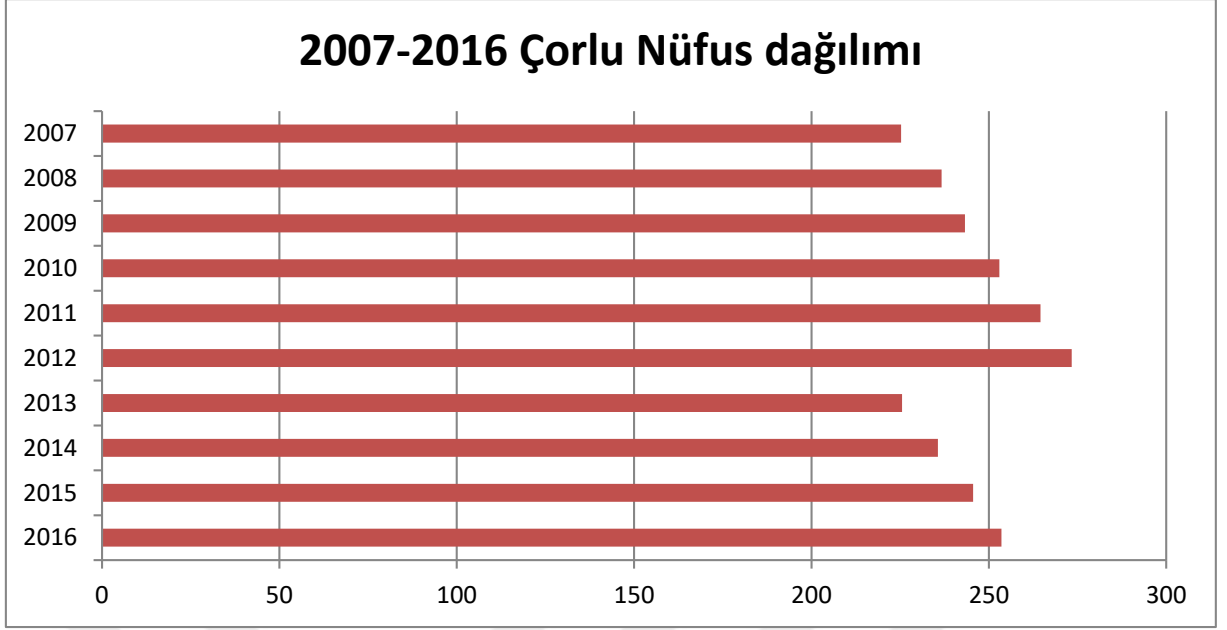


Şekil 3. 3.Çorlu yoğun caddeleri ve yerleşim

Çorlu ilçesi ısınma amacıyla kömür kullanımına hala devam etmektedir. Özellikle ilçenin kuzey kısımlarında yer alan Hıdırağa Mahallesi, Silahtarağa Mahallesi, Cemaliye Mahallesi, Kemalettin Mahallesi, Hatip Mahallesinde kömür kullanımı yaygındır.

3.1.1. Nüfus

İlçede özellikle 1980'lerden sonra sanayi faaliyetlerinin ön plana çıkması, ayrıca konumu gereği İstanbul ve batı sınırına yakın olması nüfusunda önemli artışlara neden olmuştur. Çorlu ilçesi nüfusu 2016 yılında 253551 kişidir. İlçeye ait 2007 – 2016 yılı nüfus artış grafiği Şekil 3.4 'te verilmiştir (Anonim 2017b). Bu grafiğe göre ilçe nüfusunda dönemsel olarak artış ve azalışlar gözlenmektedir.



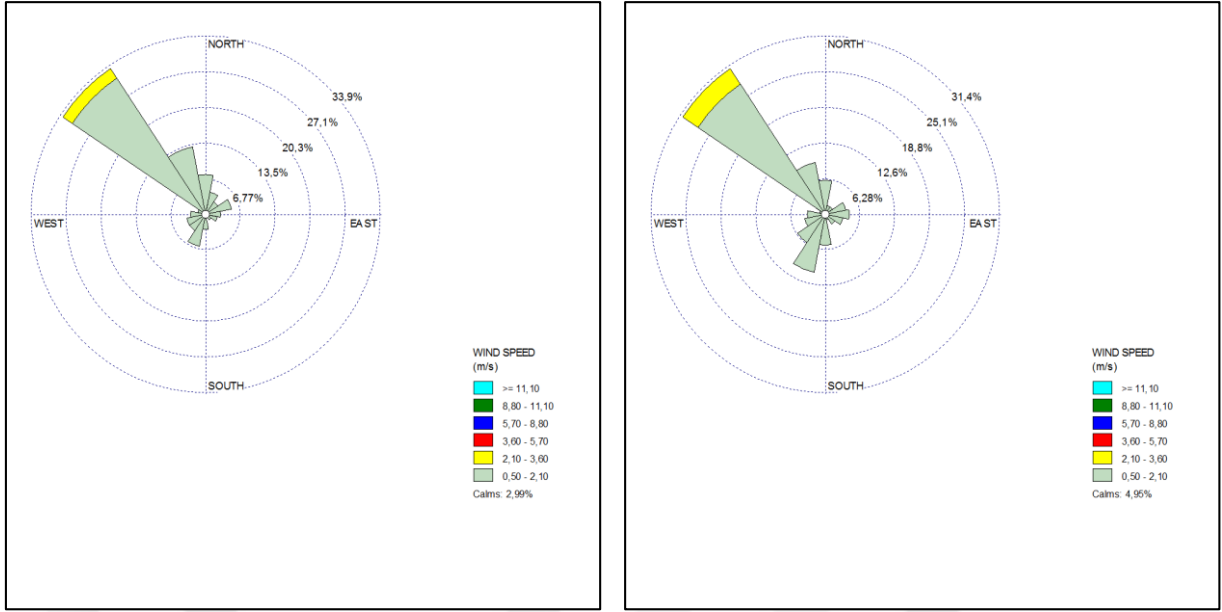
Şekil 3. 4. 2007- 2016 yılı Çorlu ilçesi nüfus artış grafiği

3.1.2. Meteoroloji ve İklim Yapısı

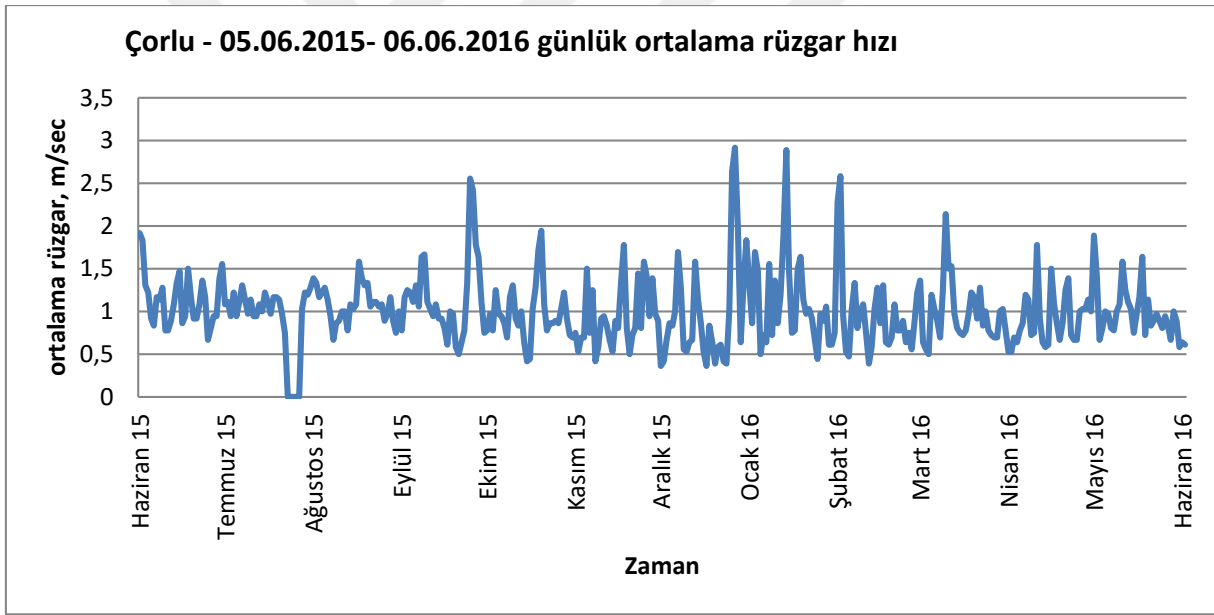
Çorlu, Karadeniz, Akdeniz ve karasal iklim özelliklerinin bir arada görüldüğü bir geçiş tipi iklimin altındadır. Kuzeyden inen soğuk hava kütleleri ile güneyden, Akdeniz ve Ege'den gelen nemli-ılık hava akımları bölge iklim yapısını etkiler (Tosun, 2007).

Rüzgar:

Çorlu ilçesinde rüzgar genel olarak kuzey – kuzeydoğu yönünde esmektedir. Örneklem bölgesi alanında örneklem periyodu (05.06.2015 – 06.06.2016) boyunca ölçülen hakim rüzgar yönü Şekil 3.5'teki rüzgar gülü ile verilmiştir. Çalışma dönemi (05.06.2015 – 06.06.2016) boyunca ortalama rüzgar hızı 1,02 m /sn'dir. Ayrıca ölçüm periyodu (05.06.2015 – 06.06.2016) boyunca belirlenen kış döneminde (01.11.2015 – 30.04.2016) ölçülen rüzgar hızı ortalama 0,97 m/sn'dir ve yine kuzeydoğu yönünden esmektedir. Çalışmanın yapıldığı 05.06.2015 – 06.06.2016 tarihleri arasında Çorlu ilçesi günlük ortalama rüzgar (m/sn) değerleri Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3. 5. Çalışma Dönemi ve Kış Dönemi rüzgar gülleri



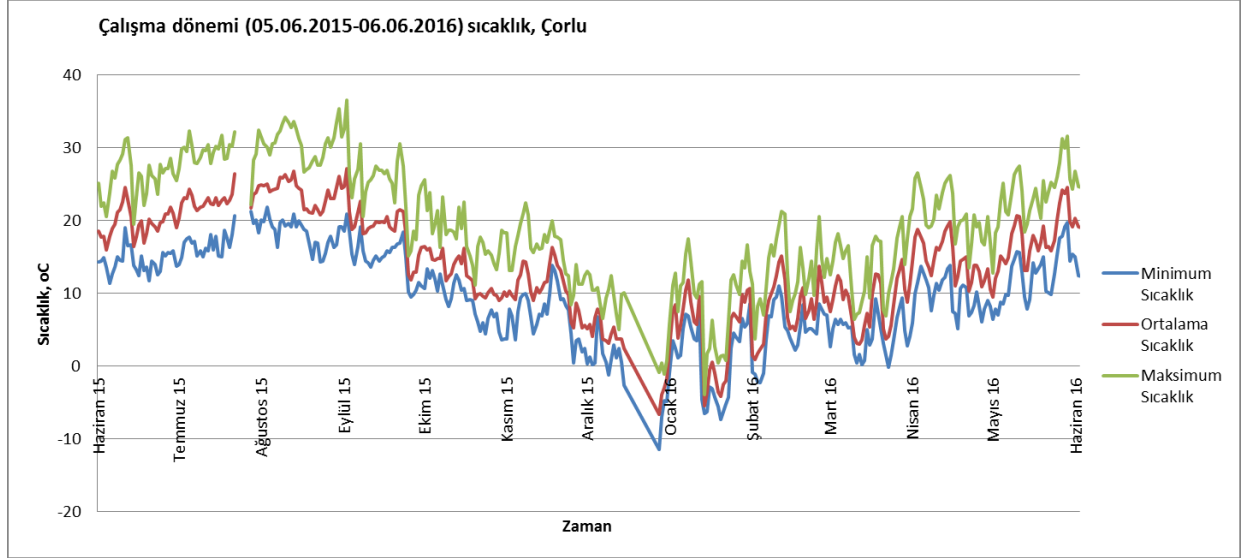
Şekil 3. 6. Çorlu - Günlük ortalama rüzgar hızı, Çalışma Dönemi

Sıcaklık

Çorlu ilçesi iklim verilerinin uzun yıllık istatistiklerine göre ilçede ortalama sıcaklık 12,7 °C'dir. Çalışma dönemi (05.06.2015- 06.06.2016) ve kış dönemi (01.11.2015- 30.04.2016) boyunca ölçülen ortalama minimum ve maksimum değerler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.7 'den en yüksek sıcaklık değerlerinin Temmuz, Ağustos aylarında gözlenirken en düşük sıcaklıklarında Aralık ve Ocak aylarında hakim olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3. 2. Çorlu sıcaklık istatistikleri, çalışma dönemi (05.06.2015- 06.06.2016) ve kış dönemi (01.11.2015- 30.04.2016)

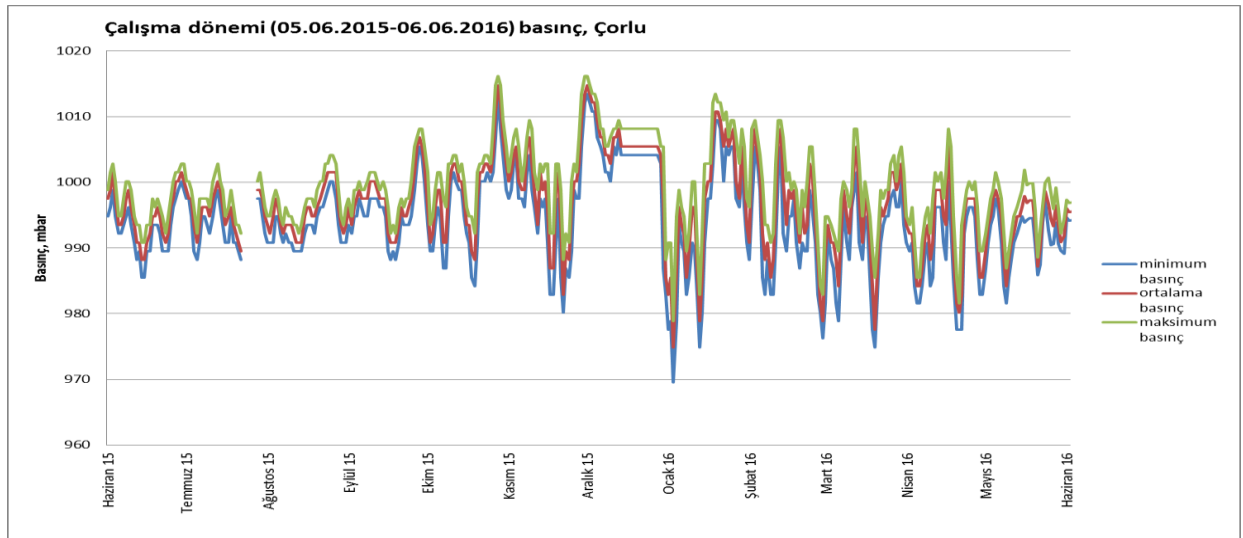
Çalışma dönemi (05.06.2015- 06.06.2016)			Kış dönemi (01.11.2015- 30.04.2016)		
Minimum Sıcaklık, °C	Ortalama Sıcaklık, °C	Maksimum sıcaklık, °C	Minimum Sıcaklık, °C	Ortalama Sıcaklık, °C	Maksimum sıcaklık, °C
-6,6	13,66	27,20	-6,6	8,2	19,8



Şekil 3. 7. Çorlu Çalışma Dönemi sıcaklık değişimleri

Basınç

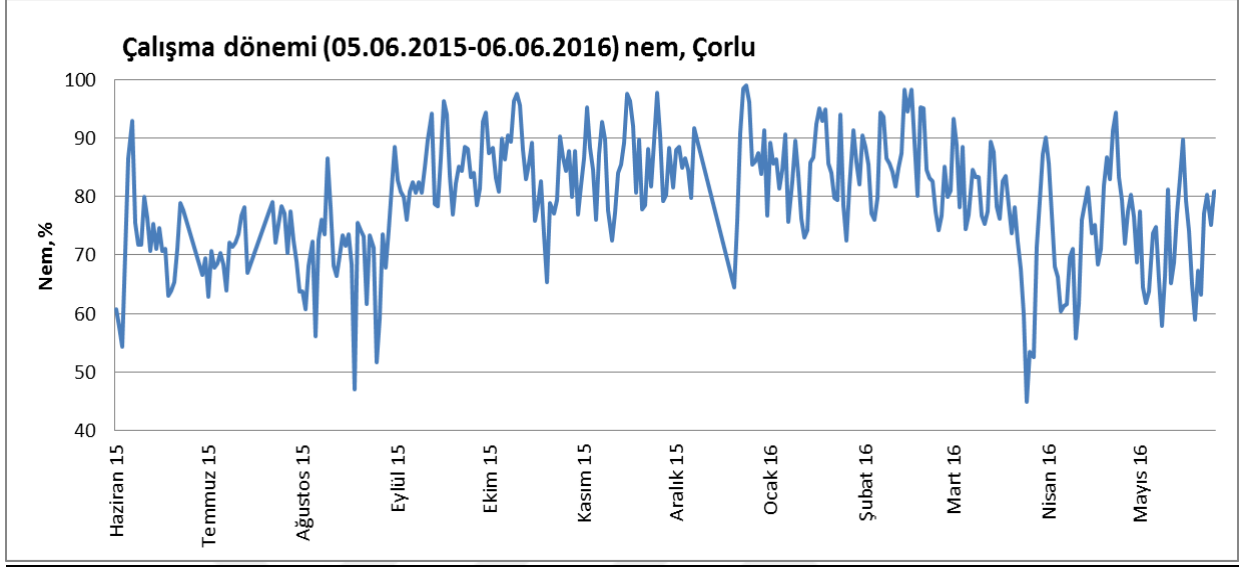
Basınç ilin rakımına, kirletici emisyonlarına ve havanın akımına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Süren, 2007). Çalışma dönemi (05.06.2015 – 06.06.2016) boyunca ölçülen basınç değişimleri Şekil 3.8’de verilmiştir. Bu dönemde ortalama basınç 997 mbar gözlenmiştir.



Şekil 3. 8. Çorlu Çalışma Dönemi basınç değişimleri

Nem

İlçede çalışma dönemi boyunca ortalama nem %79'dur. Şekil 3.9'da çalışma döneminde nemin Ağustos 2015 ve Nisan 2016 dönemlerinde en düşük değerlerde olduğu görülür. Ayrıca bu dönemde keskin azalış ve artışlar görülmektedir.



Şekil 3. 9. Çorlu Çalışma Dönemi nem değişimleri

Yağış

Çorlu ilçesi uzun yıllık yağış ortalamalarına göre yıllık yağış ortalaması 563,2 mm'dir (Karaman,2013). İlçede her dönem sağanak yapılar görülebilmektedir. Ancak bununla birlikte yağış miktarlarında önemli değişiklikler olabilir. Örneğin, 1966 yılında metrekareye yıllık 801 mm. düşen yağışla en yağışlı yılı oluştururken, 2000 yılı metrekareye yıllık 409 mm. düşen yağış ile en kurak yıl olmuştur. Yıllık yağış miktarının bu denli hareketli olmasının sebebi bölgenin dışarıdan gelen basınç kuşaklarının etki alanı içerisinde kalmasına bağlanabilir (Karaman, 2013).

3.1.3. Toprak ve Tarım

Çorlu'da yaygın olarak görülen toprak türü kireçsiz kahverengi orman toprağıdır (Karaman, 2013). Topraklarının çoğu 2. Sınıf arazilerden oluşmaktadır. Çorlu ilçe arazisinin genel olarak düz olması bölgede tarım yapılabilmesini kolaylaştırmaktadır. İlçede en yaygın yetiştirilen ürünler buğday, ayçiçeğı, arpadır.

3.1.4. Akarsu ve Yeraltı Suları

Bölge topraklarının büyük bir kısmı Ergene Havzası içinde yer almaktadır. Akarsular genel olarak kuzey – güney doğrultusunda akmaktadır. İlçenin en önemli akarsuyu Çorlu Suyudur. Çorlu suyu Muratlı'nın kuzeyinde Ergene Nehri ile birleşir.

Çorlu yeraltı suları bakımından oldukça zengindir. Öyle ki ilçe etrafındaki sanayilerin çoğu ve Tekirdağ ili kullanma suyunu yeraltı sularından karşılar.

3.2. Örnekleyici Ekipman

Çalışmada, 10 µm'den ve 2,5µm'den küçük partikül maddelerin örneklenebilmesi ve miktarlarının gravimetrik olarak tayininin yapılabilmesi için Sıralı Toz Örnekleme Cihazı (Thermo Scientific Marka 2025iD Model) kullanılmıştır. Cihazın çalışma prensibi 2. Bölümde anlatılmıştır.

Örnekleyicide, Partikül maddeler 37mm çaplı 2µm gözenek çaplı politetrafloroetilen (PTFE) membran filtrelerde toplanmışlardır. Membran filtreler düşük diferansiyel basınçta bile hava geçişine izin vermeleri nedeniyle seçilmiştir. Filtreler cihaza yerleştirilmeden önce nem etkisinden korunması amacıyla 24 saat desikatörde bekletilerek plastik petri kutularına alınmış ve cihaza yerleştirilmiştir. Ölçüm sonucunda yine nem etkisinden korunması amacıyla desikatörde 24 saat bekletilmiştir.

3.3. Elementel Analiz

Bu çalışmada örneklerin elementel analizi için “İndüktif olarak Birleştirilmiş Plazma (ICP)-MS Emisyon Spektroskopisi” analizi kullanılmıştır.

3.4. İstatistiksel Analizler ve PM Kaynak Belirleme Analizleri

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler aşağıda özetlenmiştir:

- Partikül madde ve ağır metal kütle konsantrasyonlarının değerlendirilebilmesi için; genel tanımlayıcı istatistiksel analizler,
- Kirlilik yükünün geldiği yönü bulmak için; Conditional Probability Function (CPF)-Koşullu Olasılık Fonksiyonu Analizi,
- Kaynakların belirlenmesi için Temel Bileşen Faktör Analizi ve zenginleştirme faktörü Analizi.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. PM Kütles Konsantrasyonları

Bu çalışmada 05.06.2015 – 06.06.2016 tarihleri arasında günlük toplanan PM_{2,5}, PM_{2,5-10}, PM₁₀ kütle konsantrasyonları gravimetrik olarak tayin edilmiştir. Örneklerin toplandığı tarih aralığı tez içinde “Çalışma Dönemi” olarak adlandırılmıştır. Uzun dönemli değişimlerin incelenebilmesi için Çalışma Dönemi “Yaz Dönemi (Haziran 2015 – Ekim 2015)” ve “Kış Dönemi (Kasım 2015 – Nisan 2016)” olarak 2 ayrı periyoda ayrılmıştır.

Çalışma dönemi boyunca toplam 362 gün örnekleme yapılmıştır. Buna göre ilçede PM_{2,5} PM_{2,5-10} ve PM₁₀ için yıllık ortalama konsantrasyonlar sırasıyla; 23,35 µg/m³, 13,70 µg/m³, 37,05 µg/m³’tür. Bu değerlerin Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY)’nin PM₁₀ için 2019 yılına kadar belirlediği günlük 50 µg/m³ ‘ü 54 kez aştığı, yıllık 40 µg/m³ ‘ü ise aşmadığı görülmüştür. Yönetmelikte PM_{2,5} için bir sınır değeri belirlenmemiştir. Ancak Dünya Sağlık Örgütü’nün belirlemiş olduğu sınır değeri olan 10 µg/m³’ten büyüktür.

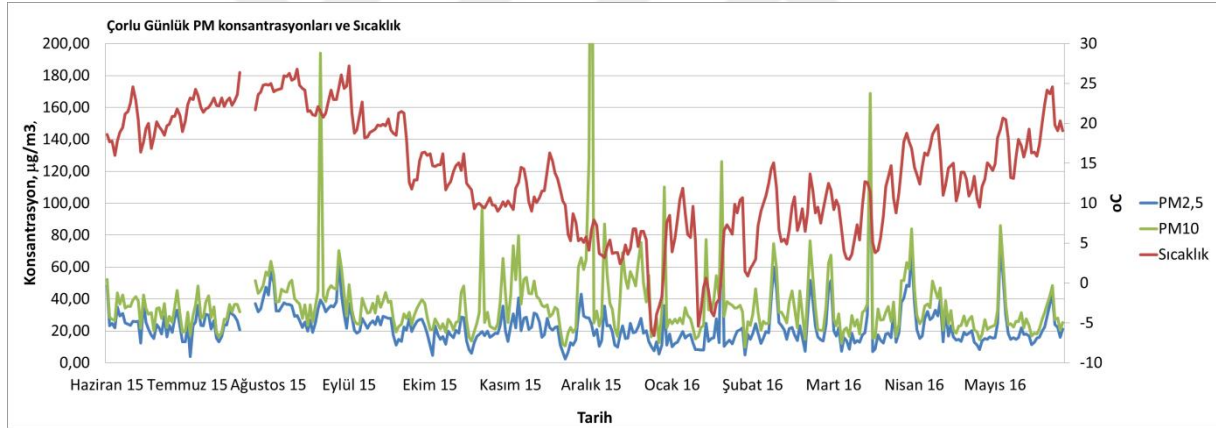
PM_{2,5}/PM₁₀ oranının 0,5’ten yüksek olması antropojenik katkının fazla olduğunu, bu oranın düşük olması ise toprak veya yol tozu kaynaklı katkının fazla olduğunu göstermektedir (Gehring ve Buchmann, 2003; Putuad vd., 2010). Çorlu ilçesi kent atmosferinde ölçülen PM_{2,5}/PM₁₀ oranı 0,65’tir. Bu durum bölgede antropojenik kirletici kaynaklarının PM kirliliğine katkılarının daha fazla olduğunu göstermektedir.

4.1.1. PM ve Meteorolojik Faktörler için Tanımlayıcı İstatistiksel Analizler

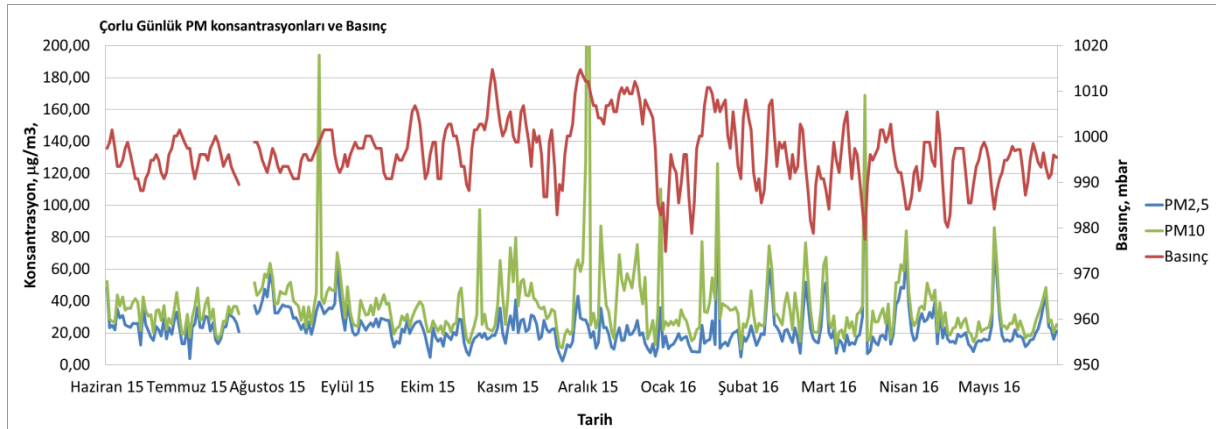
Çalışma dönemi (05.06.2015 – 06.06.2016) boyunca örneklenen partikül madde kütle konsantrasyonlarının ve meteorolojik faktörlerin ortalama, minimum, maksimum, standart sapma, medyan değerleri Çizelge 4.1 ‘de verilmiştir. Ayrıca PM_{2,5} ve PM₁₀’nun meteorolojik faktörlere göre değişimi Şekil 4.1 – 4.4 arasında gösterilmiştir. Buna göre; özellikle PM₁₀ konsantrasyonlarının sıcaklığın düşük olduğu aylarda nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte ilçede günlük rüzgar hızlarının çok değişken olduğu, özellikle rüzgar hızının arttığı dönemlerde partikül konsantrasyonlarında düşüş dikkat çekmektedir.

Çizelge 4. 1. Partikül madde ve meteorolojik faktörler için tanımlayıcı istatistikler, Çalışma dönemi

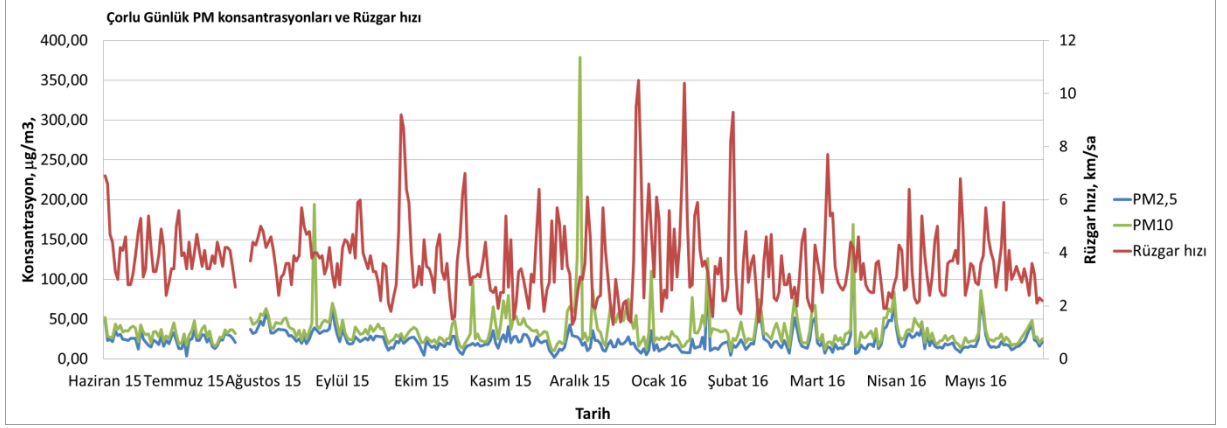
	N	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart Sapma	Medyan
PM _{2,5} , µg/m ³	362	2,31	23,35	156,05	13,42	20,60
PM _{2,5-10} , µg/m ³	362	1,30	13,70	354,52	22,03	9,71
PM ₁₀ , µg/m ³	362	9,79	37,05	378,75	26,57	31,87
PM _{2,5} /PM ₁₀	362	0,06	0,65	0,96	0,15	0,69
Meteorolojik Faktörler						
Sıcaklık, °C		-6,60	13,66	27,20	7,34	13,75
Rüzgar Hızı, km/h		1,30	3,67	10,50	1,41	3,50
Basınç, mbar		974,89	996,82	1014,79	6,89	996,17
Nem, %		44,80	79,45	99,0	10,2	79,80



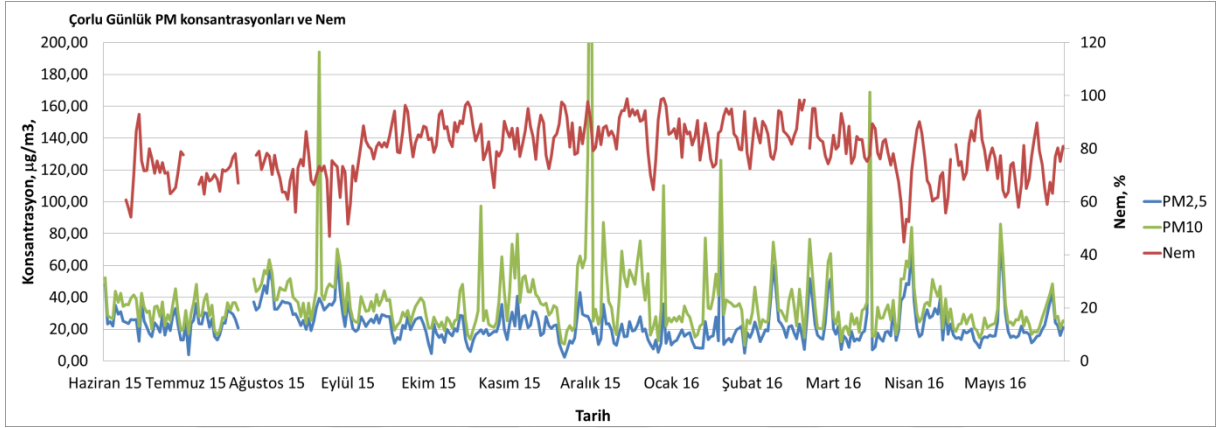
Şekil 4. 1. Çorlu günlük PM konsantrasyonları – sıcaklık, Çalışma Dönemi



Şekil 4. 2. Çorlu günlük PM konsantrasyonları – basınç, Çalışma Dönemi



Şekil 4. 3. Çorlu günlük PM konsantrasyonları – rüzgar hızı, Çalışma Dönemi

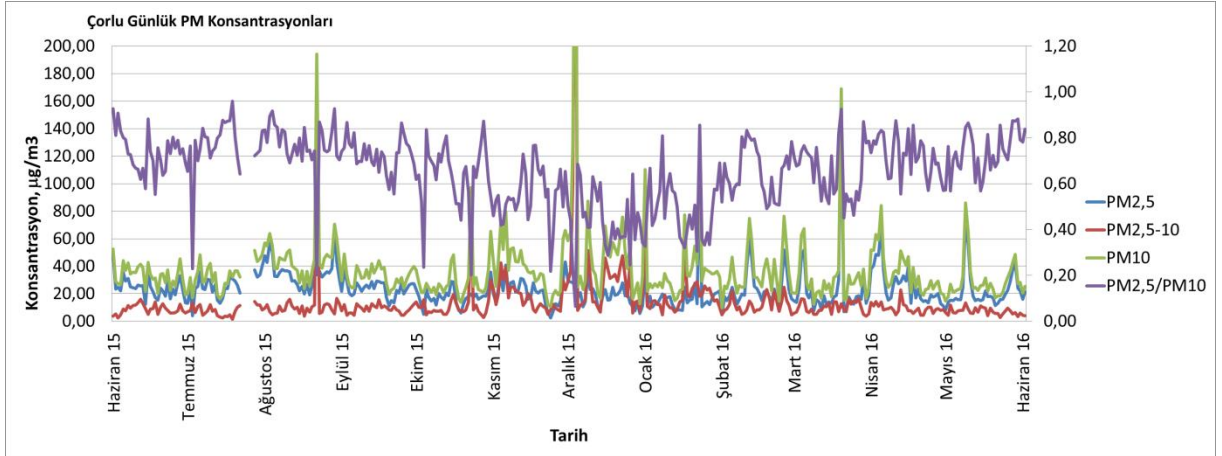


Şekil 4. 4. Çorlu günlük PM konsantrasyonları – nem, Çalışma Dönemi

4.1.2. PM Günlük, Mevsimsel ve Aylık Değişimi

PM Günlük Değişimi

Çalışma döneminde Çorlu ilçe merkezinde ölçülen PM konsantrasyonları günlük değişimleri Şekil4.5'te gösterilmiştir. Buna göre ilçede en yüksek PM_{2,5} konsantrasyonu 24.03.2016 tarihinde 156,05µg/m³, en düşük 28.11.2015 tarihinde 2,31 µg/m³ ölçülmüştür. PM_{2,5-10} konsantrasyonu için ise en yüksek ve en düşük olduğu günler ve konsantrasyonları sırasıyla 08.12.2015 tarihinde 354,52µg/m³, 23.07.2015 günü 1,30 µg/m³'tür. PM konsantrasyonlarının maksimum değerlerine yakma döneminde ulaşması özellikle dikkat çekmektedir.



Şekil 4. 5. Çalışma dönemi (05.06.2015 – 06.06.2016) günlük PM değerleri, Çorlu

PM Aylık Değişimi

Çorlu ilçesinde çalışma dönemi boyunca ölçülen PM'lerin aylık değişimleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Buna göre; en yüksek ortalama $PM_{2,5}$ konsantrasyonu Ağustos ayında ($34,11\mu g/m^3$), ortalama $PM_{2,5-10}$ konsantrasyonu Aralık ayında ($38,13\mu g/m^3$) gözlenmiştir. Minimum ve maksimum konsantrasyonlar arasındaki fark $PM_{2,5}$ için Ocak ayında, $PM_{2,5-10}$ ve PM_{10} için Aralık ayında en yüksektir.

Çizelge 4. 2. PM tanımlayıcı istatistikleri, aylık değişimler

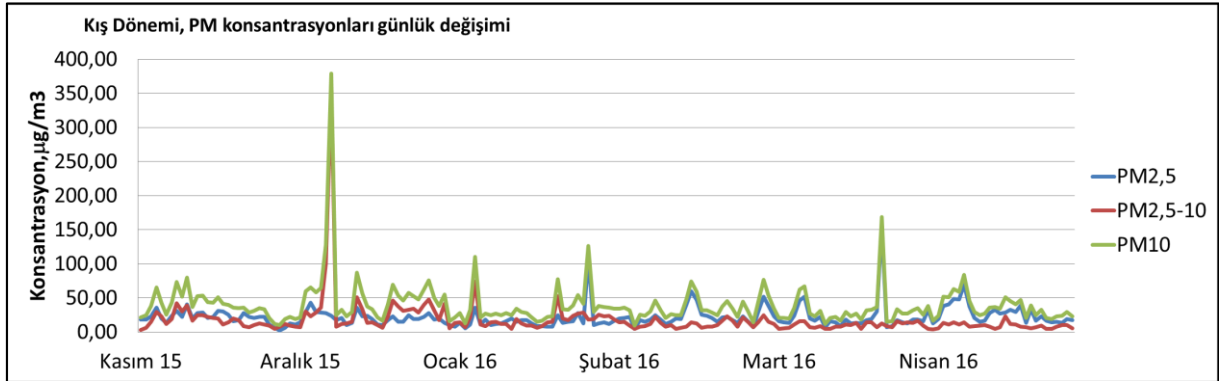
AYLAR	PM, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Minimum	Ortalama	Maksimum	Stsapma	Medyan	Min - Mak
HAZİRAN	PM _{2,5}	12,50	24,88	48,58	7,34	24,23	36,08491
	PM _{2,5-10}	2,52	8,78	15,83	3,42	8,98	13,30248
	PM ₁₀	20,21	33,66	52,40	7,55	34,27	32,1928
TEMMUZ	PM _{2,5}	3,94	23,48	36,11	7,25	23,80	32,17593
	PM _{2,5-10}	1,30	7,20	13,29	3,32	7,27	11,98302
	PM ₁₀	16,25	30,68	48,12	8,37	31,00	31,875
AĞUSTOS	PM _{2,5}	19,11	34,11	56,90	8,09	34,03	37,79648
	PM _{2,5-10}	3,63	14,10	154,81	25,87	10,25	151,1806
	PM ₁₀	23,54	48,21	194,17	28,05	44,92	170,625
EYLÜL	PM _{2,5}	11,11	26,21	65,28	10,02	24,82	54,16667
	PM _{2,5-10}	4,28	9,08	16,71	3,20	8,88	12,42284
	PM ₁₀	19,37	35,29	70,42	10,98	32,50	51,04167
EKİM	PM _{2,5}	4,86	18,04	28,70	6,01	17,59	23,84259
	PM _{2,5-10}	4,56	11,49	77,61	12,60	7,94	73,04784
	PM ₁₀	13,81	29,52	97,36	14,59	25,42	83,55159
KASIM	PM _{2,5}	2,31	21,40	40,74	8,39	22,11	38,42593
	PM _{2,5-10}	2,73	16,89	42,55	9,54	14,50	39,81481
	PM ₁₀	10,63	38,29	79,79	16,18	36,63	69,16667
ARALIK	PM _{2,5}	9,95	20,71	43,06	7,71	19,44	33,10185
	PM _{2,5-10}	5,83	38,13	354,52	60,68	28,93	348,6883
	PM ₁₀	16,25	58,84	378,75	62,90	50,21	362,5
OCAK	PM _{2,5}	5,56	17,31	107,98	17,66	12,96	102,4285
	PM _{2,5-10}	4,69	18,81	74,33	13,52	15,09	69,63735
	PM ₁₀	12,71	36,12	126,16	24,70	28,19	113,4565
ŞUBAT	PM _{2,5}	5,09	21,61	59,95	10,83	19,77	54,86111
	PM _{2,5-10}	4,70	12,01	22,99	5,06	10,53	18,28704
	PM ₁₀	9,79	33,62	74,58	12,92	31,87	64,79167
MART	PM _{2,5}	6,94	24,58	156,05	26,65	17,59	149,1021
	PM _{2,5-10}	4,48	10,83	24,61	4,60	11,06	20,12346
	PM ₁₀	12,29	35,42	168,83	28,56	27,29	156,5368
NİSAN	PM _{2,5}	12,96	27,21	69,91	13,15	25,23	56,94444
	PM _{2,5-10}	3,70	9,02	22,78	3,86	8,54	19,07407
	PM ₁₀	16,67	36,23	83,96	15,17	33,65	67,29167
MAYIS	PM _{2,5}	8,33	21,36	72,70	12,42	16,90	64,3617
	PM _{2,5-10}	2,62	7,15	13,27	2,39	6,47	10,65414
	PM ₁₀	14,58	28,51	85,96	13,34	25,42	71,38158

Kış ve Yaz Dönemi

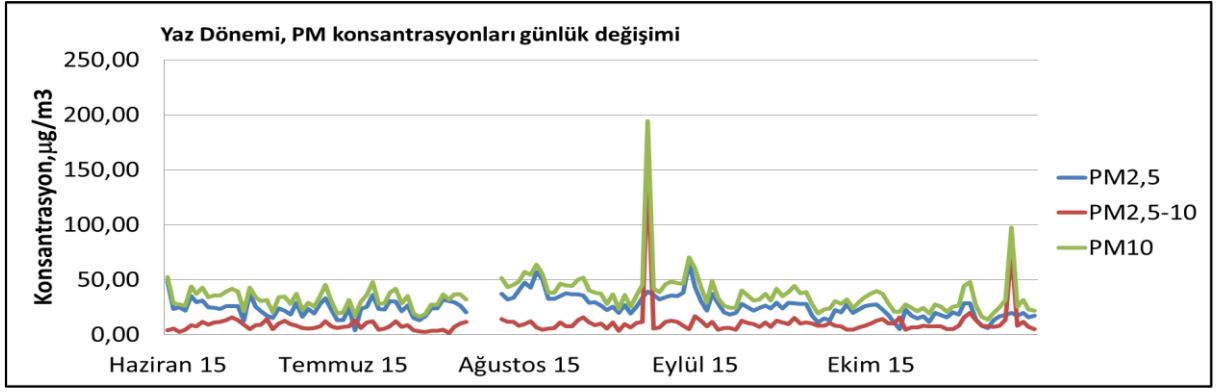
Çorlu ilçesi için Kış dönemi (Kış) yılın bölgedeki en soğuk günleri ve insanların ısınma amaçlı yakıt yakmalarının başladığı günler göz önüne alınarak 01.11.2015 – 30.04.2016 tarihleri arası olarak belirlenmiştir. Yaz dönemi (Yaz) ise 05.06.2015 – 31.10.2015 tarihleri arasını kapsamaktadır. Kış döneminde ortalama $PM_{2,5}$, $PM_{2,5-10}$ ve PM_{10} konsantrasyonları sırasıyla $22,12 \pm 15,90 \mu g/m^3$, $17,73 \pm 27,94 \mu g/m^3$, $39,85 \pm 33,17 \mu g/m^3$ 'dir. Yaz döneminde $PM_{2,5}$ fraksiyonu ortalama konsantrasyonu daha yüksek iken $PM_{2,5-10}$ ve PM_{10} ortalama konsantrasyonları kış döneminde daha yüksektir (Çizelge 4.3). Şekil 4.6'dan da görüldüğü gibi bu dönemde PM konsantrasyonlarının bu kadar dağılım göstermesi hem bölgedeki rüzgar hızı gibi meteorolojik koşullara hem de bölgenin jeolojik yapısına bağlı olabilmektedir.

Çizelge 4. 3. PM tanımlayıcı istatistikleri, YD ve KD

Tanımlayıcı istatistikler	$PM_{2,5}$		$PM_{2,5-10}$		PM_{10}	
	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış
Minimum	3,94	2,31	1,30	2,73	13,81	9,79
Ortalama	25,42	22,12	10,29	17,73	35,70	39,85
Maksimum	65,28	156,05	154,81	354,52	194,17	378,75
Standart sapma	9,54	15,90	13,80	27,94	17,62	33,17
Medyan	24,51	18,52	8,21	12,46	34,24	32,85
Maksimum - minimum	61,34	153,73	153,51	351,79	180,36	368,96



Şekil 4. 6. PM konsantrasyonları günlük değişimleri, kış dönemi



Şekil 4. 7. PM konsantrasyonları günlük değişimleri, yaz dönemi

4.1.3. PM Kütle konsantrasyonlarının Literatür ile Karşılaştırılması

 l e'deki hava kirliliğinin düzeyinin değerlendirilebilmesi için, gerçekleştirilen çalışmanın Türkiye genelinde ve Dünya'da kentsel alanlarda yapılan çalışmalarla karşılaştırılması  izelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4. 4. Çeşitli bölgelerde  l  len PM konsantrasyonları

BÖLGE	ÖLÇÜLEN KONSANTRASYON, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		KAYNAK
	PM _{2,5}	PM ₁₀	
�orlu – Tekirdağ	23,35 $\pm$ 13,42	37,05 $\pm$ 26,58	Bu �alışma
Avcılar – �stanbul	39,80 $\pm$ 25,70	43,30 $\pm$ 30,00	Polat G., 2011
Büyükçekmece - �stanbul	32,56 $\pm$ 13,60	41,11 $\pm$ 20,76	Karaca F., 2005
Zonguldak	29,38 $\pm$ 15,32	53,23 $\pm$ 29,89	Süren P., 2007
�zmir	64,40 $\pm$ 38,50	80,00 $\pm$ 30,20	Yatkın S. ve Bayram A., 2007
Barselona - �spanya	18	27	P�rez, N. ve ark., 2016
Kara�ı - Pakistan	75	437	Shahid, I. ve ark., 2016
Navarra – Kuzey �spanya	15,38	25,91	Aldabe, J. ve ark., 2011
Kuzey Fransa	32,5 $\pm$ 17,8	-	Ledoux, F. ve ark., 2016
�engdu – Güneybatı �in	99,5	156,6	Huang, W. ve ark., 2015
Agra - Hindistan	154,2 $\pm$ 68,0	104,9 $\pm$ 47,1	Kulshrestha, A. ve ark., 2009
Cardiff, Galler	14,1	37,9	Mohammed, G. ve ark., 2017

Buna göre; Türkiye'de pek çok endüstriyel bölgeden düşün PM konsantrasyonları  l  lm ştir. Karşılaştırılması yapılan dünyadan diğer kentlere göre daha kirli ve daha temiz olduğ g r lmektedir.

4.2. Elementel Analiz ve CPF

4.2.1. Elementlerin Tanımlayıcı İstatistiksel Analizleri

Çorlu ilçesinde Çalışma dönemi (05.06.2015 – 06.06.2016) boyunca ölçülen PM_{2,5} ve PM_{coarse} fraksiyonlarındaki Al, As, Ba, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Ni, K, Se, Na, Ti, V, Zn elementlerine ait minimum, maksimum, ortalama, standart sapma ve ortanca değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir. analizleri yapılan elementlerin çoğunun ortalama konsantrasyonları PM_{2,5} fraksiyonunda daha yüksek iken Ca, Li ve Zn elementlerinin ortalama konsantrasyonları PM_{2,5-10} fraksiyonunda daha yüksektir. Genel olarak; Al, Ca, Fe, Mg, K, Na ortalama konsantrasyonları daha yüksektir. Buna karşın As, Cd, Co, Ni, Se, V elementlerinin ortalama konsantrasyonları daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 4. 5. PM_{2,5} ağır metal içeriği tanımlayıcı istatistikleri, Çalışma Dönemi, ng/m³

	Minimum		Ortalama		Maksimum		Stsapma		Medyan	
	PM _{2,5}	PM _{2,5-10}	PM _{2,5}	PM _{2,5-10}	PM _{2,5}	PM _{2,5-10}	PM _{2,5}	PM _{2,5-10}	PM _{2,5}	PM _{2,5-10}
Al	208,33	30,81	844,47	391,44	1962,4	1952,5	439,29	344,79	751,77	276,70
As	0,05	0,01	0,52	0,43	0,90	0,92	0,18	0,15	0,52	0,43
Ba	3,08	0,62	14,63	10,71	25,96	26,31	5,37	5,21	14,56	10,78
Cd	0,05	0,00	0,62	0,38	2,49	1,69	0,46	0,35	0,47	0,27
Ca	212,56	603,14	1223,6	1499,34	4357,1	2964,9	653,64	392,96	1118,0	1444,18
Cr	6,98	0,55	14,38	8,64	20,83	18,30	2,80	3,25	14,54	9,14
Co	0,03	0,01	0,35	0,14	0,99	0,79	0,25	0,14	0,29	0,10
Cu	0,54	0,22	7,69	2,82	15,56	8,96	4,14	1,44	7,87	2,84
Fe	121,38	11,14	489,06	90,05	990,74	239,51	192,76	44,15	470,15	88,39
Pb	2,12	0,81	13,17	8,77	23,18	24,21	5,24	4,61	13,26	8,47
Li	0,77	7,14	11,35	14,00	38,91	36,86	8,53	5,80	8,89	12,66
Mg	31,55	32,12	317,27	174,10	763,89	848,53	140,52	131,07	296,30	121,22
Mn	2,08	0,12	11,48	2,24	28,91	9,54	6,16	1,56	10,65	2,01
Ni	0,36	0,06	1,95	1,49	4,61	3,20	0,98	0,76	1,93	1,54
K	48,63	18,37	268,61	229,19	949,07	941,70	176,66	160,24	220,51	175,88
Se	0,61	0,68	3,18	1,98	4,68	3,95	0,97	0,79	3,32	1,70
Na	584,93	529,18	835,40	672,99	1042,2	837,34	90,73	59,54	837,58	680,55
Ti	5,50	0,86	37,31	22,06	89,35	70,02	18,16	16,01	33,80	15,08
V	0,05	0,23	0,77	0,75	2,46	1,96	0,55	0,37	0,65	0,64
Zn	13,89	10,74	42,92	82,03	115,74	432,36	16,28	62,23	38,34	49,02

Kış Dönemi (Kasım 2015- Nisan 2016) - Yaz Dönemi (Haziran 2015- Ekim 2015)

Bu bölümde çalışma dönemi boyunca örneklenen PM konsantrasyonları element içerikleri uzun dönem değişimleri incelenmiştir. Soğuk aylar Kış Dönemi (Kış) (01.11.2015 – 30.04.2016) sıcak aylar ise Yaz Dönem (Yaz) (05.06.2015 – 31.10.2015) olarak tanımlanmıştır. Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7.’de elementlere ait tanımlayıcı istatistikleri her iki dönem içinde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Buna göre; hem PM_{2,5} fraksiyonunda hem de PM_{2,5-10} fraksiyonunda toprak kaynaklı elementler olan Al, Fe, Ti, Ca gibi elementlerin Yaz Döneminde; As, K, V gibi antropojenik kaynaklı elementlerin Kış Döneminde daha yüksek ortalama konsantrasyona sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. 6. PM_{2,5} ağır metal içeriği tanımlayıcı istatistikleri, Kış Dönemi(KD)–Yaz Dönem (YD)

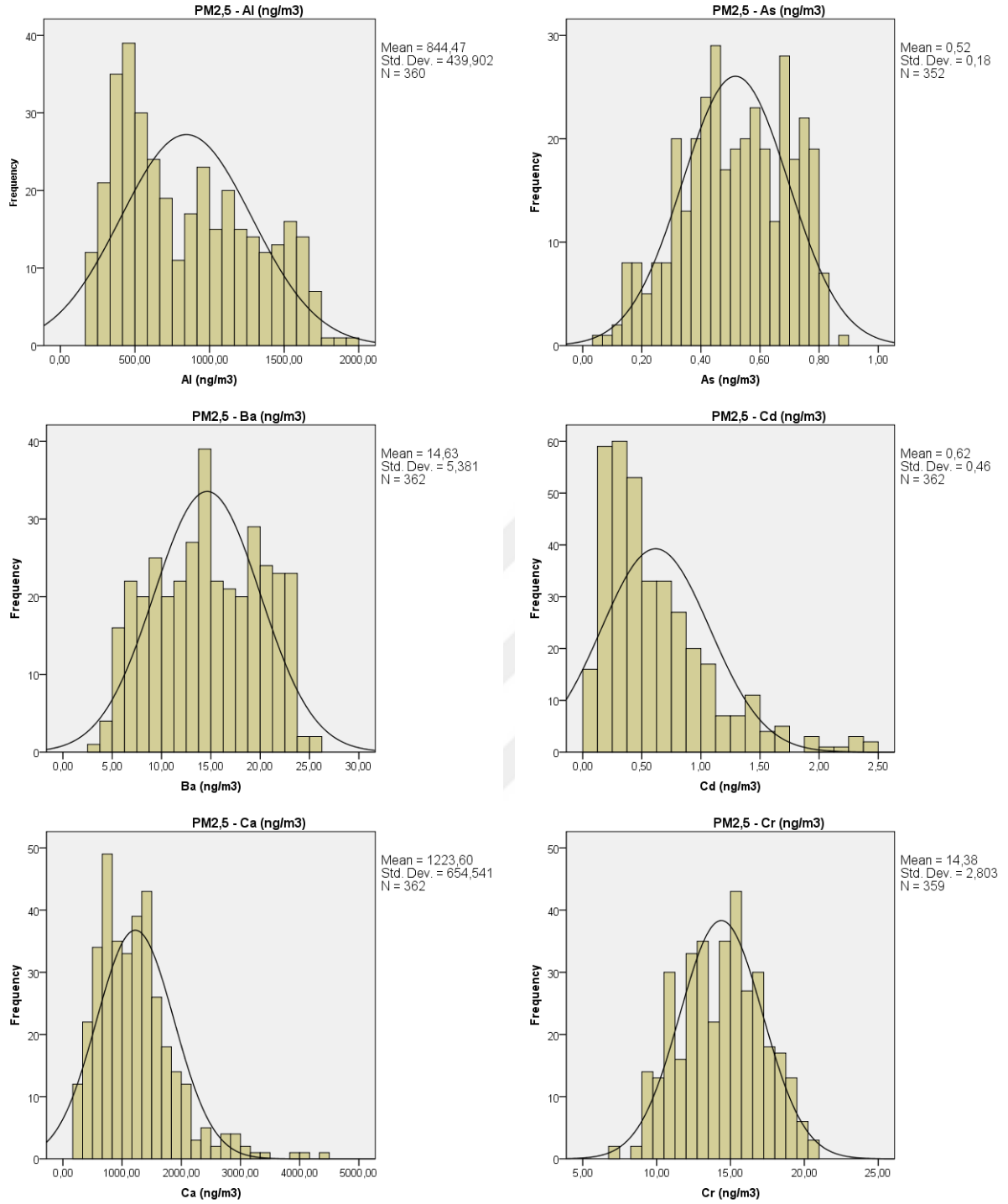
PM _{2,5} (ng/m ³)	Minimum		Ortalama		Maksimum		Stsapma		Medyan	
	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz
Al	208,33	212,77	615,64	1130,37	1662,04	1962,44	325,52	425,12	516,20	1194,44
As	0,05	0,09	0,56	0,45	0,90	0,83	0,17	0,17	0,58	0,44
Ba	3,08	6,34	13,76	16,77	25,00	25,96	5,09	4,75	13,97	17,31
Cd	0,05	0,11	0,48	0,72	2,46	2,26	0,39	0,45	0,37	0,62
Ca	208,33	231,48	1033,42	1514,63	2078,70	4357,14	421,31	710,79	983,80	1439,25
Cr	6,98	9,06	14,12	15,51	19,91	20,83	2,45	2,77	14,35	15,74
Co	0,03	0,04	0,37	0,31	0,99	0,97	0,23	0,25	0,31	0,20
Cu	0,72	0,54	10,03	5,94	15,56	15,09	3,31	3,56	11,23	6,05
Fe	121,38	162,96	450,53	561,30	976,85	990,74	190,37	183,21	435,19	554,63
Pb	2,12	3,52	12,17	14,08	23,08	23,18	5,37	4,84	11,92	13,93
Li	0,77	1,71	7,49	16,77	20,42	38,91	4,41	10,29	7,57	14,64
Mg	31,55	58,31	265,78	393,04	685,19	763,89	107,98	149,48	273,15	398,01
Mn	2,08	2,56	9,39	14,90	25,00	28,91	5,07	5,92	8,42	14,35
Ni	0,36	0,50	1,96	1,90	4,61	3,69	0,98	0,98	1,94	1,68
K	49,38	48,63	312,47	160,21	949,07	328,70	187,20	62,34	231,48	159,94
Se	0,61	1,28	3,07	3,38	4,61	4,68	1,06	0,77	3,21	3,48
Na	584,93	602,50	822,68	847,62	992,47	1042,22	87,90	99,77	829,00	841,02
Ti	5,50	10,97	28,69	48,78	89,35	87,78	13,75	17,40	25,23	49,56
V	0,13	0,05	1,13	0,27	2,46	0,40	0,49	0,08	1,09	0,28
Zn	13,89	15,65	41,68	46,26	91,67	115,74	15,37	18,22	37,61	40,63

Çizelge 4. 7. PM_{coarse} ağır metal içeriği tanımlayıcı istatistikleri, Kış Dönemi(YD) – Yaz Dönemi (SD)

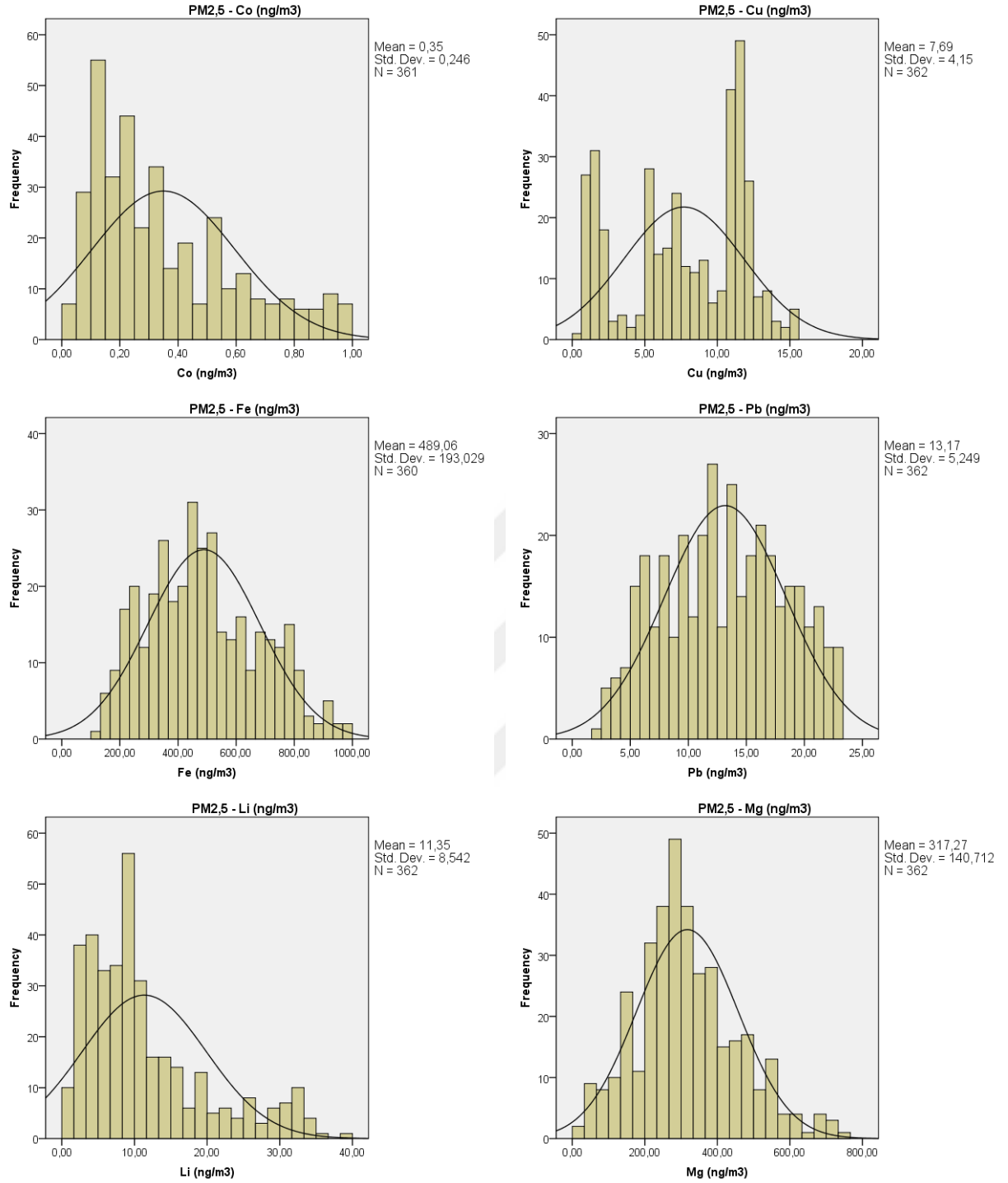
PM _{2,5-10} (ng/m ³)	Minimum		Ortalama		Maksimum		Stsapma		Medyan	
	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz
Al	40,38	30,81	247,90	586,35	735,60	1952,55	166,13	442,79	190,35	603,65
As	0,01	0,10	0,44	0,41	0,92	0,74	0,16	0,14	0,44	0,42
Ba	0,62	2,94	9,61	12,16	26,31	18,85	5,44	4,71	8,95	12,97
Cd	0,02	0,00	0,29	0,47	1,51	1,69	0,25	0,41	0,20	0,33
Ca	603,14	1095,22	1370,50	1660,89	2302,56	2964,93	347,98	405,70	1376,70	1616,87
Cr	2,50	0,55	9,35	7,81	18,30	14,13	3,23	3,05	9,78	8,35
Co	0,01	0,03	0,08	0,24	0,45	0,79	0,08	0,16	0,05	0,19
Cu	0,31	0,22	2,92	2,62	8,96	6,78	1,59	1,24	2,79	2,89
Fe	11,14	14,84	91,69	86,43	239,51	171,89	45,36	42,57	91,43	85,76
Pb	0,81	1,09	8,77	8,09	23,90	21,69	5,02	3,82	8,23	8,34
Li	7,14	7,20	11,99	16,80	18,86	36,86	2,74	7,81	12,16	14,53
Mg	32,12	32,42	160,84	192,58	544,14	848,53	113,45	154,98	117,81	117,60
Mn	0,12	0,35	2,05	2,40	6,99	9,33	1,30	1,73	2,02	1,97
Ni	0,06	0,10	1,46	1,45	3,09	3,20	0,73	0,82	1,45	1,53
K	18,45	29,27	291,34	157,43	941,70	291,52	197,21	40,85	198,24	166,22
Se	1,01	0,68	2,55	1,39	3,95	2,05	0,71	0,30	2,64	1,44
Na	529,18	541,44	676,44	669,90	812,70	837,34	57,24	61,92	687,46	677,74
Ti	0,86	4,64	11,97	35,34	50,03	70,02	7,82	14,86	10,84	38,19
V	0,23	0,24	0,98	0,45	1,96	0,68	0,37	0,10	0,94	0,45
Zn	20,35	10,74	112,72	56,75	432,36	182,30	63,71	45,38	126,02	34,98

4.2.2. Elementlerin Frekans Dağılımları

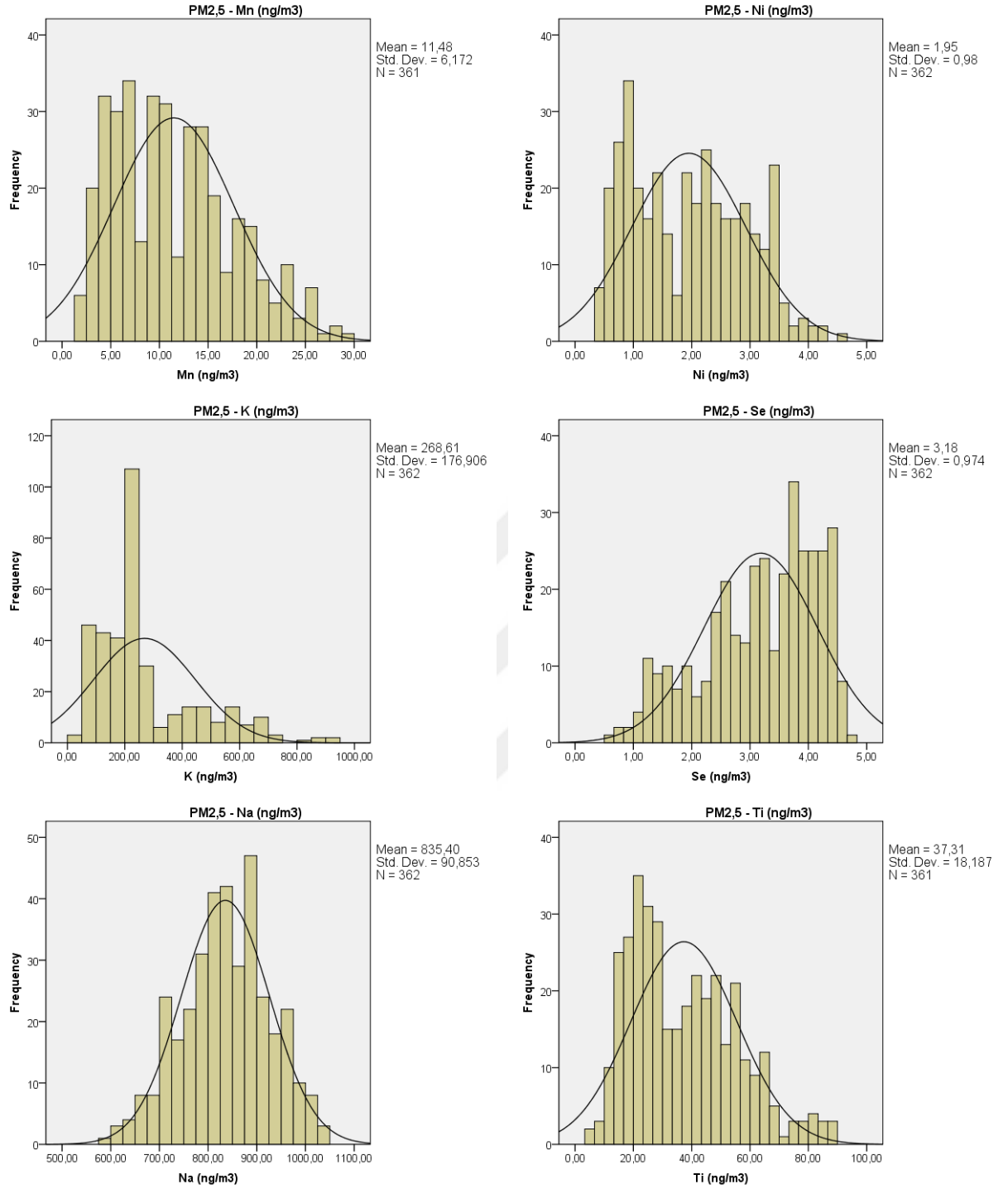
Veri setinin normal dağılıma sahip olması analizlerde aritmetik ortalamanın kullanılabileceğini gösterir. Bunun dışındaki durumlarda medyan değerleri veri setini temsil etmektedir. PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} konsantrasyonlarının element içeriklerinin frekans dağılımlarına ait grafikler Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir. Birkaç element dışında normal dağılım göstermemektedir.



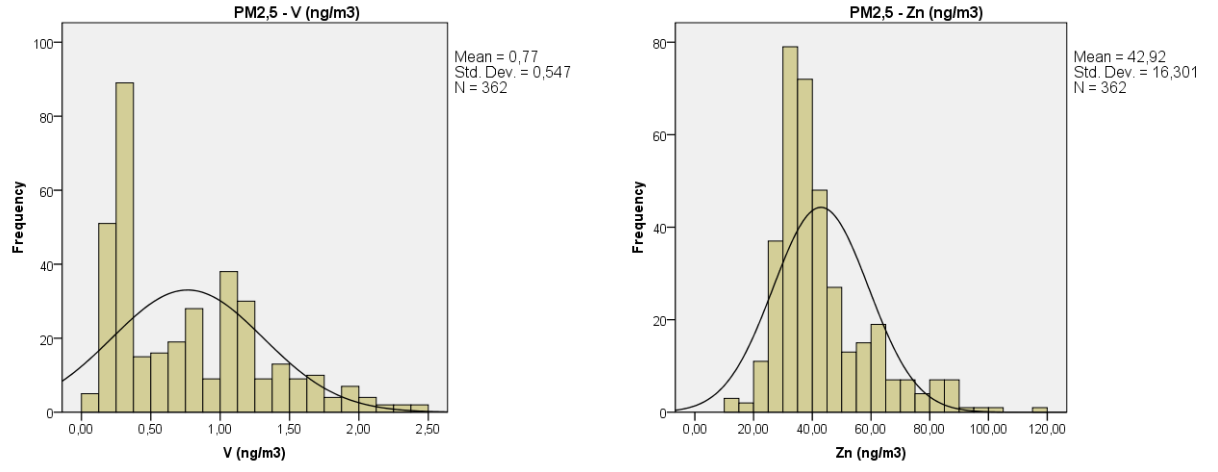
Şekil 4.8. PM_{2,5} element içeriği frekans dağılım grafiği, devam ediyor...



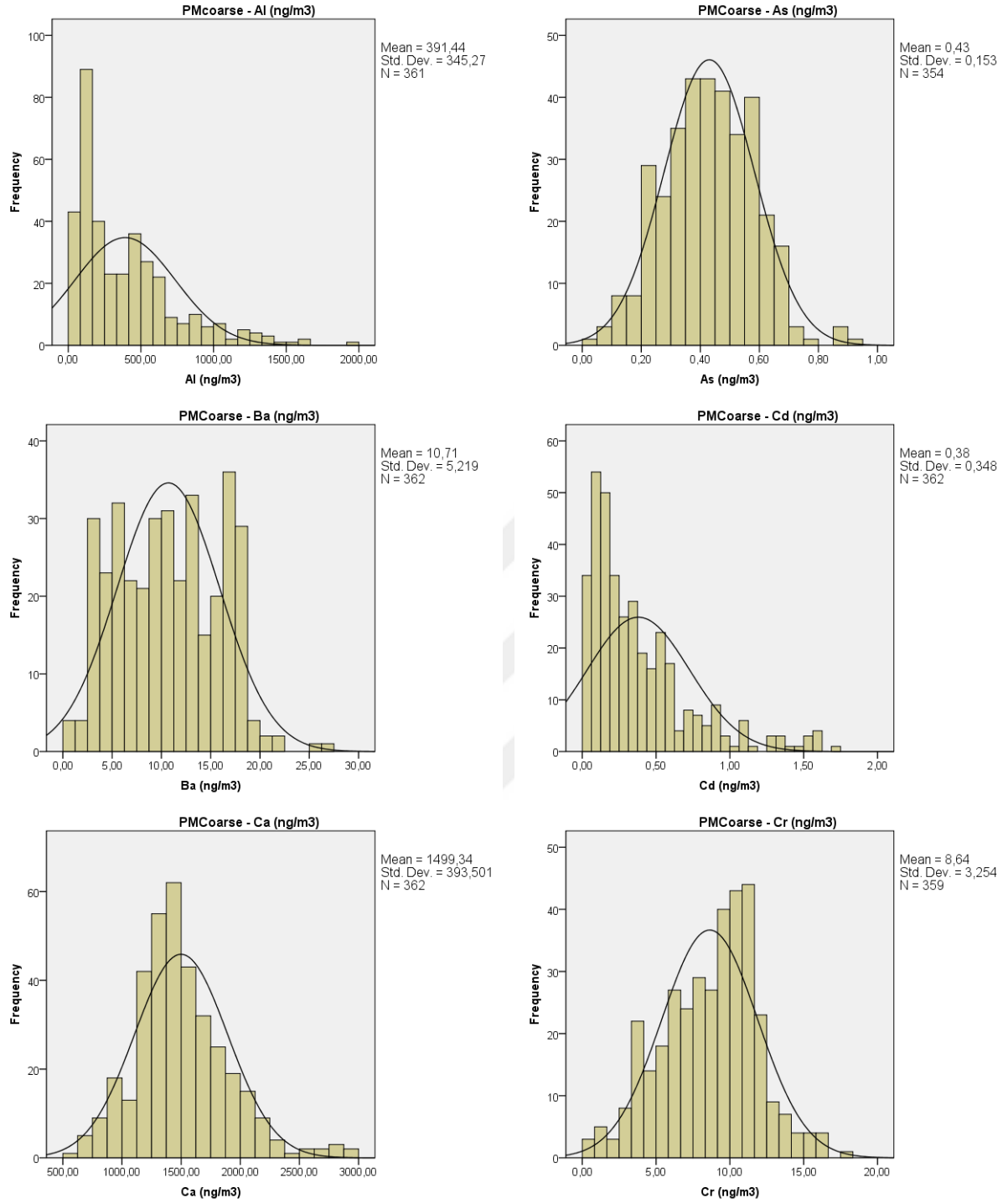
Şekil 4.8. PM_{2,5} element içeriği frekans dağılım grafiği, devam ediyor...



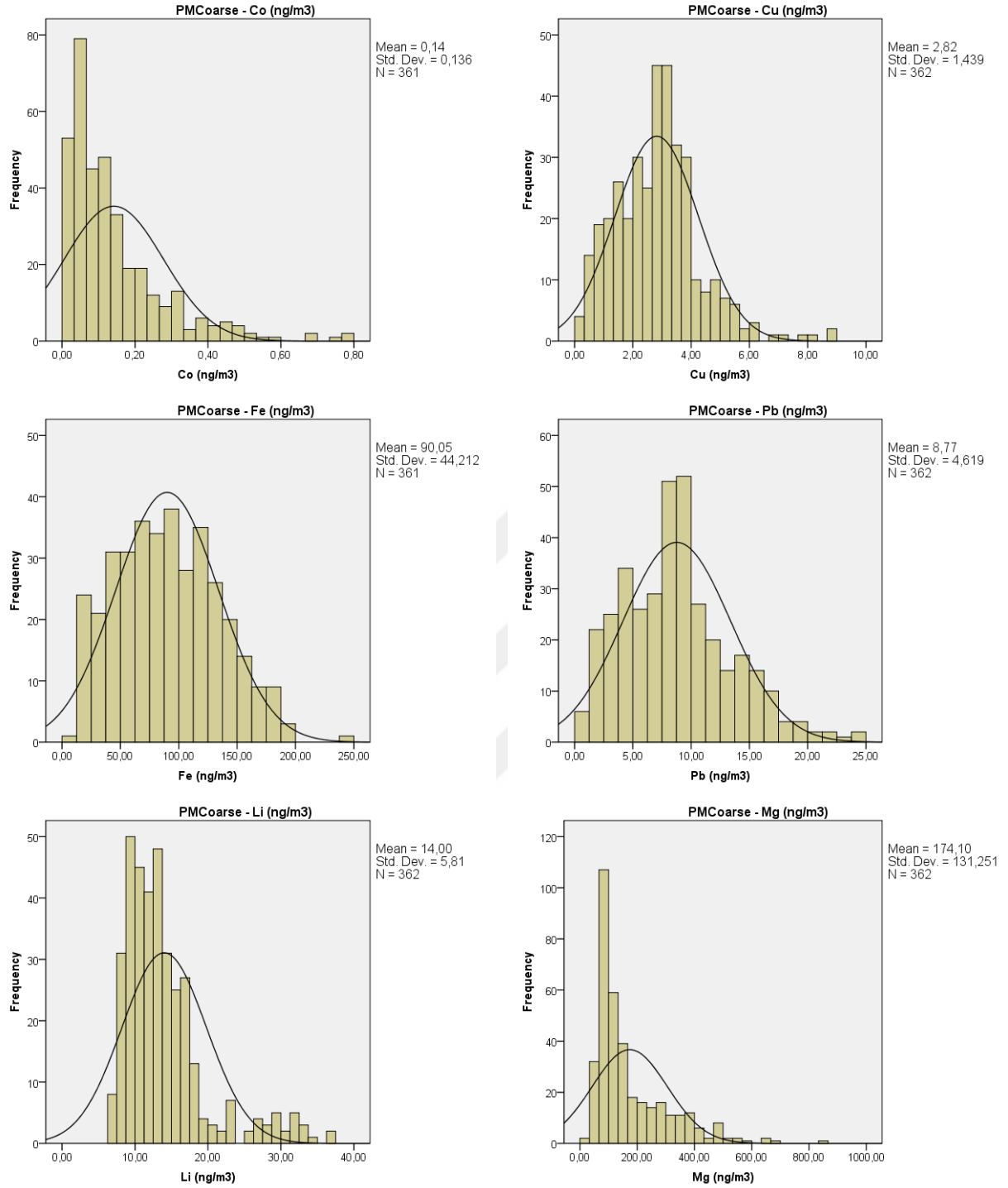
Şekil 4.8. PM_{2.5} element içeriği frekans dağılım grafiği, devam ediyor...



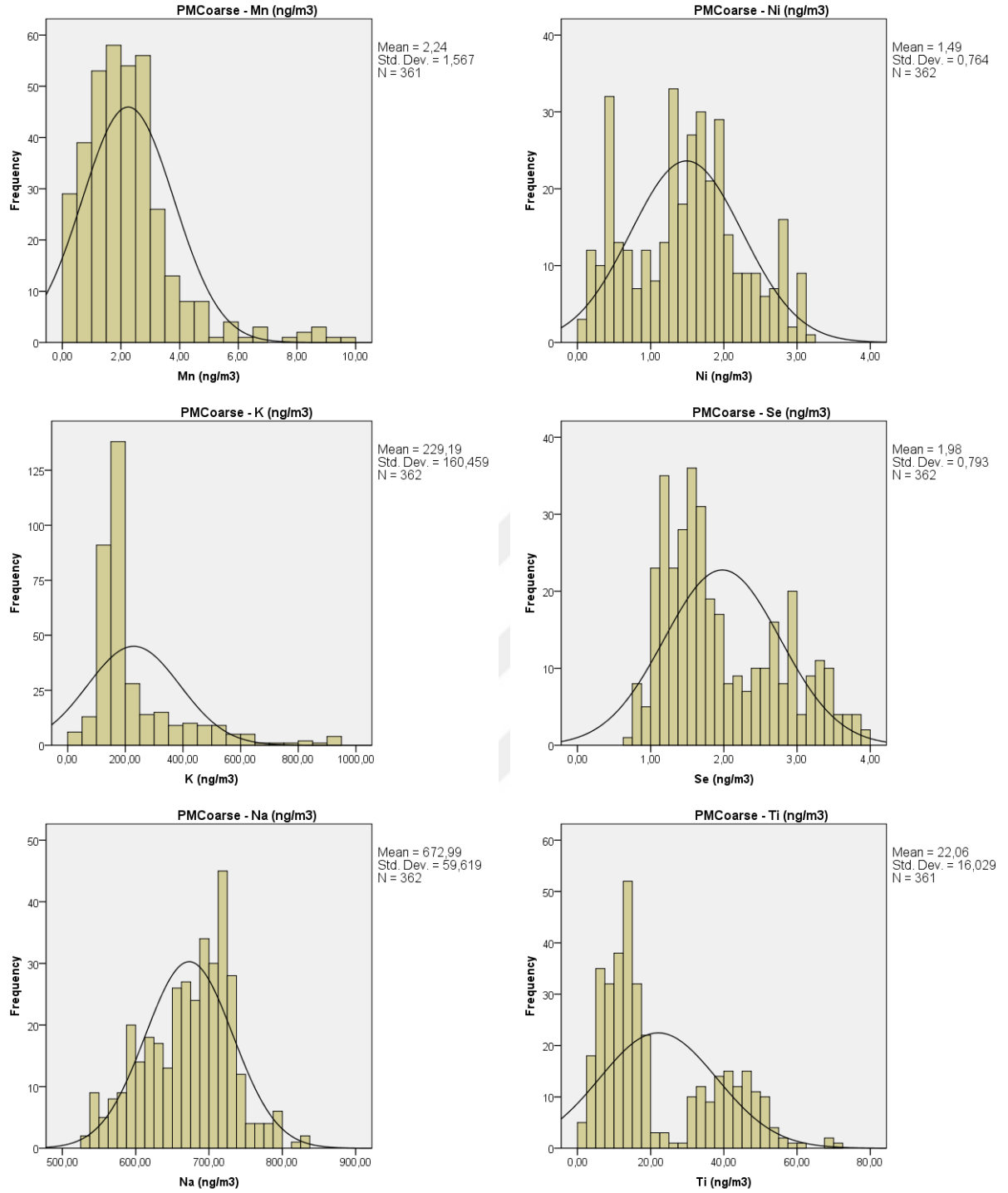
Şekil 4. 8. PM_{2,5} element içeriği frekans dağılım grafiği



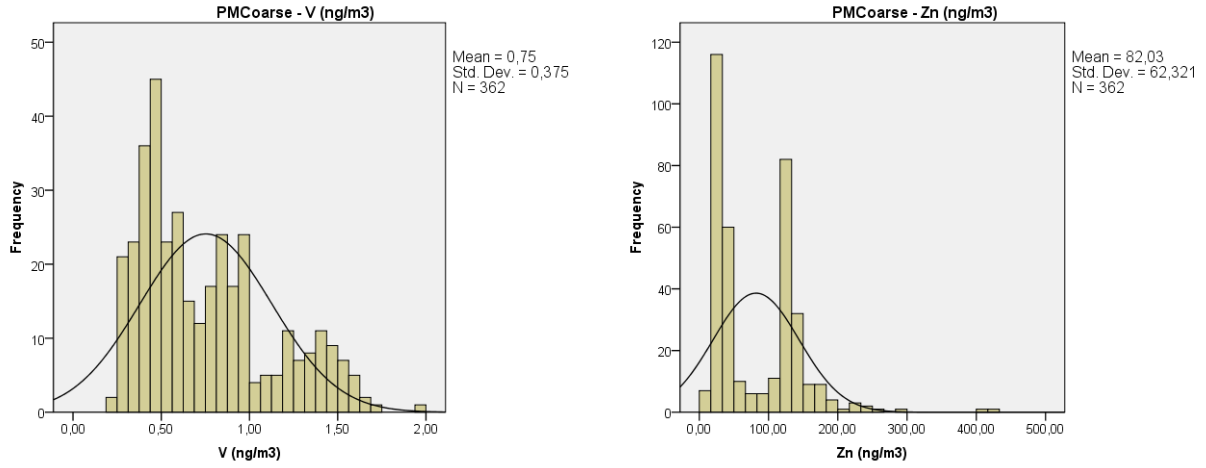
Şekil 4.9. PM_{coarse} element içeriği frekans dağılım grafiği, devam ediyor...



Şekil 4.9. PM_{coarse} element içeriği frekans dağılım grafiği, devam ediyor...



Şekil 4.9. PM_{coarse} element içeriği frekans dağılım grafiği, devam ediyor...



Şekil 4. 9. PM_{coarse} element içeriği frekans dağılım grafiği

4.2.3. PM Konsantrasyonlarının Literatür ile Karşılaştırılması

Türkiye ve dünyada yapılan çalışmalar özetle;

1. Balıkesir – kentsel, 2009-2010;

Tecer yürüttüğünde gerçekleşen TÜBİTAK projesinde Ekim 2009–Ekim 2010 tarihlerinde Balıkesir kent merkezinde PM konsantrasyonlarının ağır metal içerikleri ölçülmüştür. Ölçümlerde Dichotomous cihazı kullanılmış ve örnekler ICP-MS metoduyla analiz edilmiştir. Analizi gerçekleştiren PM örnekleri ağır metal içerikleri PMF yöntemi ile modellenmiştir.

2. Zonguldak – kentsel, (Tecer ve ark.,2012);

Zonguldak şehir merkezinde Aralık 2004 – ve Ekim 2005 tarihleri arasında gerçekleşen çalışmada PM örnekleri dichotomous cihazı ile toplanmış ve Magnezyum, Al, Ti, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, Zn’nun analizleri X-ray floresans tekniği ile yapılmıştır.

3. İzmir – Kentsel, (Yatkın ve Bayram, 2007);

Haziran 2004 ile Mayıs 2005 tarihleri arasında İzmir’de toplanan PM_{2,5} ve PM₁₀ örnekleri ICP-OES tekniği ile analiz edilmiştir. İzmir’de yapılan çalışmada kentsel ve yarı-kentsel olarak iki ayrı yerde örnekleme yapılmıştır ancak Tablo...’da bu çalışmanın amacına uygun olarak sadece kentsel bölgenin sonuçlarına yer verilmiştir.

4. Kütahya – Kentsel, (Can, 2016);

Mart 2014 – Nisan 2015 tarihleri arasında PM_{2,5} ve PM₁₀ örnekleri ICP-MS tekniği ile analiz edilmiştir. Kütahya ilinde kentsel ve kırsal olarak modelleme çalışılmıştır. Modellemede PMF kullanılmıştır.

5. Kuzey Fransa – Kentsel (Frédéric Ledoux ve ark., 2017);

Mart – Nisan 2011 tarihlerinde yapılan örnekleme çalışmasında PM_{2,5}'ta ölçülen 15 element için zenginleştirme faktörü, koşullu iki değişkenli olasılık faktörü (CBPF), teşhis oranları ve reseptör modellemesi gibi araçlar kullanılarak incelenmiştir.

6. Dunkirk / Fransa – Endüstri (Alleman, L., Y., ve ark., 2010);

Endüstriyel bir bölge olan Dunkirk'te yapılan çalışmada PM₁₀ örnekleri Haziran 2003 - Mart 2005 tarihleri arasında toplanmıştır. Toplanan örneklerde 35 kadar element tayini yapılmış ve zenginleştirme faktörü, temel bileşen analizi, PMF kullanılarak modelleme çalışmaları yapılmıştır.

7. Pekin – Kentsel (Li, Y., ve ark., 2017)

PM_{2,5} örnekleri üzerine yapılan çalışma Nisan 2014 – Nisan 2015 tarihleri arasında gerçekleşmiştir. Pekin'de 5 bölgede eş zamanlı olarak PM örnekleri toplanmış ve analiz edilmiştir. Bu beş bölgeden 2'si kentsel, 1'i endüstriyel, 1'i kırsal ve 1 tanesi de yarı – kentsel olarak tanımlanmıştır. Çalışmada 13 eser element XRF yöntemi ile analiz edilmiştir. Çizelge 4.8'de sadece kentsel seçilen bölgeler ele alınmıştır.

8. Visakapatnam / Hindistan – Kentsel/Endüstriyel, (Police, S., ve ark., 2016);

Çalışmada PM₁₀ örnekleri Visakapatnam'da Jogannapalem ve Parawada bölgelerinde iki farklı lokasyonda toplanmıştır. Toplanan örnekler analiz sonucu PMF ile modellenmiştir.

Çorlu ilçesi PM konsantrasyonları element içeriklerinin Türkiye ve Dünya literatürüyle karşılaştırılması Tablo 4.8'de verilmiştir. Buna göre;

PM_{2,5} element konsantrasyonlarının Çorlu ilçesinde Balıkesir, Zonguldak ve Kütahya illerine oranla genelde daha yüksek değerlere sahip olduğu ancak İzmir'de durumun tam tersi olduğu görülmüştür. Denizsel kaynağın etkili olduğunun bir göstergesi olan elementlerden Na elementi beklenildiği gibi denize kıyısı olan Balıkesir ve İzmir illerinde ilçeye oranla daha yüksek konsantrasyonlarda ölçülmüştür.

Karşılaştırmada çoğunlukla antropojenik kaynaklı olan V, Pb, Zn, Ni, K gibi elementler İzmir ilinde diğer illere ve çalışma kapsamında değerlendirilen Çorlu ilçesine oranla daha yüksek konsantrasyonlarda görülmüştür. Çorlu ilçesi ise İzmir dışında bu elementlerin konsantrasyonunun en yüksek olduğu ikinci ildir. Çorlu ilçesi ve İzmir ili kentsel bölgelerinin çevresinin çoğunlukla sanayisi yoğun bölgeler ve nüfusu kalabalık olan bölgeler olması bu durumun bir göstergesidir.

Çizelge 4. 8. Çorlu ilçesi – Türkiye ve Dünya’da ölçülen element konsantrasyonları

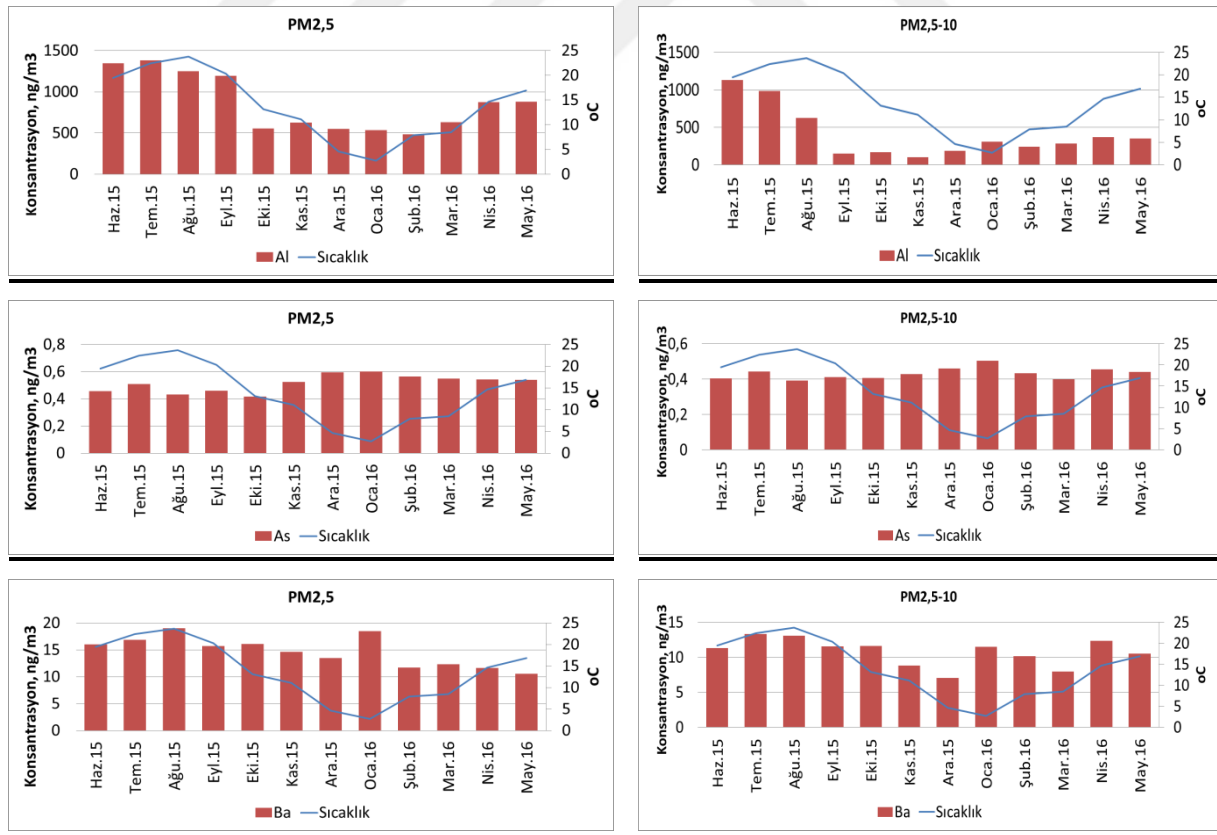
Element	Bu Çalışma		Balıkesir		Zonguldak		İzmir		Kütahya		Dunkirk	Tsinghua University	Beijing Center	Japonnapolem	Parawada
ng/m ³	PM _{2.5}	PM _{2.5 - 10}	PM _{2.5}	PM _{2.5 - 10}	PM _{2.5}	PM _{2.5-10}	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM ₁₀
Al	844,47	391,44	198,6	459,73	95,21	495,4	923,7	1439,6	193,1	718,2	270	-	-	4079,5	3828
As	0,52	0,43	0,71	0,59	-	-	-	-	-	-	5,1	-	-	2,5	5,3
Ba	14,63	10,71	4,96	8,2	-	-	15	25,7	-	-	6,8	-	-	-	-
Cd	0,62	0,38	0,36	0,27	-	-	1,6	1,6	-	-	1,32	-	-	20,01	1,9
Ca	1223,6	1499,34	501,49	931,89	197,36	990,44	2230,5	5427	261,4	1533,5	863	300	400	2361,1	2501
Cr	14,38	8,64	1,87	3,16	-	-	30,7	33,1	-	-	7,5	40	20	7,4	9,6
Co	0,35	0,14	0,1	0,18	-	-	-	-	-	-	0,55	-	-	-	-
Cu	7,69	2,82	-	-	60,84	59,87	41,6	53,9	-	-	12,6	40	20	3,5	9,9
Fe	489,06	90,05	107,73	186,64	52,44	352,94	501,8	1113,3	156,4	513,8	977	400	800	2741	2350,8
Pb	13,17	8,77	-	-	12,11	7,64	107,3	162,9	9,3	15,2	97,5	70	80	9,1	23
Li	11,35	14	0,16	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	317,27	174,1	219,73	513,33	70,18	89,36	17,07	381,5	-	-	242	-	-	351,1	287,9
Mn	11,48	2,24	3,64	5,87	8	11,65	19,1	34,4	3,1	10,3	147	40	80	154,2	18,2
Ni	1,95	1,49	1,42	2,62	3,02	2,88	69,4	21,5	2,1	5,6	12,4	20	10	6,2	7,3
K	268,61	229,9	154,38	264,15	208,96	199,73	503,2	541,7	103,1	232,7	674	900	1100	3156,2	2361,2
Se	3,18	1,98	0,44	0,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	835,4	972,99	1047	1909,02	-	-	1452,2	1925,4	-	-	1550	-	-	1229,7	710,1
Ti	37,31	22,06	-	-	11,73	46,45	-	-	11,2	40,4	27	30	40	-	-
V	0,77	0,75	2,06	2,9	-	-	160,1	16,4	2,2	5,7	18,5	-	-	3,5	5,2
Zn	42,92	82,03	11,22	13,85	58,42	24,21	202,8	323,8	17,5	30,8	80	1000	200	676,8	927,5

4.2.4. Elementlerin Meteorolojik Parametrelerle İlişkileri

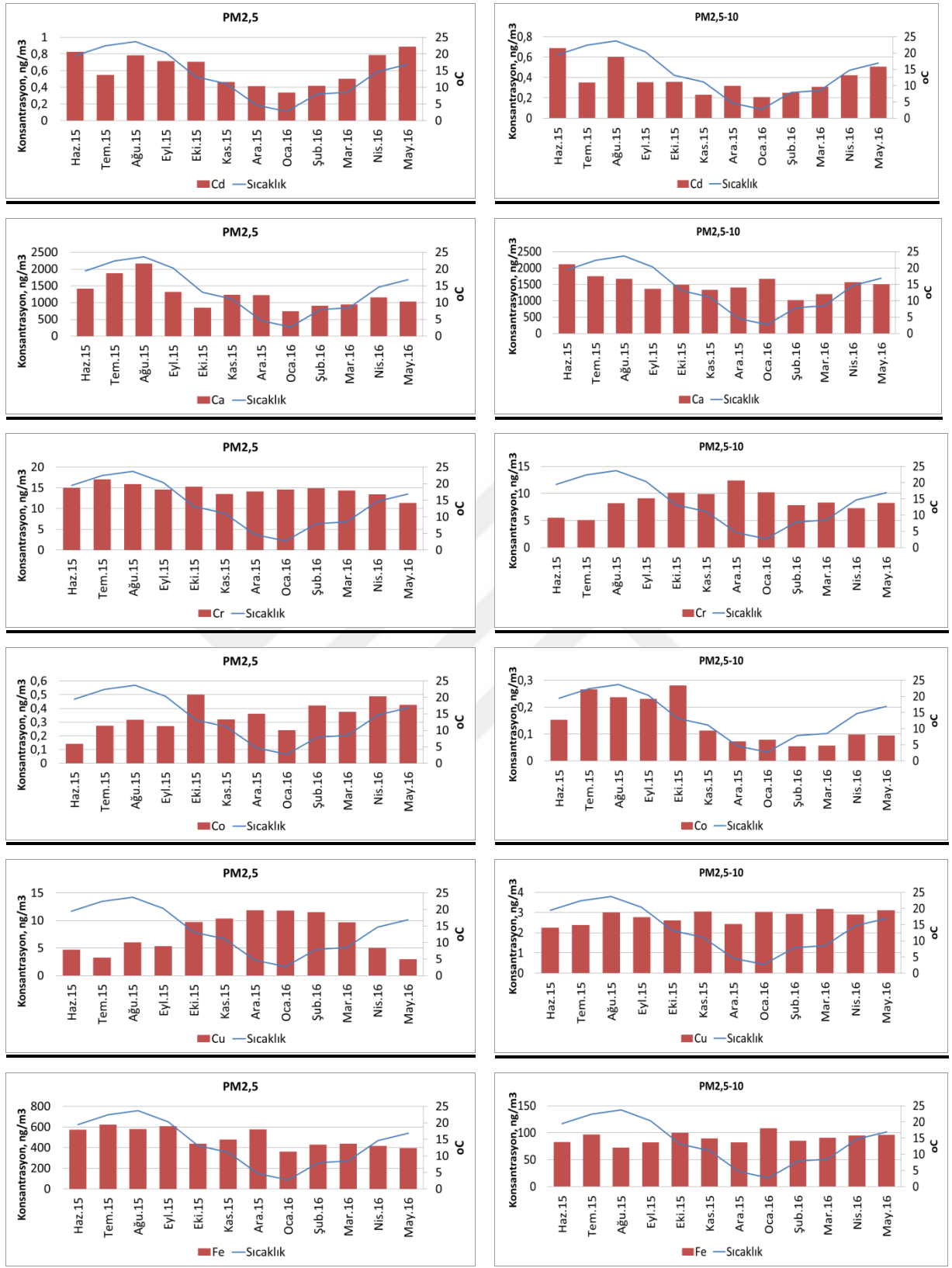
Emisyonların atmosferde dağılımları çoğunlukla meteorolojik faktörlerle ilişkilidir. Kirlenici kaynağın hangi yönden geldiği ve kaynaktan gelen kirlenicinin örnekleme noktasına ulaşana kadar seyrelip seyrelmediği ya da kirlenicinin başka bir kaynağa katılmış olup olmadığının anlaşılabilmesi için yüzey meteorolojisinin iyi bilinmesi gerekir. Bu amaçla çalışmanın bu bölümünde çalışma dönemi boyunca toplanan PM örneklerinin aynı dönemde ölçülen ve PM kirliliği üzerinde en etkili meteorolojik parametreler olan sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönüyle ilişkisi incelenmiştir. Meteorolojik parametreler (Sıcaklık, Basınç, Nem, Rüzgar Hızı, Rüzgar yönü) PM örneklerinin toplandığı Dichotomous cihazı ile ölçülmüştür.

Sıcaklık

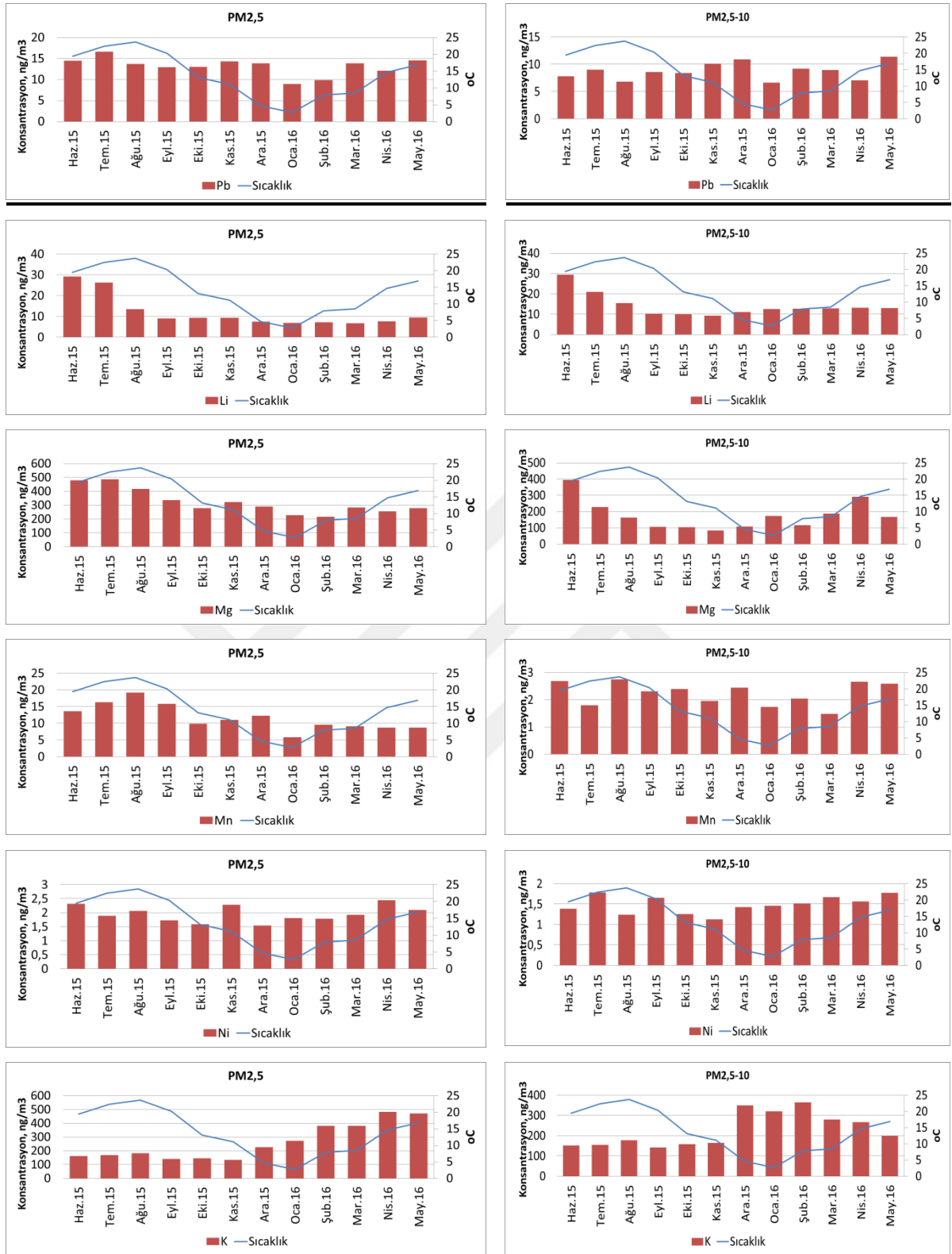
Şekil 4.10'da Çorlu ilçesinde farklı fraksiyonlardaki PM'lerin element konsantrasyonlarının aylık ortalama sıcaklığa göre değişimi verilmiştir. Sıcaklıkla doğru orantılı olan elementlerin Al, Cd, Ca, Mg (PM_{2,5} fraksiyonu), Co (PM_{2,5-10} fraksiyonu); ters orantılı olan elementlerin ise Cr (PM_{2,5-10} fraksiyonu), Cu, Se (PM_{2,5-10} fraksiyonu), Zn (PM_{2,5-10} fraksiyonu), K, V olduğu görülmüştür.



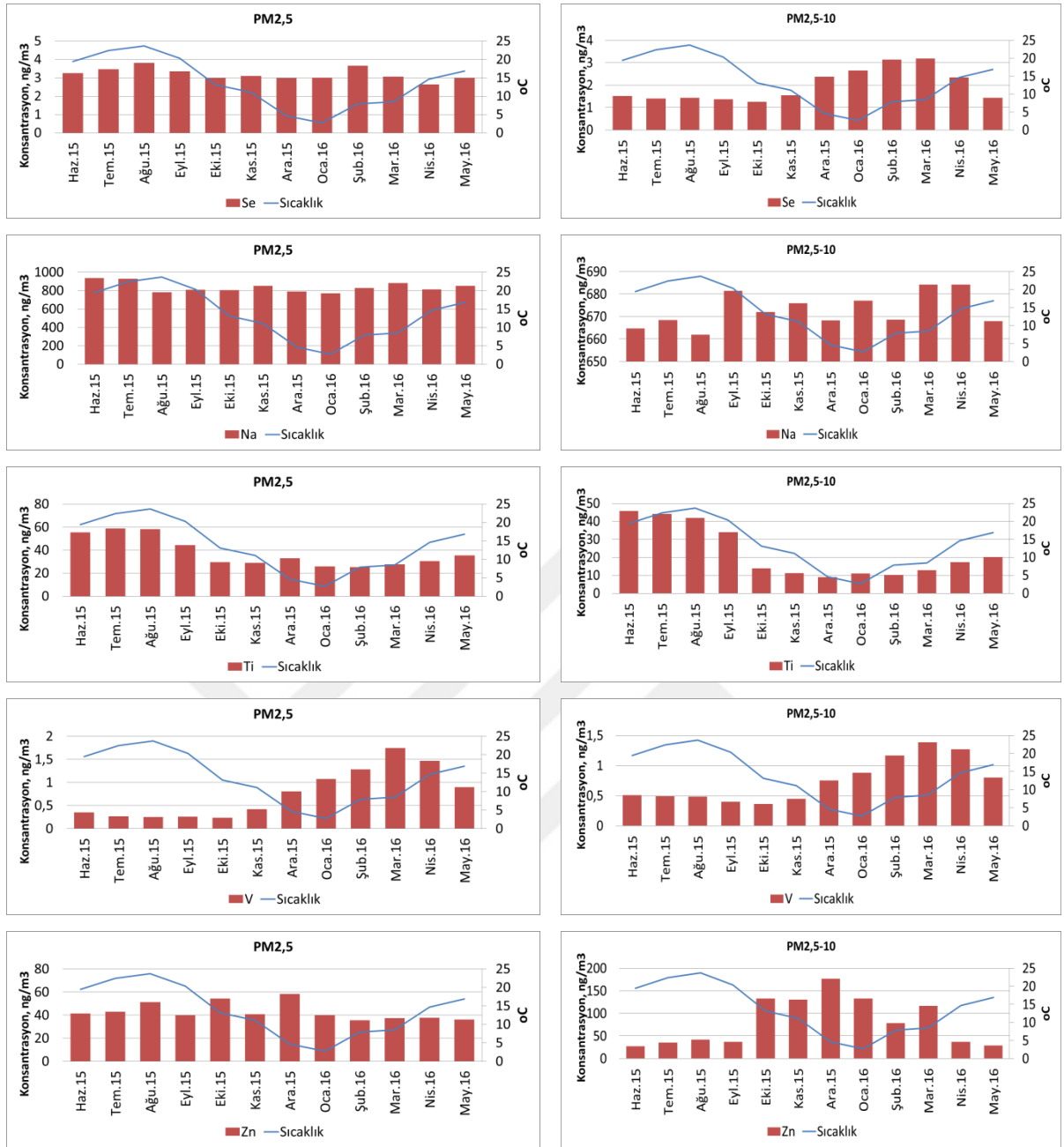
Şekil4.10. PM fraksiyonlarındaki elementler ve sıcaklığın ortalama konsantrasyonları, devam ediyor...



Şekil 4.10. PM fraksiyonlarındaki elementler ve sıcaklığın ortalama konsantrasyonları, devam ediyor...



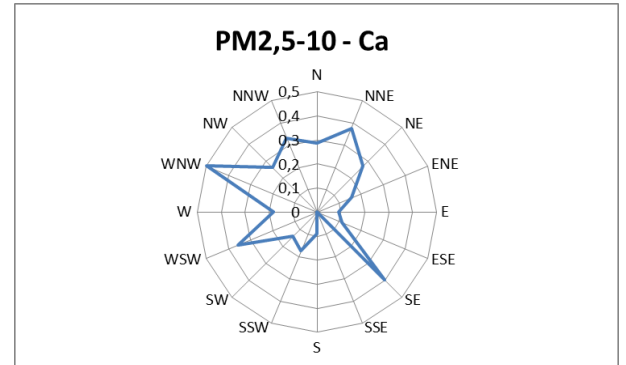
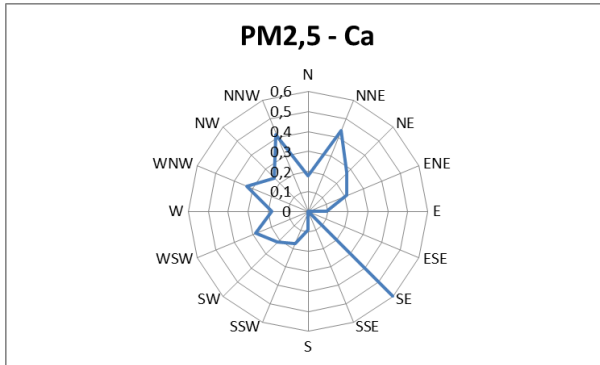
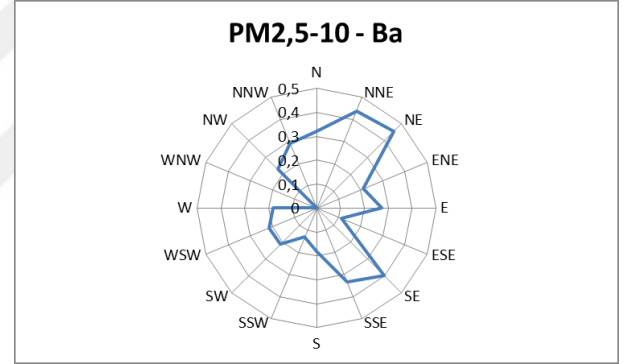
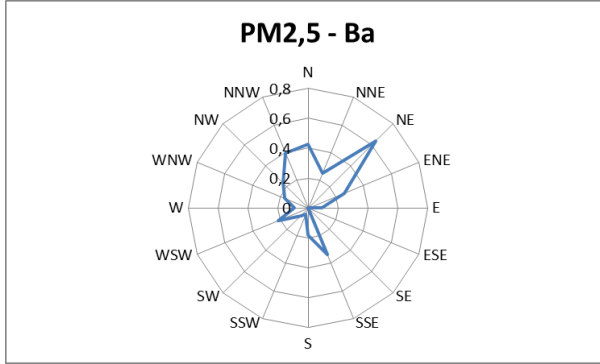
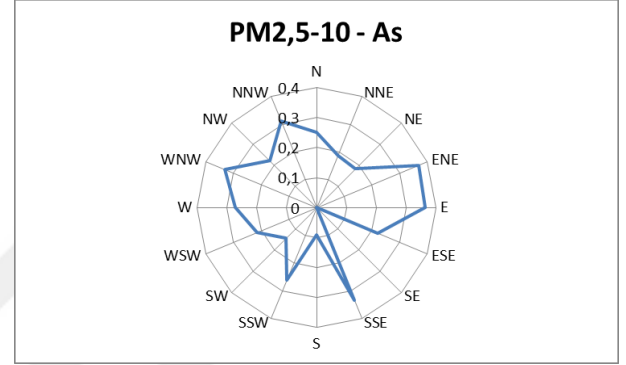
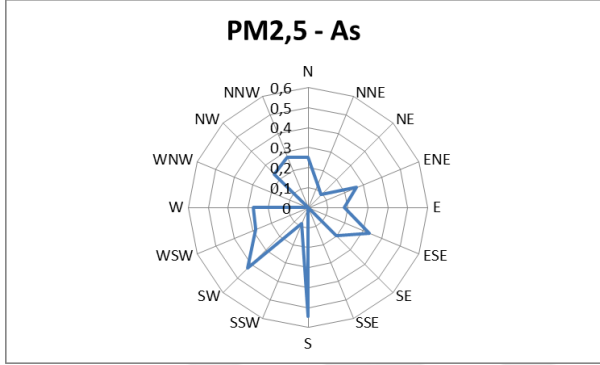
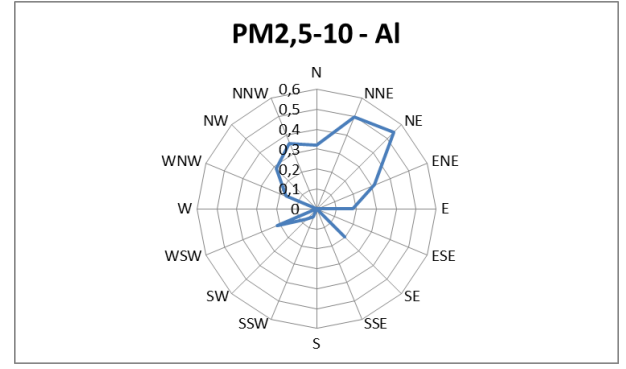
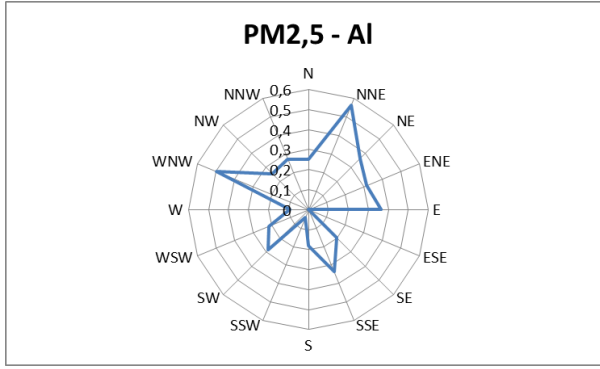
Şekil4.10. PM fraksiyonlarındaki elementler ve sıcaklığın ortalama konsantrasyonları, devam ediyor...



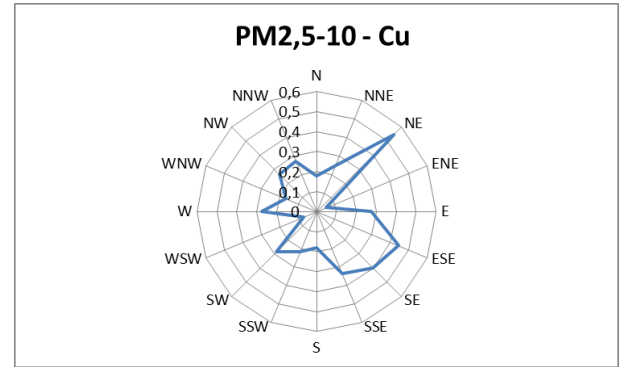
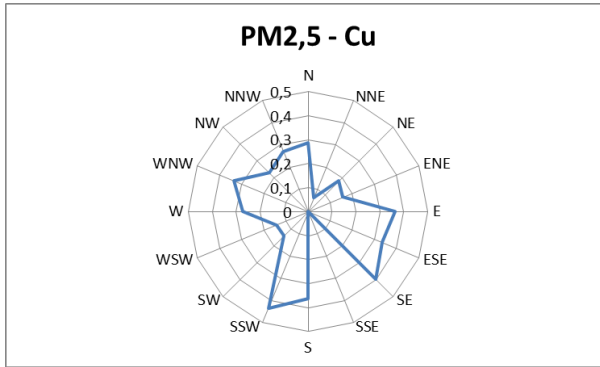
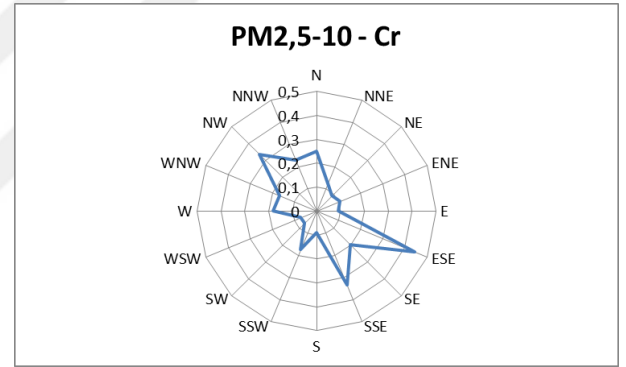
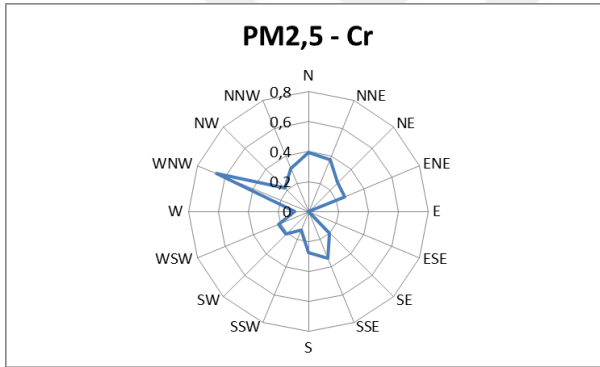
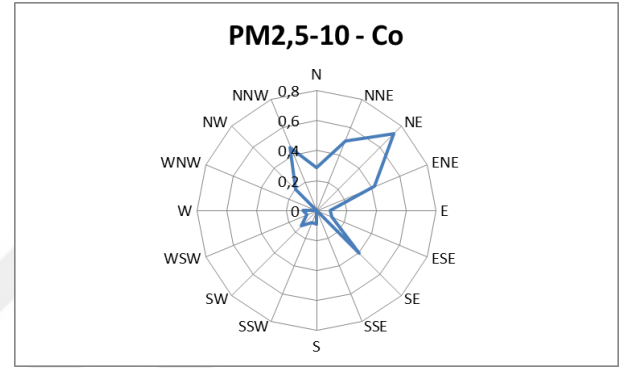
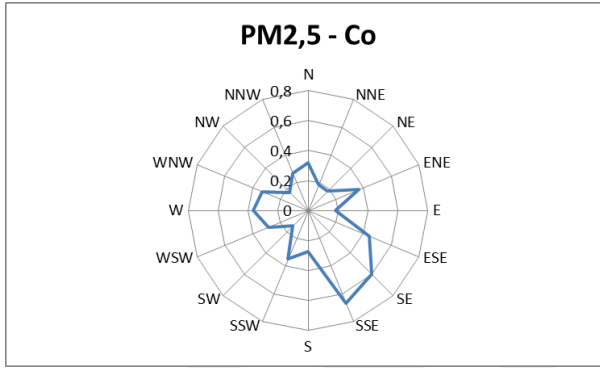
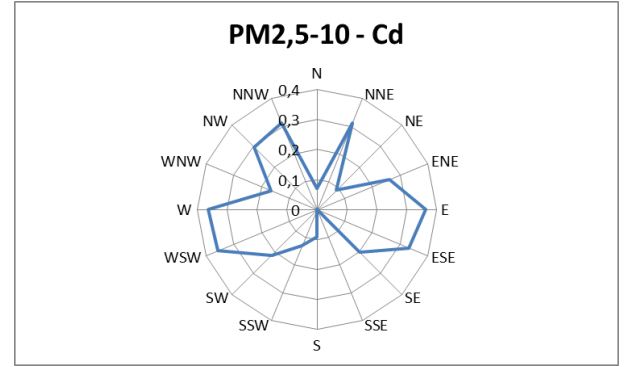
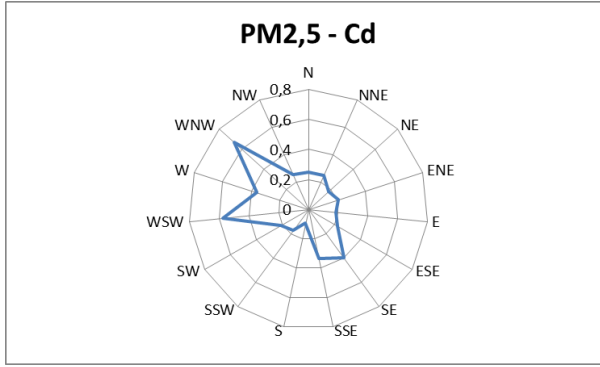
Şekil 4. 10. PM fraksiyonlarındaki elementler ve sıcaklığın ortalama konsantrasyonları

Rüzgar

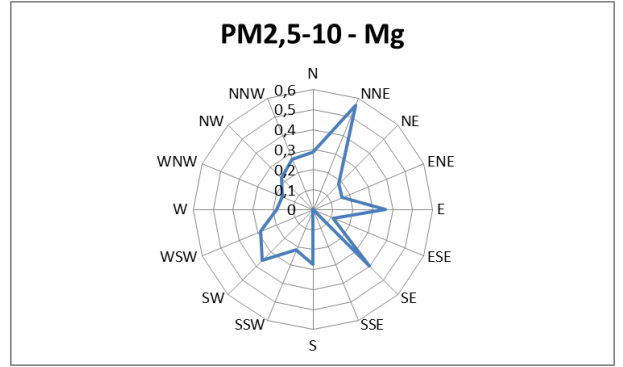
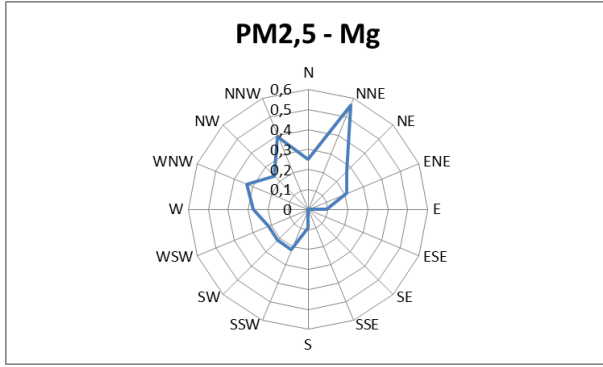
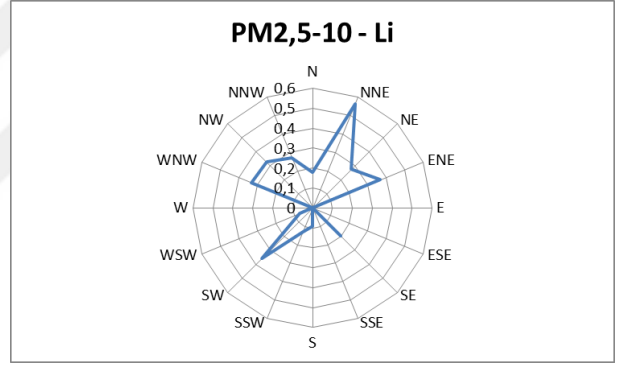
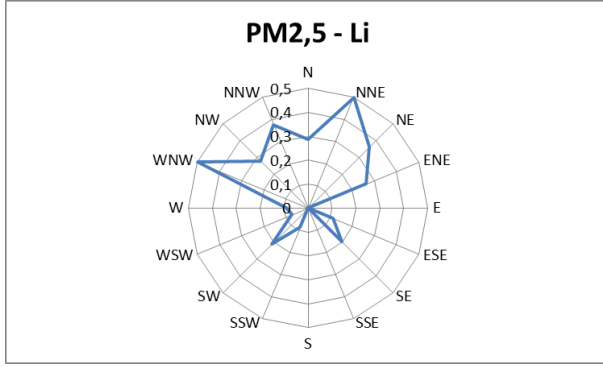
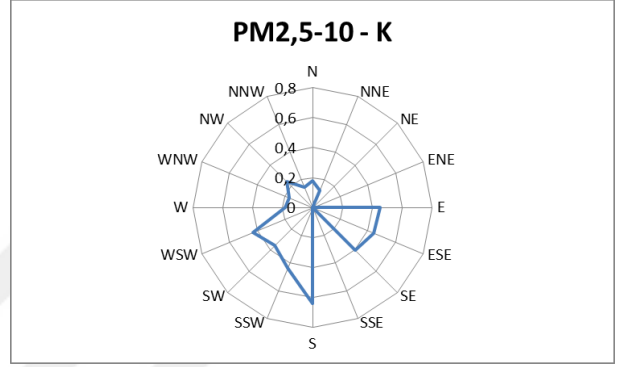
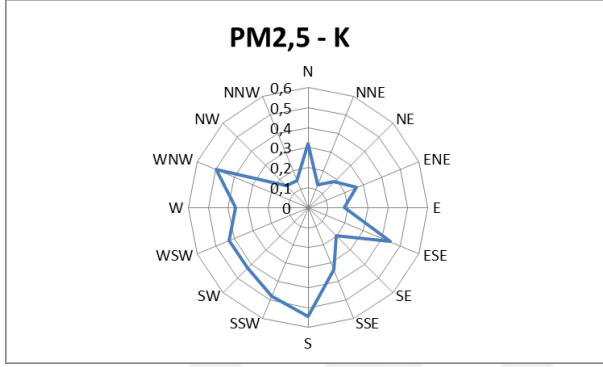
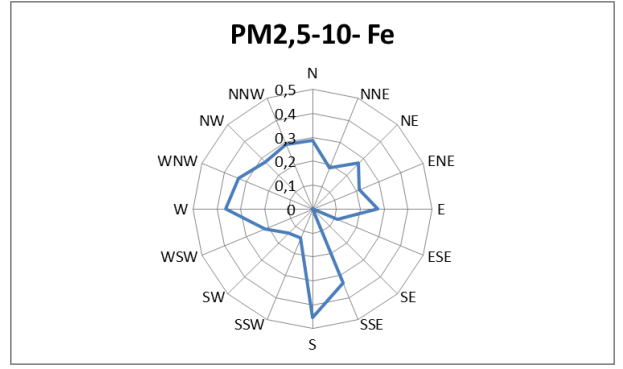
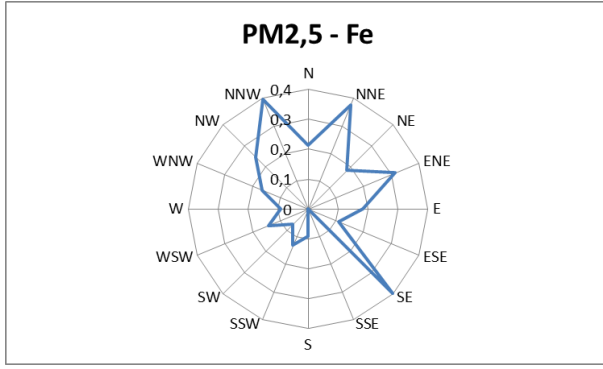
Bu bölümde kirlenici kaynakların elementlere etkisinin ortaya koyulabilmesi için rüzgar verileri kullanılarak her bir element için kirlilik gülleri oluşturulmuştur (Şekil 4.11). Çorlu ilçesi kent merkezinde yapılan çalışmada örnekleme noktasında hakim rüzgar yönü Kuzey - Kuzeybatıdır. Hakim rüzgar yönünde Örnekleme noktasına yaklaşık 10 km uzaklıkta tekil sanayiler, 3 km uzaklıkta ise Çorlu Deri Organize Sanayi Bölgesi bulunmaktadır. Bu 3 km'lik mesafe arası ise yoğun yerleşim alanıdır. Özellikle antropojenik kirliliğin bu bölgeden daha yoğun geleceği öngörülmektedir.



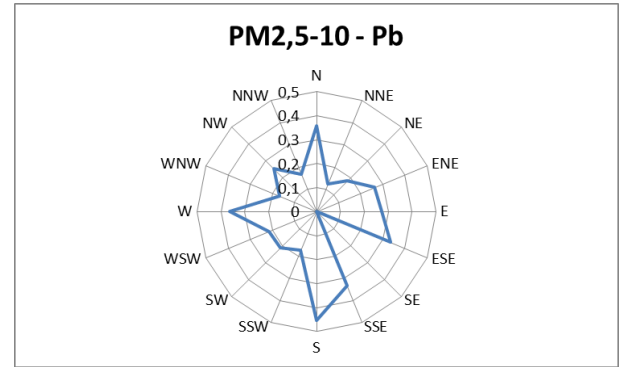
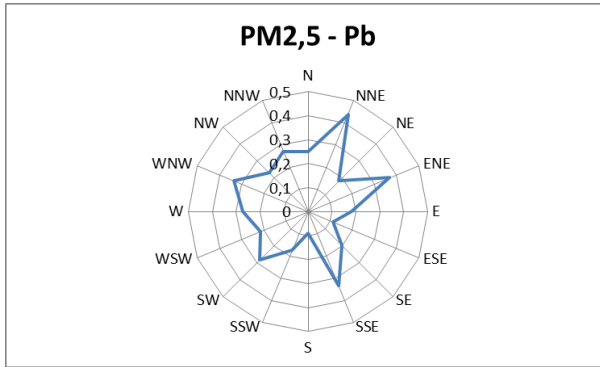
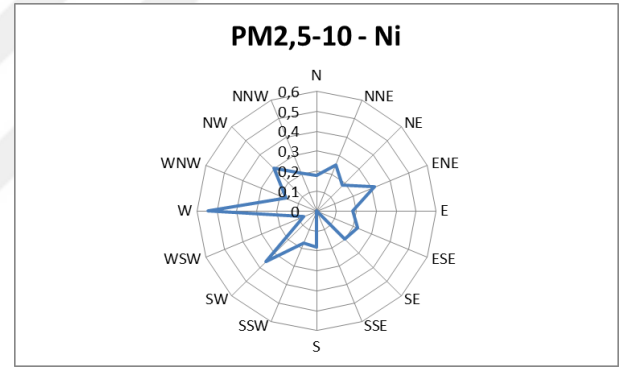
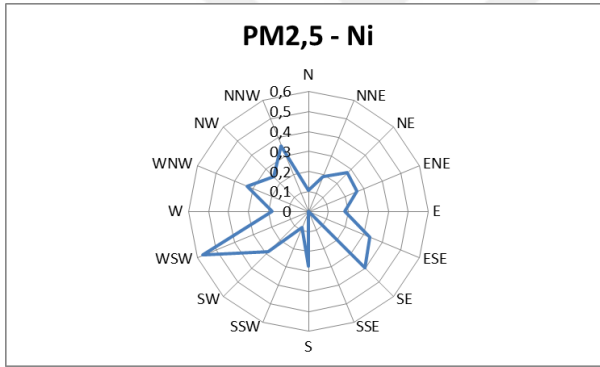
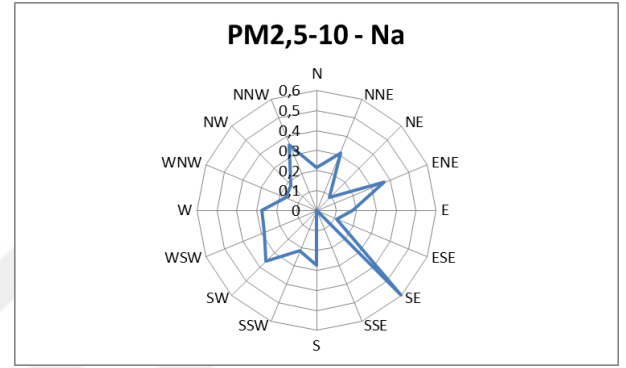
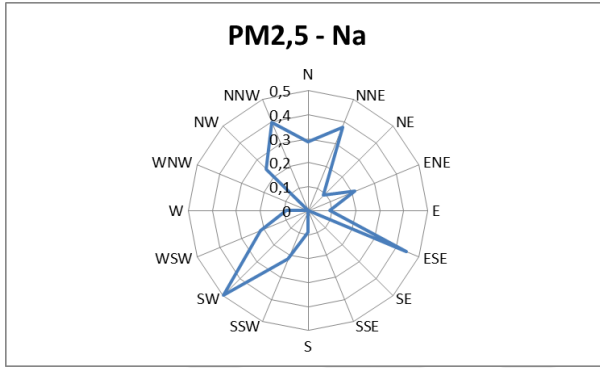
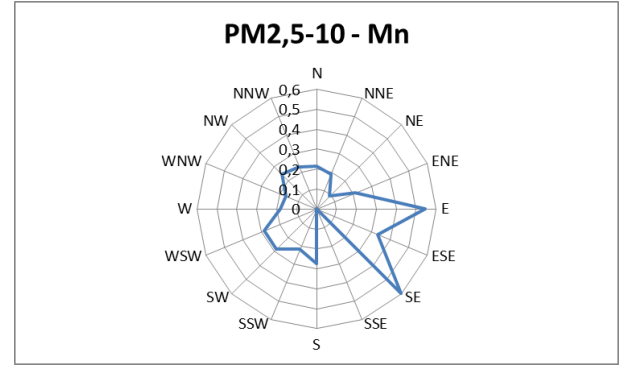
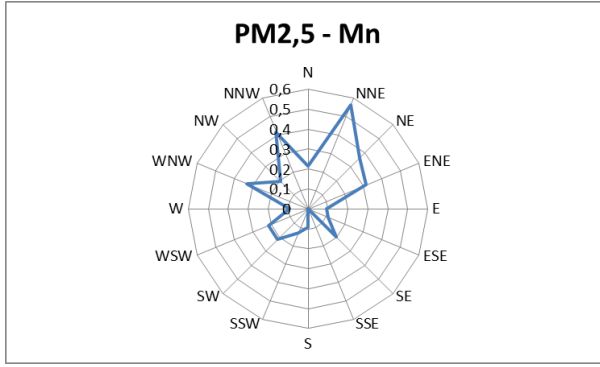
Şekil 4.11. PM fraksiyonlarındaki elementler ve kirlilik gülleri, devam ediyor...



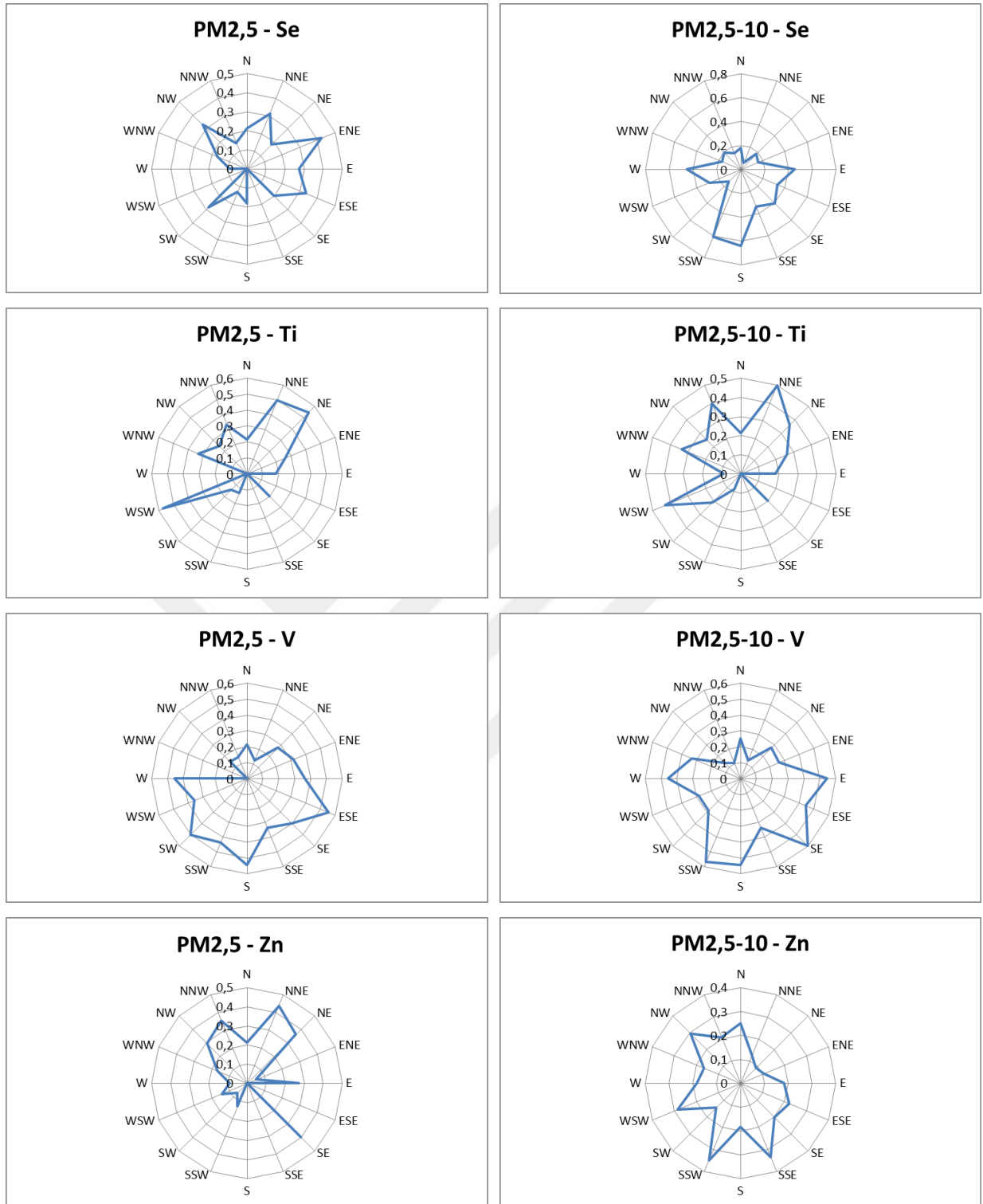
Şekil 4.11. PM fraksiyonlarındaki elementler ve kirlilik gülleri, devam ediyor...



Şekil 4.11. PM fraksiyonlarındaki elementler ve kirlilik gülleri, devam ediyor...



Şekil 4.11. PM fraksiyonlarındaki elementler ve kirlilik gülleri, devam ediyor...

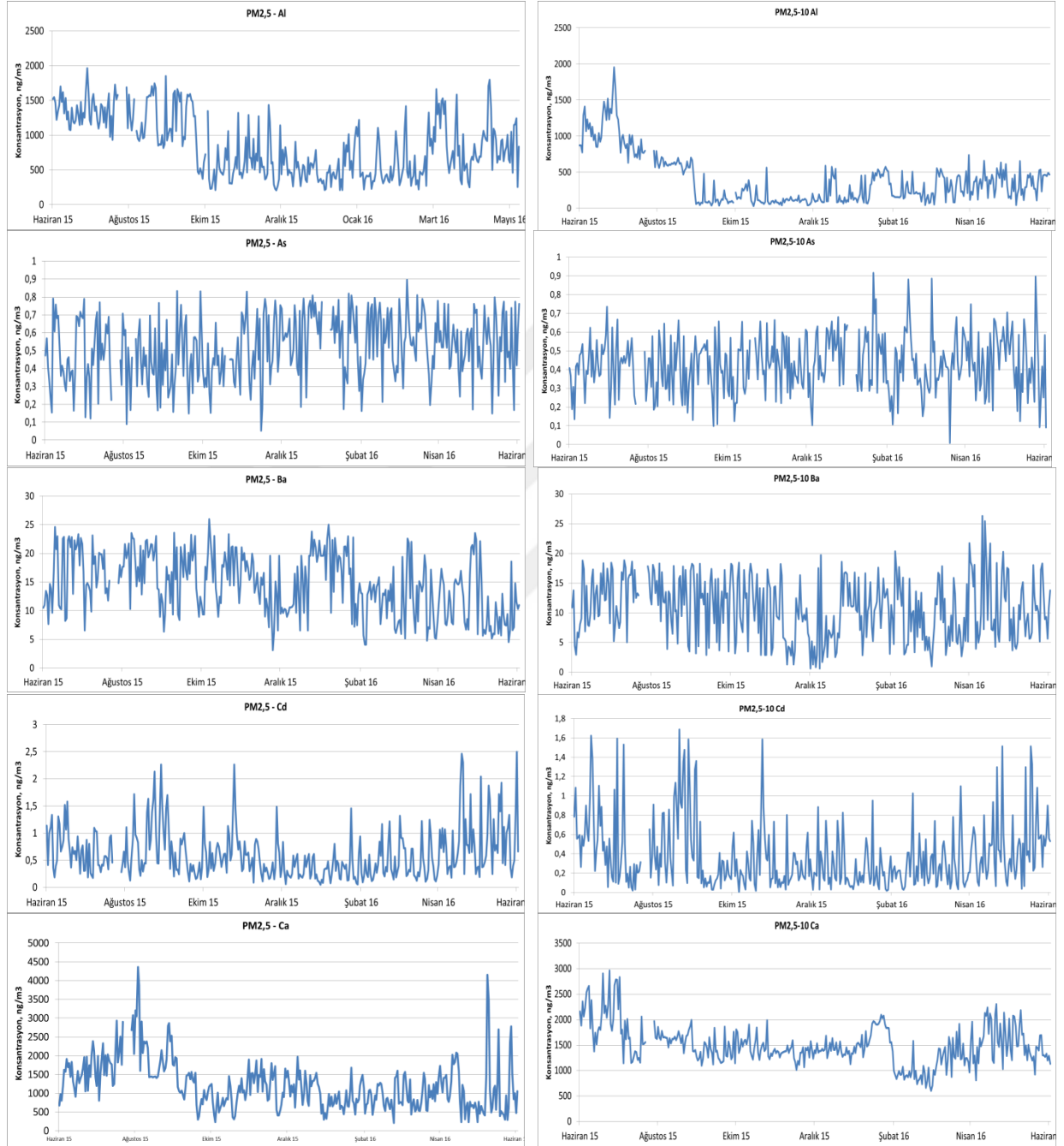


Şekil 4. 11. PM fraksiyonlarındaki elementler ve kirlilik gülleri

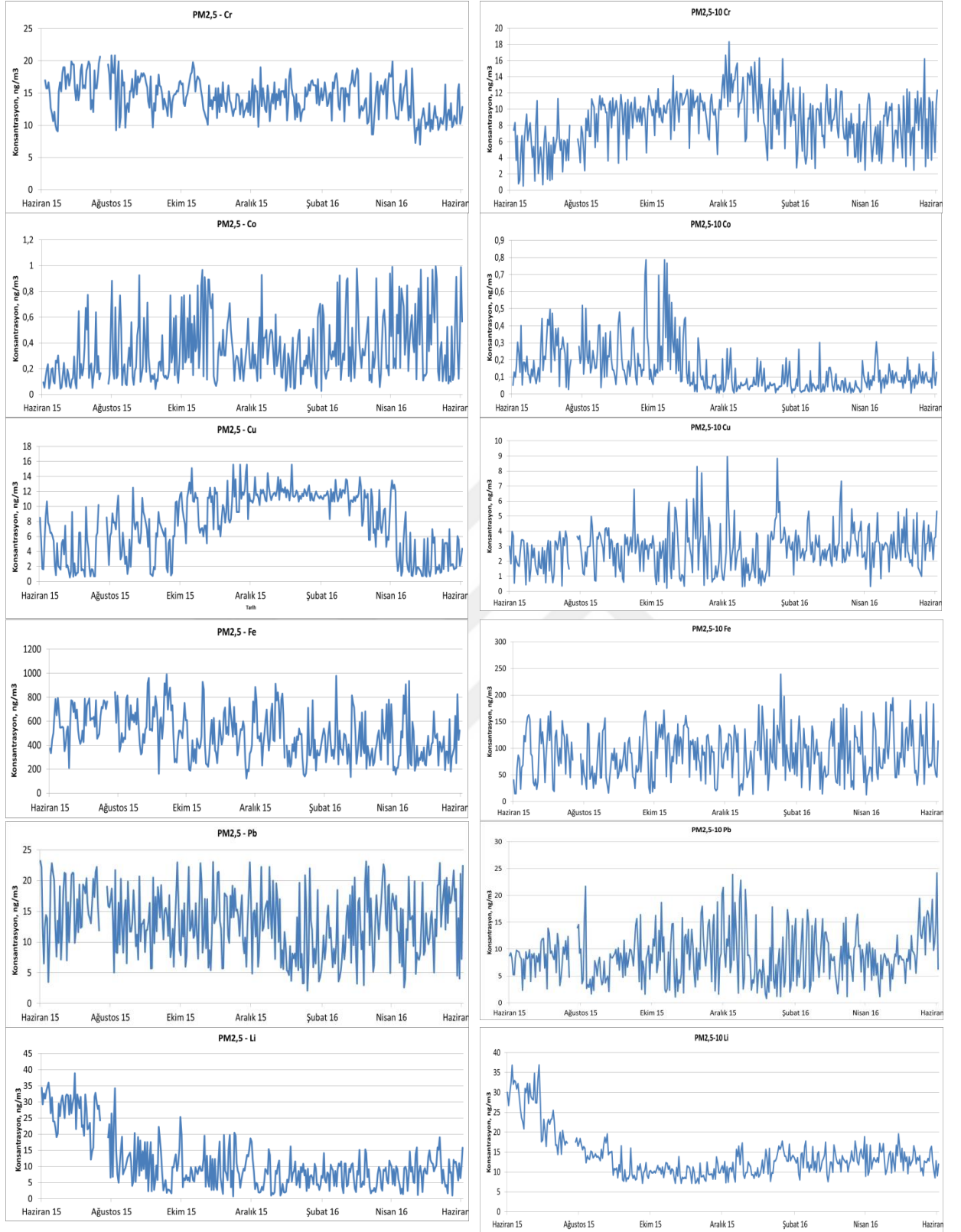
4.2.5. Elementlerin Zamansal Değişimi

Günlük Değişimler

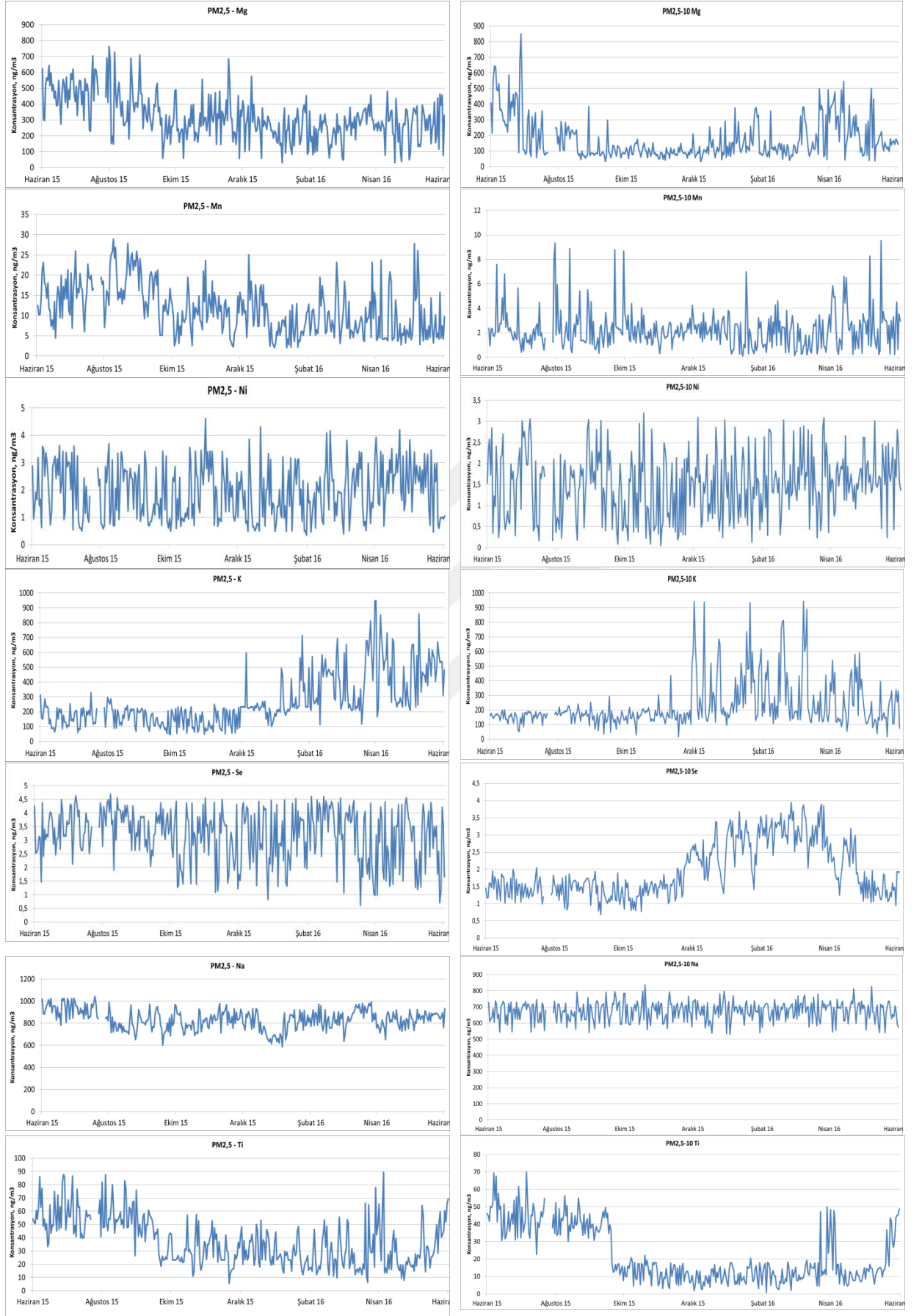
İnce ve kaba partikül fraksiyonlarındaki elementlerin günlük değişimi ve episod günleri Şekil 4.12’de verilmiştir.



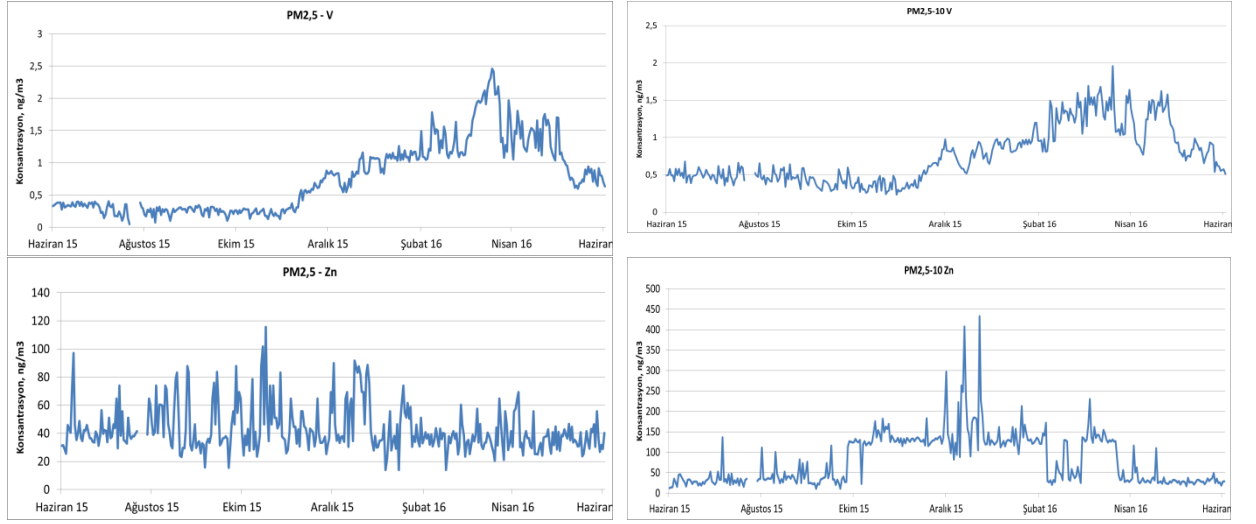
Şekil 4.12. Elementlerin günlük değişimi, Çalışma Dönemi, devam ediyor...



Şekil 4.12. Elementlerin günlük değişimi, Çalışma Dönemi, devam ediyor...



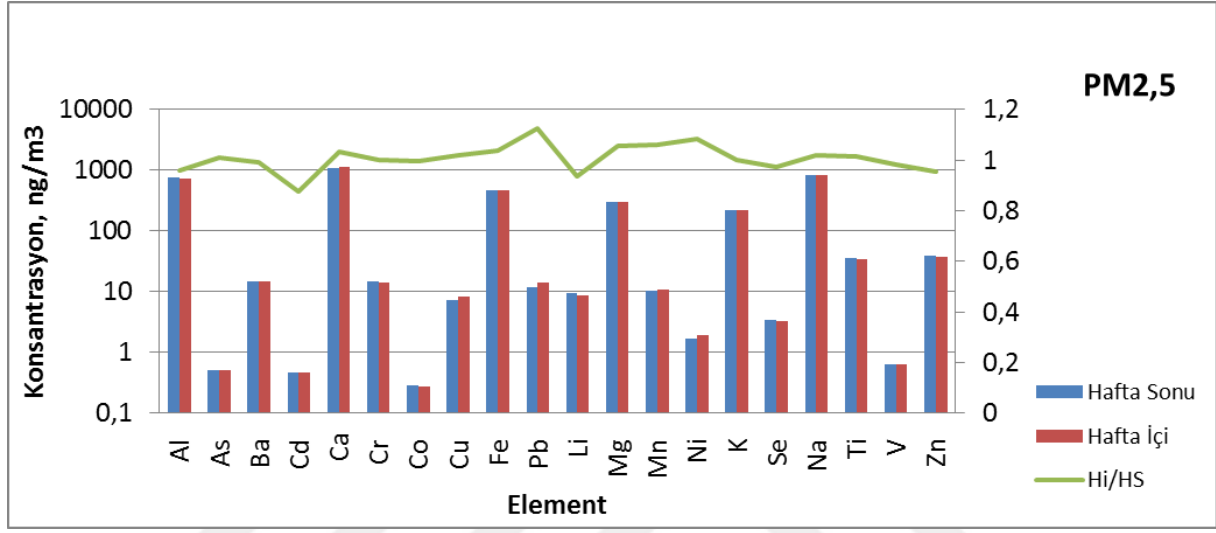
Şekil 4.12. Elementlerin günlük değişimi, Çalışma Dönemi, devam ediyor...



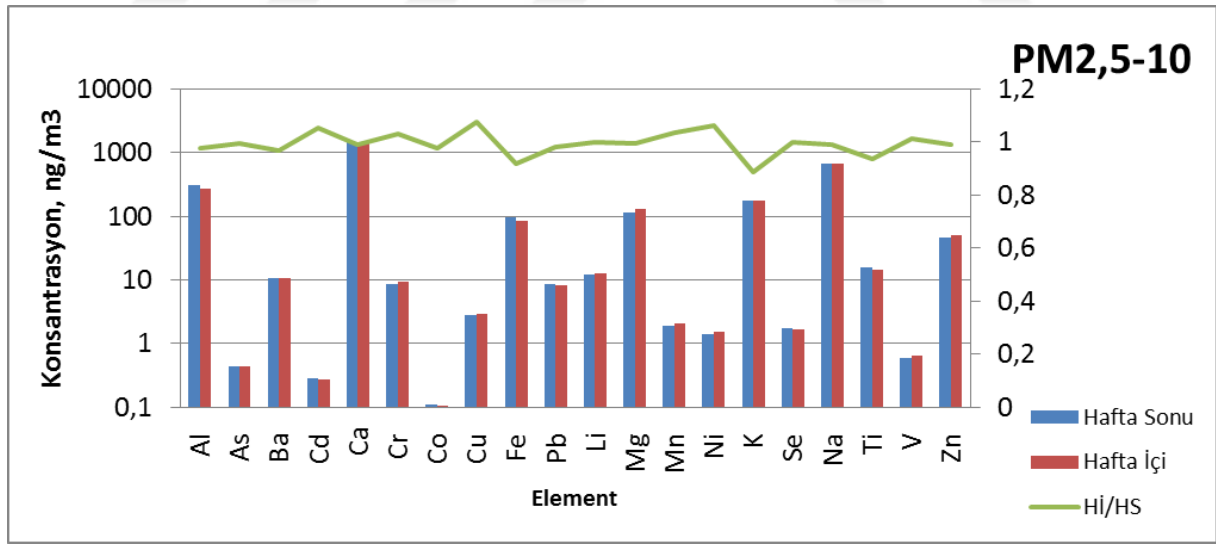
Şekil 4. 12. Elementlerin günlük değişimi, Çalışma Dönemi

Hafta içi / Hafta sonu Değişimi

Kirletici konsantrasyonlarındaki kısa dönemli değişimi görebilmek için elementlerin hafta içi (Hİ) ve hafta sonu (HS) medyan değerleri ile Hİ/HS oranı Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmiştir. Buna göre; hem ince hem de kaba partiküllerin element konsantrasyonlarının, birkaç element haricinde, hafta içi daha yüksek olduğu görülmektedir. Hafta sonu daha yüksek konsantrasyonda ölçülen elementler PM_{2,5} için Cd ve Li; PM_{2,5-10} için Fe, K, Ti'dur.



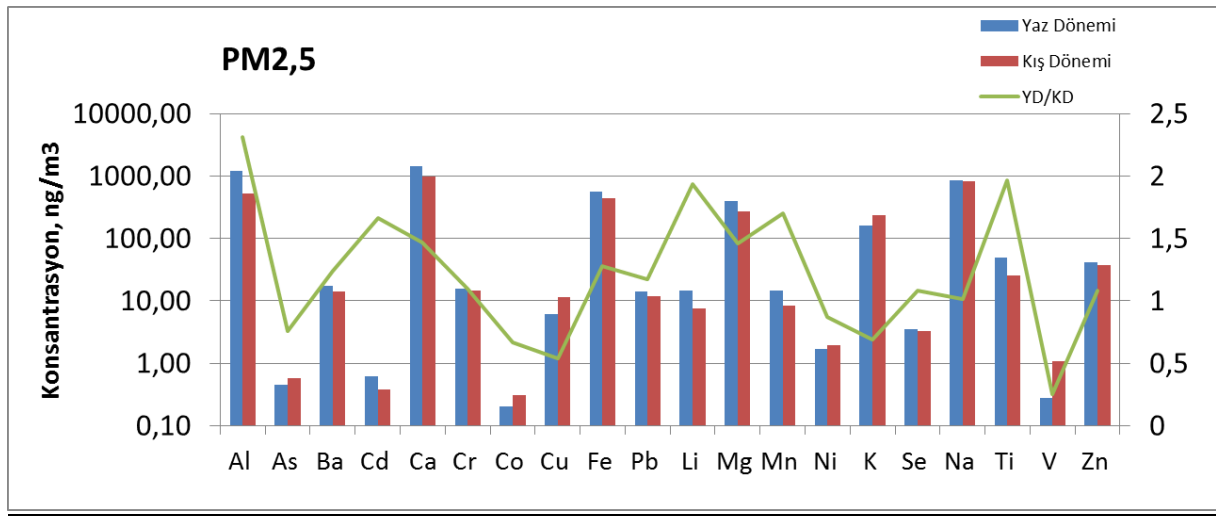
Şekil 4. 13. Elementlerin Hafta içi - Hafta sonu değişimleri, PM_{2,5}



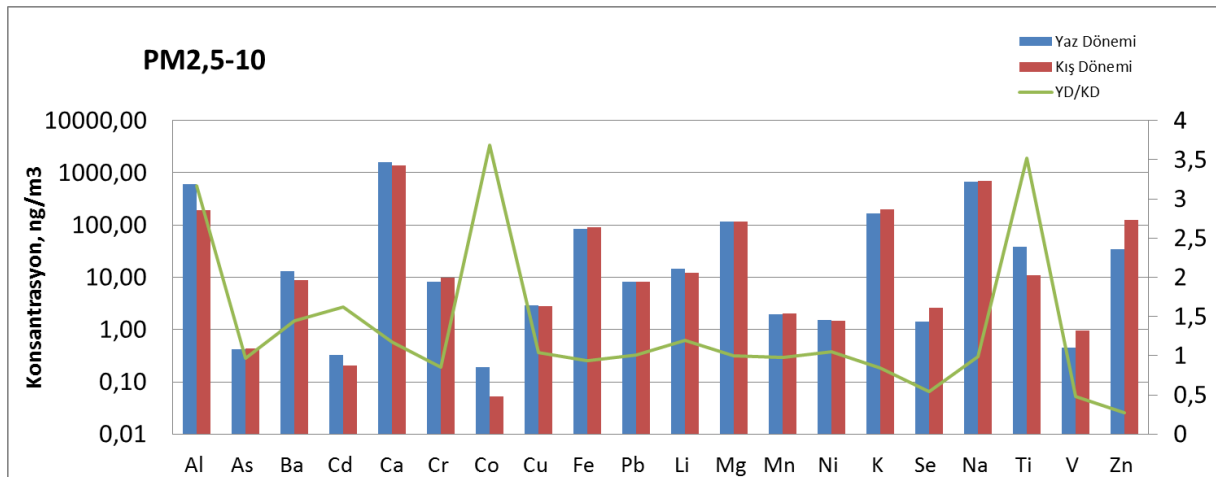
Şekil 4. 14. Elementlerin Hafta içi - Hafta sonu değişimleri, PM_{2,5-10}

Dönemsel Değişim

Çorlu ilçesinde ısınma amaçlı yakıt yakılmaya başladığı aylarda (Kış Dönemi: 01.11.2015 – 30.04.2016) ve nispeten sıcak geçen aylarda (Yaz Dönemi: 05.06.2015 – 31.10.2015) PM konsantrasyonlarındaki element değişimi görebilmek için; Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da her bir element için her iki dönemde medyan değerleri ve elementlerin YD/KD oranları verilmiştir. PM_{2,5} fraksiyonunda V, K, Ni, Cu, Co, As elementlerinin, PM_{2,5-10} fraksiyonunda ise Zn, V, Se, K, Cr elementlerinin Kış döneminde daha yüksek olduğu görülmektedir. Her iki dönemde de antropojenik kaynaklı elementlerin daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 15. Elementlerin yaz ve kış dönemi değişimleri, PM_{2,5}



Şekil 4. 16. Elementlerin yaz ve kış dönemi değişimleri, PM_{2,5-10}

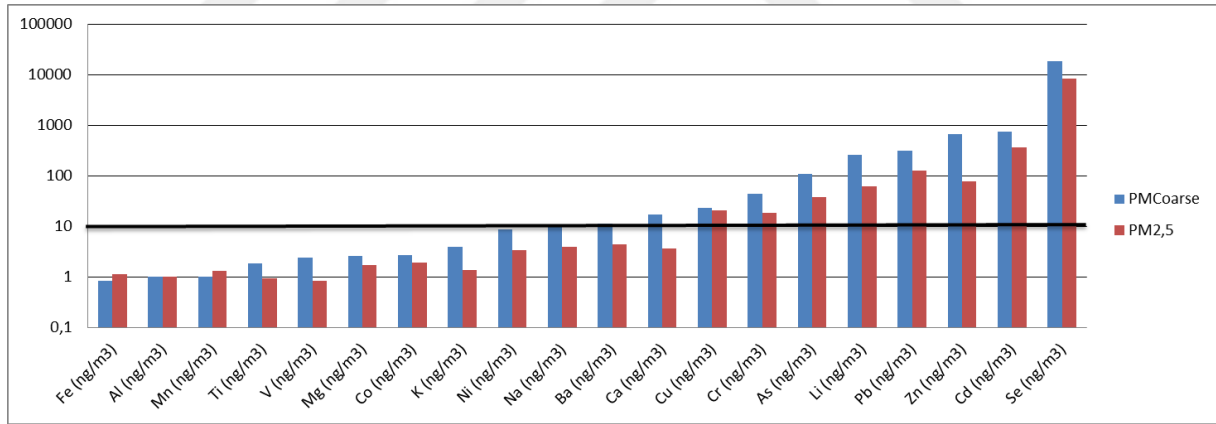
4.3. PM Kaynak Belirleme Analizleri

4.3.1. Zenginleşme Faktörü (ZF)

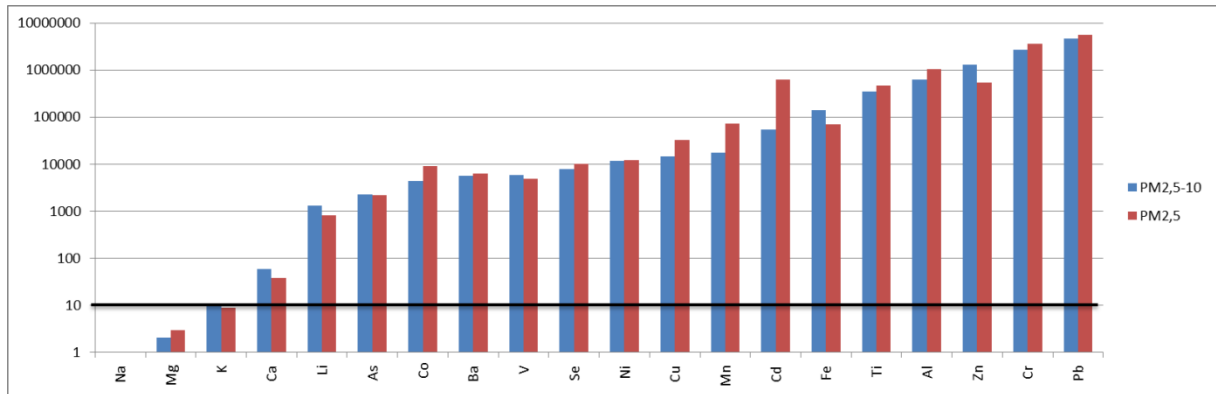
PM kaynak belirleme analizleri ile ilgili genel bilgi ikinci bölümde verilmiştir. Bu çalışmada referans örnek olarak, Mason tarafından belirlenmiş toprak içeriği ve Goldberg tarafından belirlenmiş deniz içeriği kullanılmıştır. Karasal zenginleşme faktörü için Al elementi denizel zenginleşme faktörü için ise Na elementi referans elementtir. Zenginleşme Faktörü katsayısı 10 olarak alınmıştır ve 10'dan küçük olan elementlerin doğal kaynaklı, 10'dan büyük olan elementlerin antropojenik kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Buna göre; Şekil 4.17'de görüldüğü gibi karasal zenginleşme faktörü sonucu PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} içinde zenginleşen elementler: Cu, Cr, As, Li, Pb, Zn, Cd, Se'dur. Ca değeri PM_{2,5}'da 10'un altındayken PM_{2,5-10}'da 10'un üzerindedir. Kaba fraksiyonda Ca'un antropojenik kaynaklı olduğu görülmektedir. İnce ve kaba fraksiyon için Fe, Al, Mn, Ti, V, Mg, Co, K, Ni, Na, Ba elementlerinin çoğunlukla toprak kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.18'de denizsel zenginleşme faktörü görülmektedir. Burada her iki PM fraksiyonunda Mg ve K dışındaki elementler denizsel kaynaklı değildir.



Şekil 4. 17. Karasal zenginleşme faktörü



Şekil 4. 18. Denizsel zenginleşme faktörü

4.3.2. PMF (Positive Matrix Factorization)

Çorlu ilçesi kent atmosferinde PM kaynak katkı oranları, toplanan PM_{2,5} ve PM_{coarse} örneklerine PMF analizi yapılarak belirlenmiştir. Modelin PMF 5.0 versiyonu kullanılmıştır. Analize dahil edilen elementler; Al, As, Ba, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Ni, K, Li, Se, Na, Ti, V, Zn'dur.

PMF analizi için 2 adet (konsantrasyon ve belirsizlik) girdi dosyası hazırlanır ve hazırlanan girdi dosyalarında eksik veri bulunmaması gerekir. Elementel analizleri içeren konsantrasyon dosyasında eksik veriler yerine serinin “geometrik ortalaması” alınmıştır. Konsantrasyon dosyasında dedeksiyon limiti (DL) altında kalan değerler için “DL/2” verisi kullanılmıştır. Belirsizlik dosyası hazırlanırken ise aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

Ölçülen değer DL üzerinde yada eşit ise: $DL + (\text{ölçüm değerinin } \%10)$

Ölçülen değer DL altında ise: $\frac{5}{6} \times DL$

Eksik veri ise: $4 \times \text{geometrik ortalama}$

PMF 3 – 8 faktör aralığında çalıştırılmış ve her bir faktörün fiziksel anlamlılığına bakılmıştır. Modelde faktör sayısını program belirlemediği için manuel olarak girilmiş ve ölçülen parametrelerin açıklanan varyansaları, g-skorların zamansal değişimleri incelenerek optimum faktör belirlenmiştir.

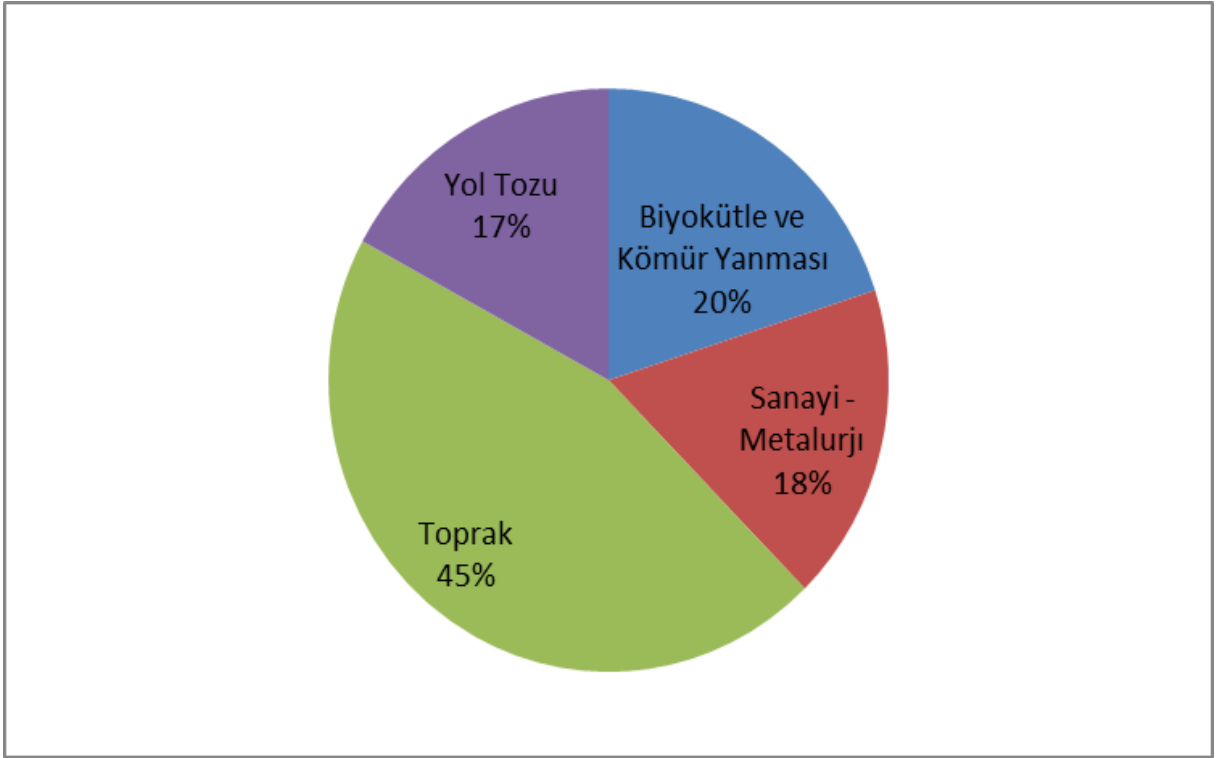
4.3.2.1. PM_{2,5} Sonuçları

PM_{2,5} fraksiyonundaki elementlere yapılan PMF analizi sonucu 4 faktör belirlenmiştir. Buna göre; belirlenen kaynaklar;

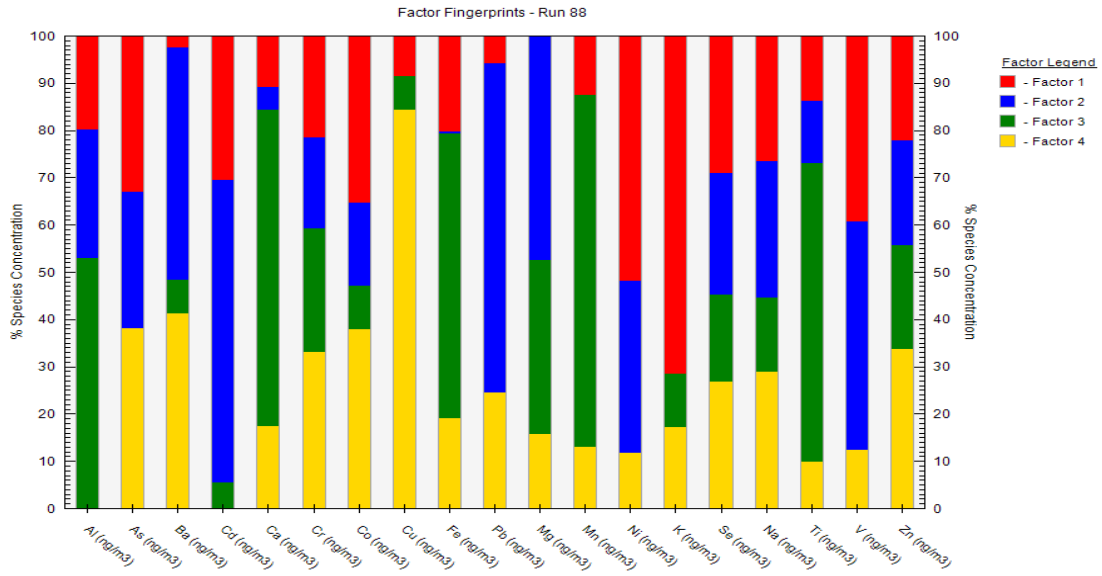
- Toprak
- Biyokütle ve kömür yanması
- Sanayi – metalurji
- Yol tozudur.

Her bir faktör aşağıda ayrı şekilde incelenmiştir. Şekil 4.19.'da faktörlerin PM_{2,5} fraksiyonuna yüzdece katkısı gösterilmiştir. En yüksek katkının toprak (%45) kaynaklı olduğu görülmektedir. İkinci büyük katkı biyokütle ve kömür yanmasından (%20) gelmektedir. Sanayi – Metalurji %18, Yol tozu %17 katkıda bulunmaktadır.

Şekil 4.20'de kaynakların element içerikleri verilmiştir.



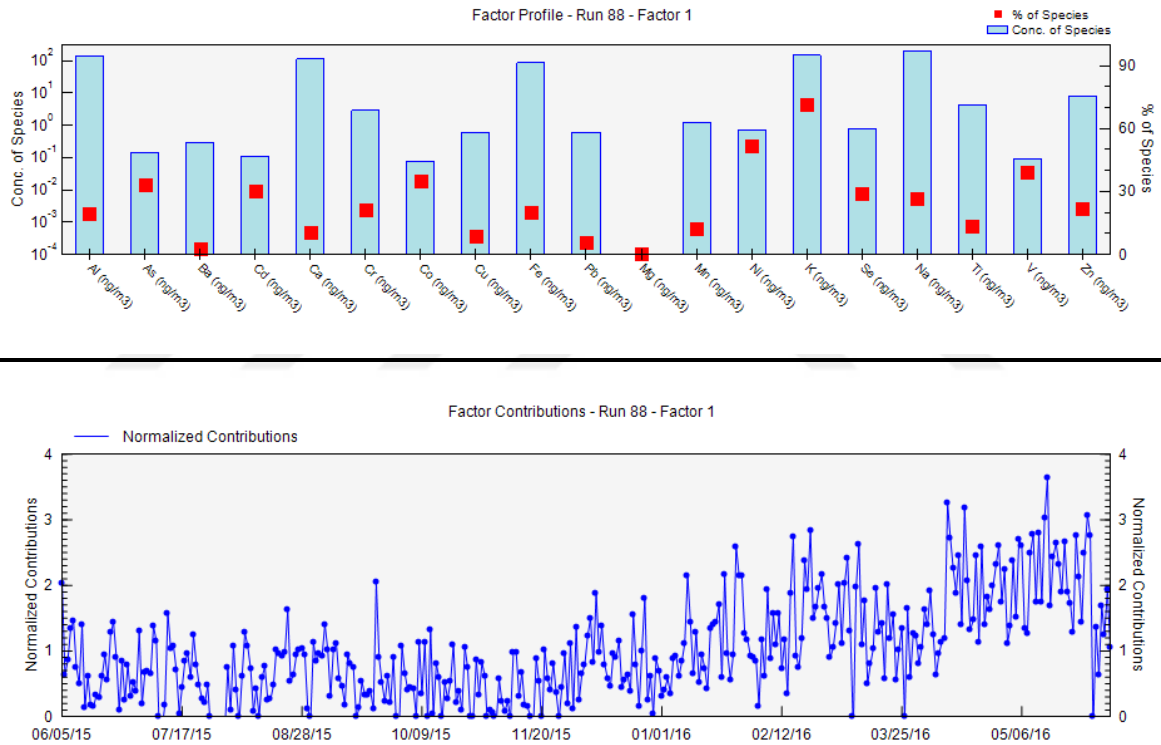
Şekil 4. 19. Kaynakların PM_{2,5} kütle konsantrasyonlarına katkıları



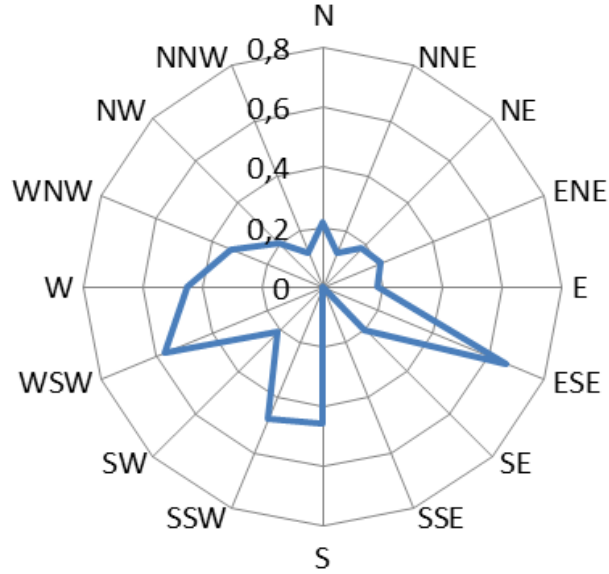
Şekil 4. 20. Elementlerin kaynak katkıları

Faktör – 1 - Biyokütle ve Kömür Yanması

Şekil 4.21’de biyokütle ve kömür yanması profili ve zamansal değişimi verilmiştir. Bu faktörde K’nın %71’i, Ni’nin %52’si ve Se’nin %28’i açıklanmıştır. K antropojenik veya doğal kaynaklı olabilmektedir. Doğal kaynaklı K topraktan gelirken, antropojenik kaynaklı potasyum biomass yanmasından gelebilmektedir (Abu-Allaban, M., ve ark., 2007, Police, S., ve ark., 2016) . Ni ise atmosferde fosil yakıtların (özellikle petrolün) yakılması, kabuk kaynakları ve yanardağların yanmasından kaynaklanmaktadır (Khillare, P. S., ve ark., 2002). Bu faktörde yaz aylarına nispeten kış aylarında daha yüksek değişimler görülmektedir. Bu sonuçlarla Faktör 1 “Biyokütle ve Kömür Yanmasını” işaret etmektedir.



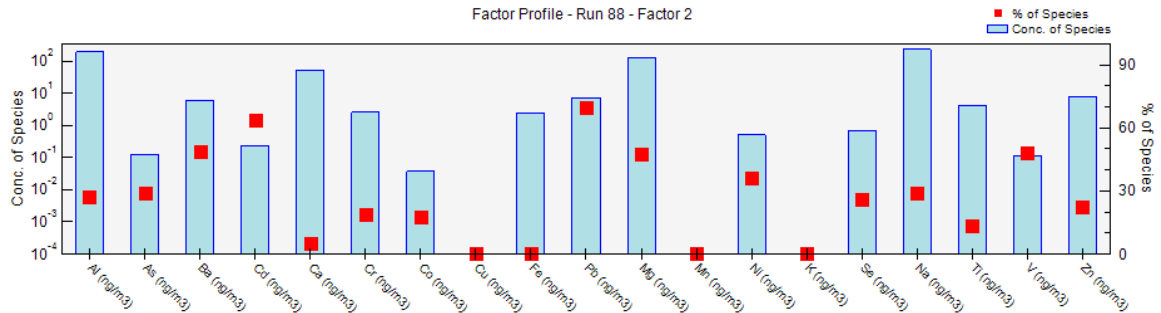
Faktör - 1

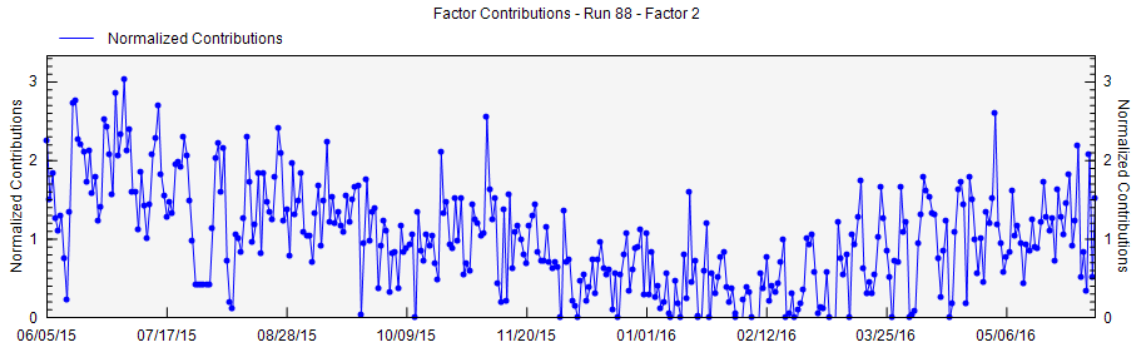


Şekil 4. 21. Faktör 1 (Biyokütle ve Kömür Yanması) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği

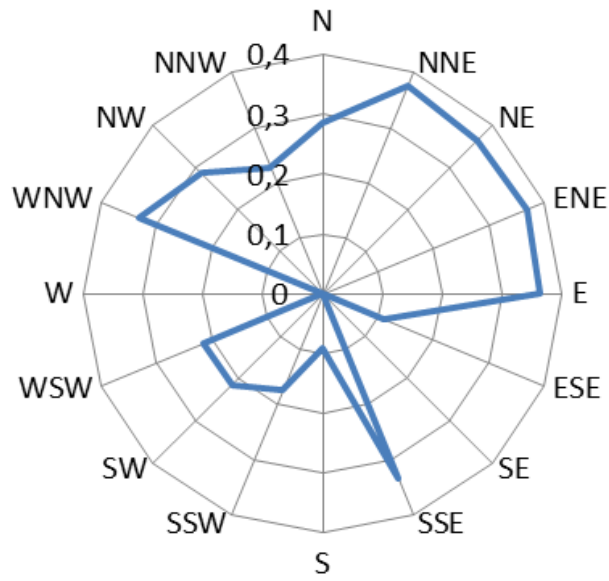
FAKTÖR - 2 – Sanayi ve Metalurji

Faktör 2 ölçüm noktasının kuzeyinde yaklaşık 3 km ötesinde Çorlu Deri OSB ve kuzey doğusunda Velimeşe OSB ve Çerkezköy OSB’de yeralan fabrikalara ait emisyonları işaret etmektedir. Baryum’un %49’u, Cd’nin %63’ü, Pb’nin %69’u, Mg’un %47’si ve V’un %48’i bu faktörde açıklanmıştır. Cd’un atropojenik kaynakları; cam boyaları, PVC, Cd alaşımları, elektronik kaplamalar, demir – çelik ürünleri’dir. Pb ise çoğunlukla fabrikalardan, kurşun bazlı boyalardan, metal eritişinden kaynaklanmaktadır (Uzun, S., 2011).





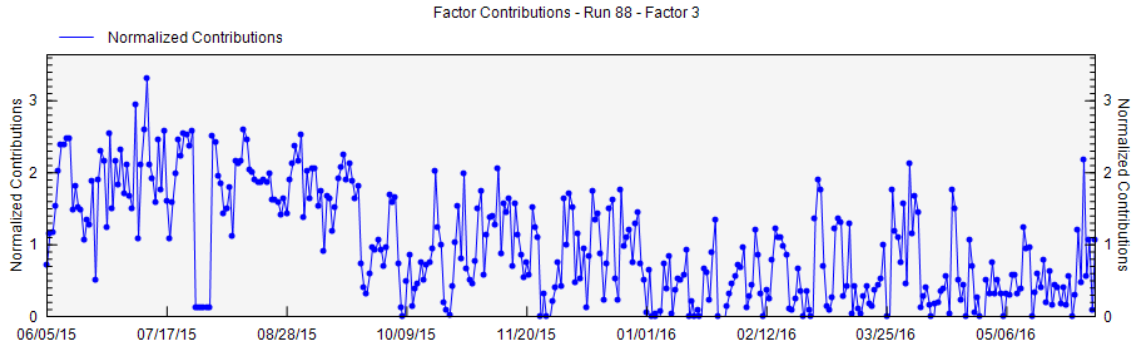
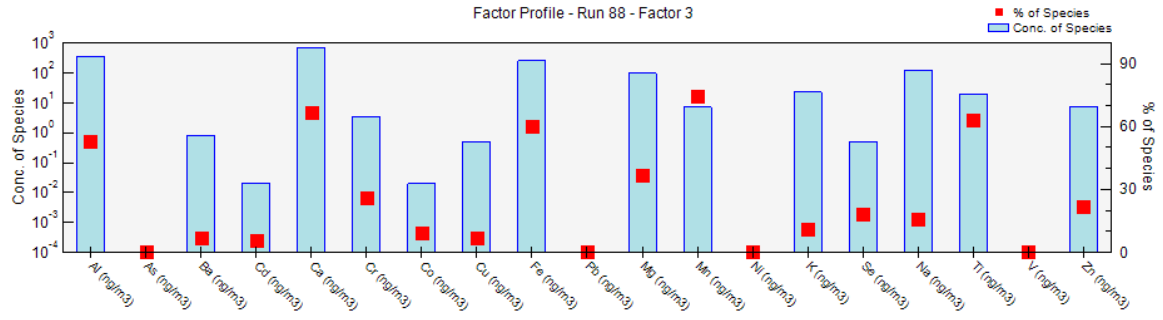
Faktör - 2



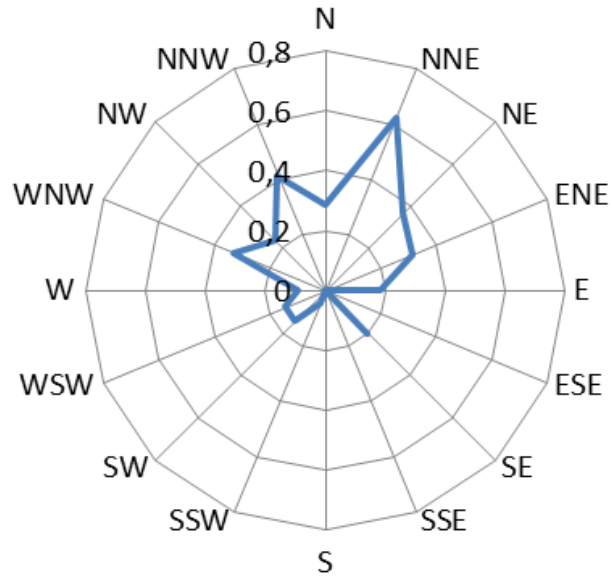
Şekil 4. 22. Faktör 2 (Sanayi ve Metalurji) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği

FAKTÖR - 3 – Toprak

Faktör 3 tipik toprak elementlerinden oluşmaktadır. Al, Ca, Fe, Mn, Ti elementleri bu faktörde yüksek konsantrasyona sahiptir. Yaz aylarında daha yüksek konsantrasyon görülmesi beklenen bir durumdur (Şekil 4.23). Rüzgarlar ve diğer faktörler vasıtasıyla havaya uçarlar (Belis, C., A., ve ark., 2013). Sıcak dönemlerde kuru tozun yerden kalkmasını işaret eder.



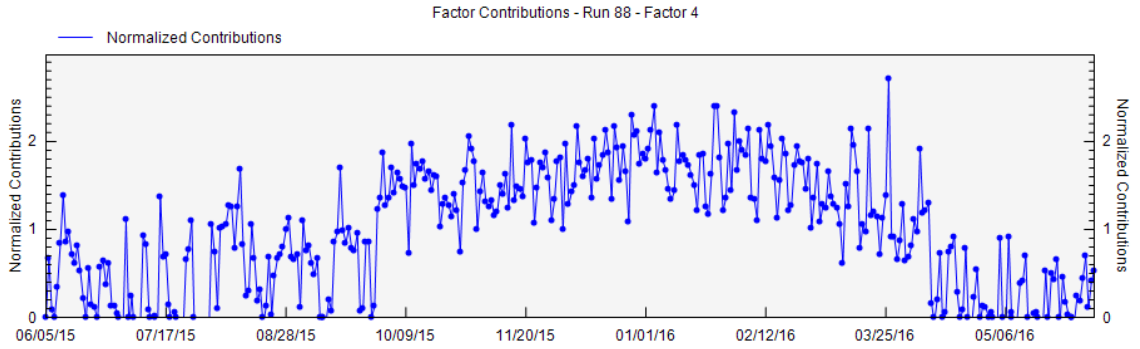
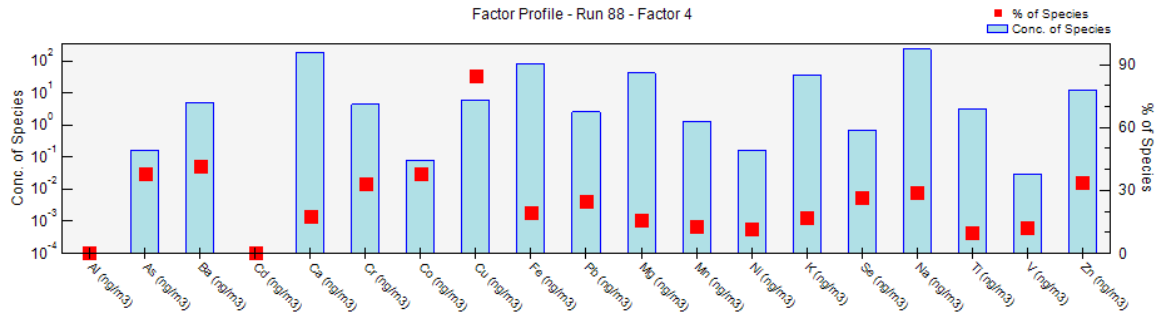
Faktör - 3



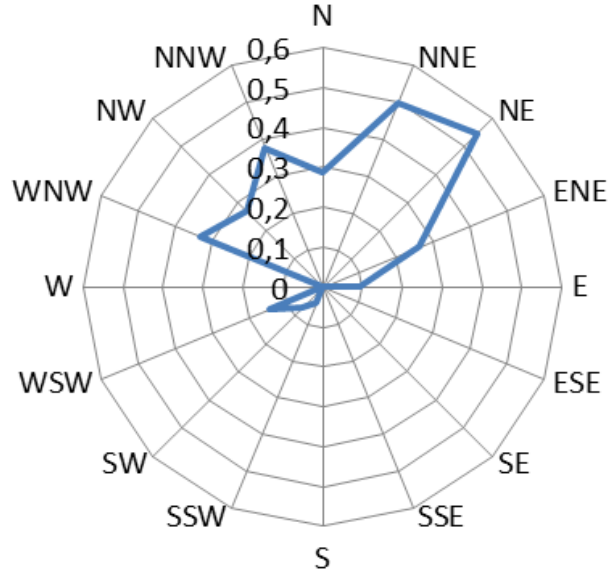
Şekil 4. 23. Faktör 3 (Toprak) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği

FAKTÖR - 4 – Yol tozu / Trafik

Toplam PM_{2,5} kütlesinin %17'sini oluşturan Faktör 4, As (%38), Cr (%33), Co (%37), Cu (%84), Na (%29), Zn (%33) elementlerini içermektedir. Faktör 4 için model grafikleri Şekil 4. 24'te verilmiştir. Bu faktör profilin de Cu oldukça dominanttır. Cu ve Zn, fren ve lastik aşınması da dahil olmak üzere egzozsuz araç emisyonları için izleyici olarak tanımlanmıştır (Amato ve ark., 2016). Zn motor yağlarında, lastiklerde ve fren balatalarında sıklıkla bulunduğu için Faktör 4 trafik ile ilişkilendirilmiştir (Connell ve ark., 2006). Kış aylarında daha yüksek konsantrasyonların görülmesi kentte bu aylarda daha fazla aracın trafikte olduğunu ve olumsuz meteorolojik koşulların etki ettiğini düşündürmektedir.



Faktör - 4



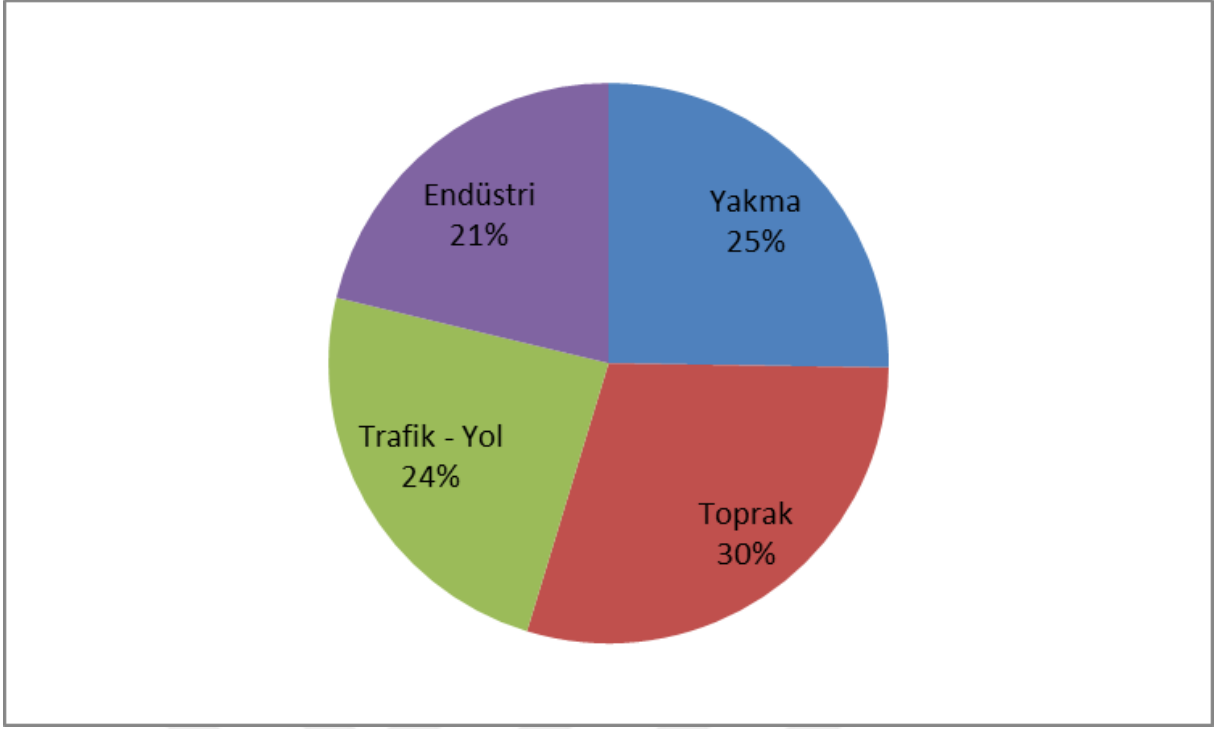
Şekil 4. 24. Faktör 4 (Yol tozu ve Trafik) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği

4.3.2.2. $PM_{2,5-10}$ Sonuçları

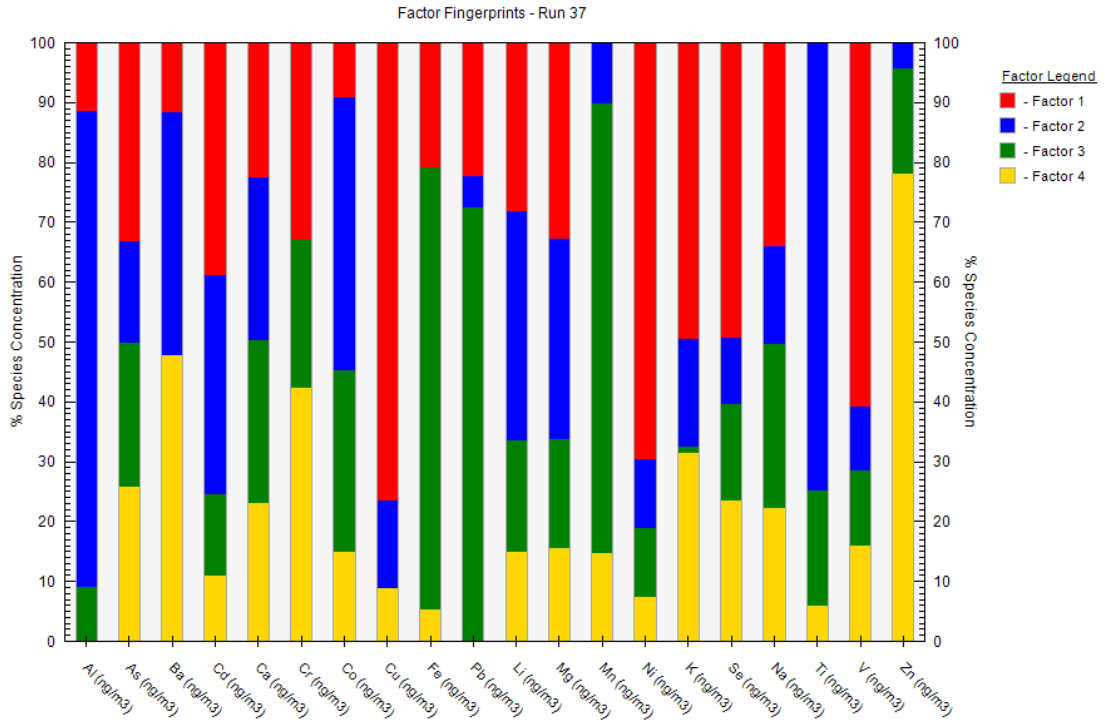
Kent atmosferinde kaynakların $PM_{2,5-10}$ kütle konsantrasyonlarına katkıları Şekil 4.25'te verilmiştir. Belirlenen kaynaklar;

- Yakma
- Toprak
- Trafik / Yol
- Endüstridir.

$PM_{2,5-10}$ fraksiyonunda en yüksek katkı toprak kaynaklı elementlerindir (%30). Kaba fraksiyonda Yakma kaynaklı elementler %25, Trafik –yol kaynaklı elementler %24ve endüstri kaynaklı elementler %21 oranında bulunmaktadır. Şekil 4.26'da elementlerin kaynaklara katkı oranları gösterilmiştir.



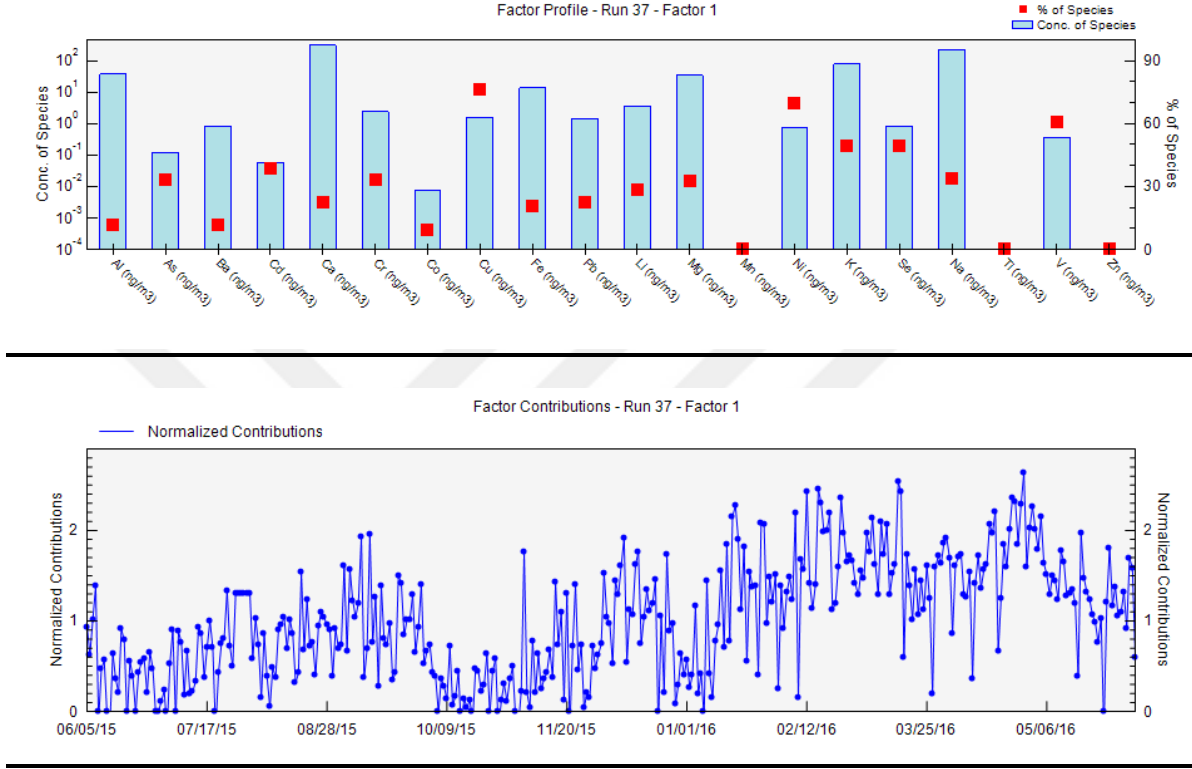
Şekil 4. 25. Kaynakların PM_{2,5-10} kütle konsantrasyonlarına katkıları



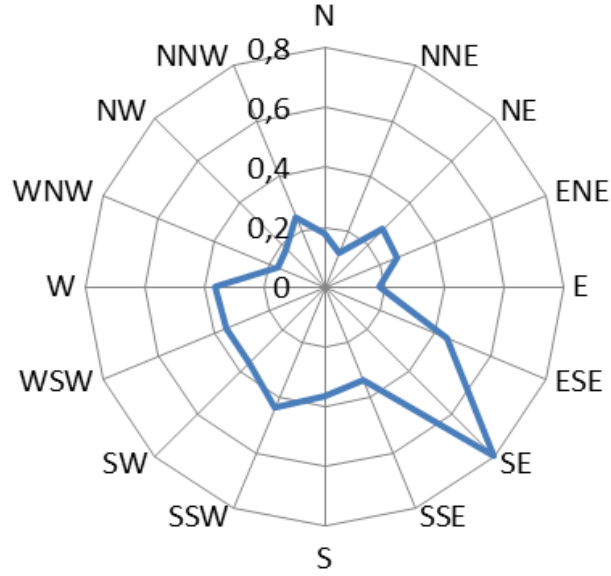
Şekil 4. 26. Elementlerin kaynak katkıları, PM_{2,5-10}

FAKTÖR – 1 – Yakma

Şekil 4.27’de yakma kaynağı için hazırlanan sonuç grafikleri verilmiştir. Bu faktör yanma kaynaklı As, Cd, Cu, Ni, K, Se, Na, V elementleriyle zenginleşmiştir. Cu, Ni, ve V’un %60’dan fazlası açıklanmıştır. Faktör katkısında özellikle soğuk aylarda belirgin bir değişim görülmektedir.



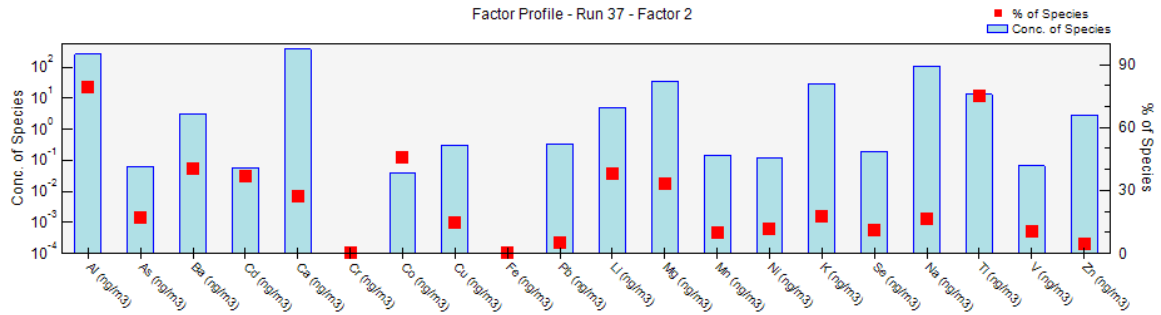
Faktör - 1

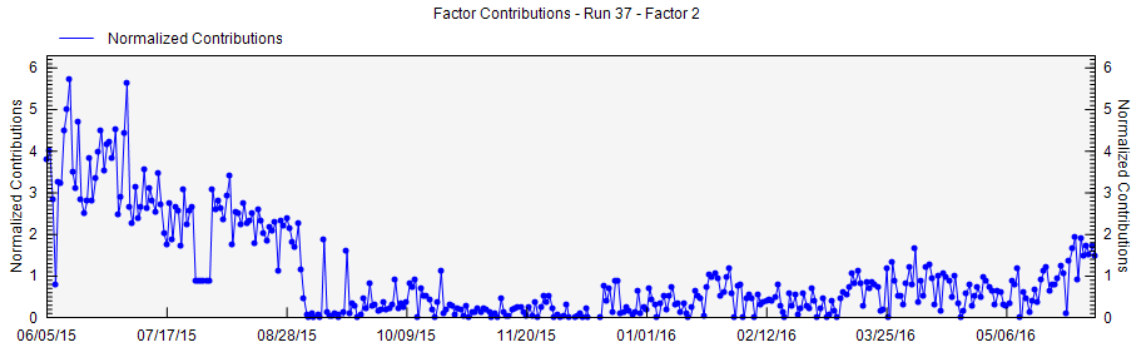


Şekil 4. 27. Faktör 1 (Yakma) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği – PM_{2,5-10}

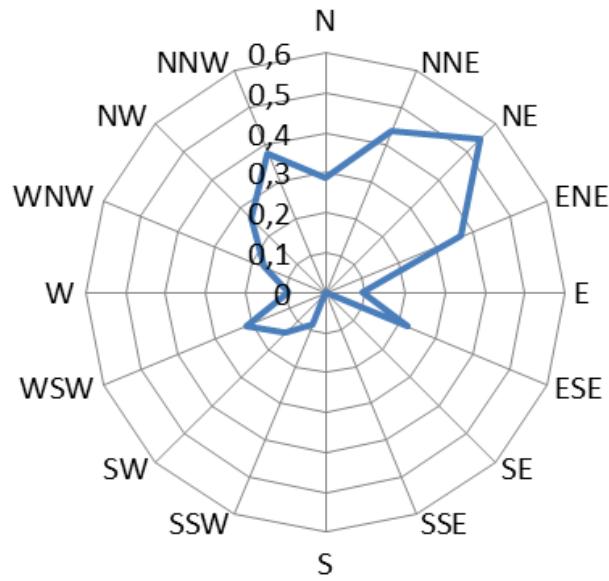
FAKTÖR – 2 – Toprak

Yaz aylarında daha belirgin konsantrasyon katkıları gözlenen 2. Faktörde Al, Ca, Co, Li, Mg, Ti gibi toprak elementleri daha baskındır (Şekil 4.28). Bu ayı kurak geçtiği için toprak elementlerinin atmosfere karışımları daha kolaydır. Bu faktörde Al ve Ti'un %70'den fazlası açıklanmıştır. Toprak katkısının çoğunlukla kuzey – kuzeydoğu yönünden geldiği görülmektedir. (Şekil 4.28)





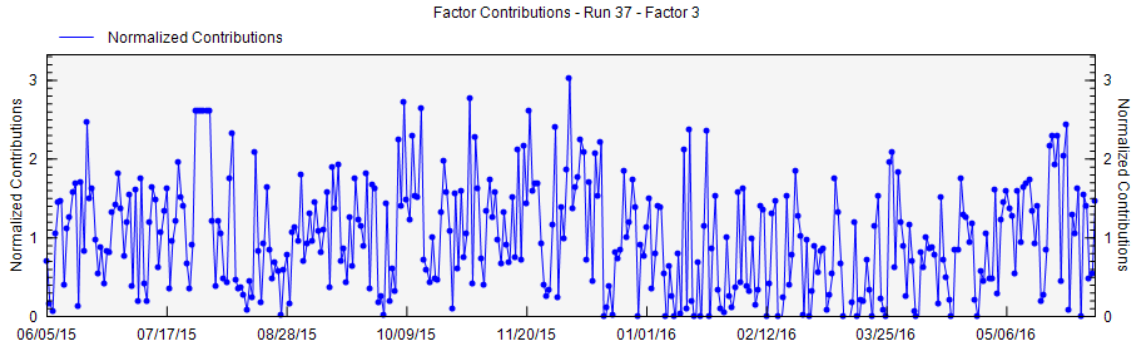
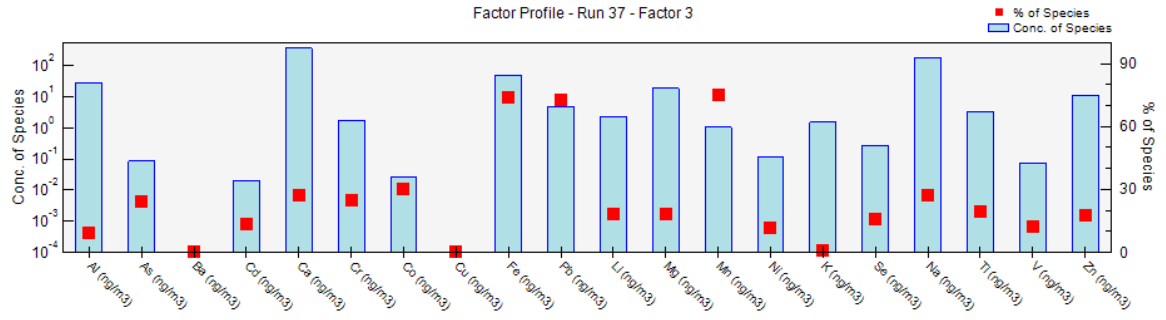
Faktör - 2



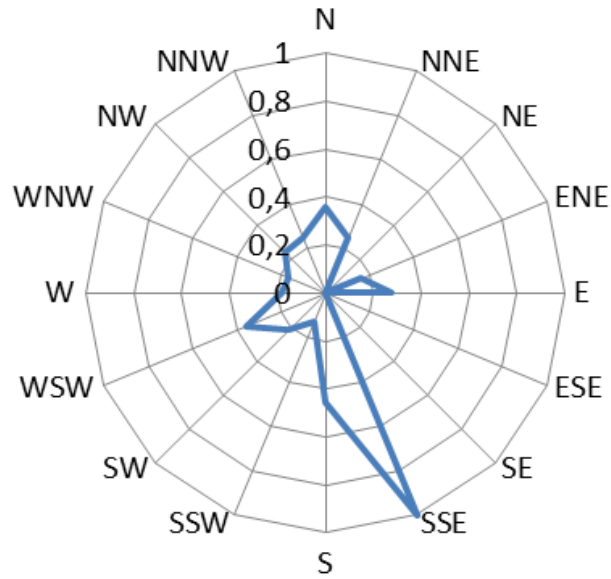
Şekil 4. 28. Faktör 2 (Toprak) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği – PM_{2,5-10}

FAKTÖR – 3 – Trafik/yol

Araçlar, aracın türü, egzozu, yakıt ve yağ sistemleri, fren balataları, debriyaj ve lastiklerin aşınması gibi faktörlere bağlı olarak bir çok emisyon yayar. Bunlar yolun aşınması ve mineral toz parçacıkları ile birleşerek atmosferde depolanır. Trafik kaynağı profilleri elemental karbon, Fe, Ba, Zn, Cu ve Pb içerir (Viana ve ark., 2008). Cu, Zn, Mn, Sb, Sn, Mo, Ba ve Fe, fren aşınması belirteçleri olup yollardan yeniden süspansiyon PM göstergeleri olarak kullanılabilir (Amato ve ark., 2010a; Schauer ve ark., 2006). 3. Faktörde ise Fe, Pb, Mn'nin %70'den fazlasını açıklamaktadır. Faktör katkısında belirgin bir mevsimsel değişim görülmemektedir (Şekil 4.29).



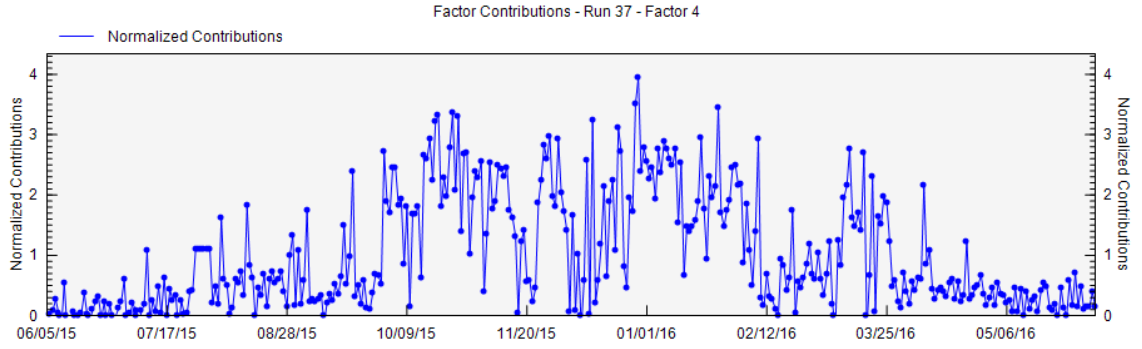
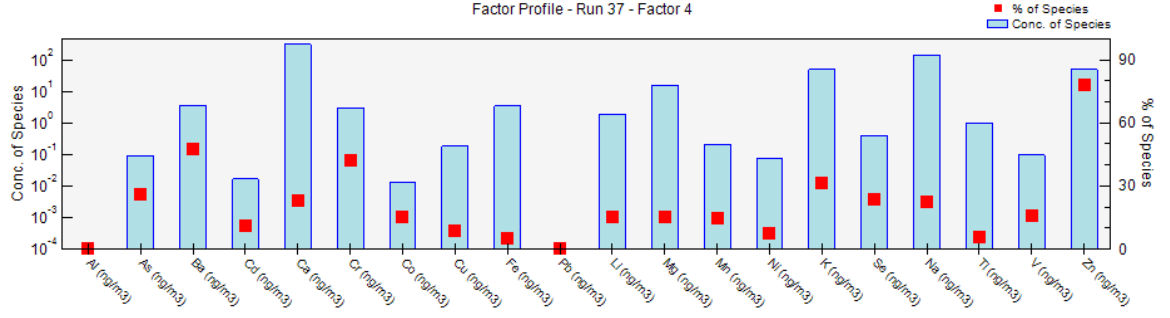
Faktör - 3



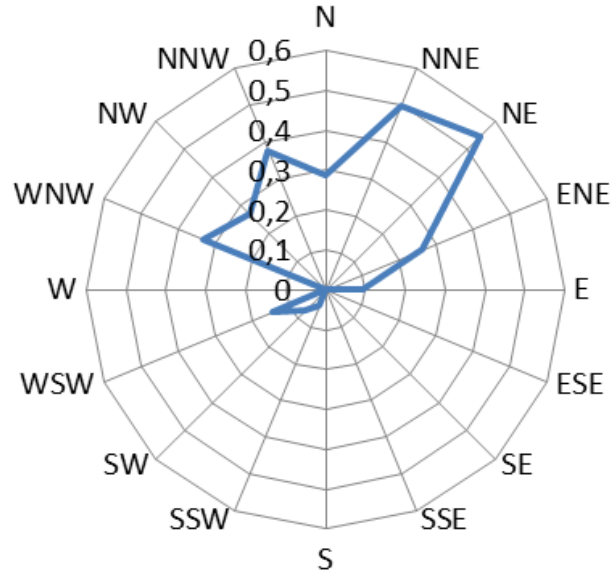
Şekil 4. 29. Faktör 3 (Trafik/yol) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği – PM_{2,5-10}

FAKTÖR – 4 – Endüstri

Dördüncü faktör sonuç grafikleri Şekil 4.30'da verilmiştir. Bu faktör Ba, Cr, Zn elementlerini içermektedir ve çoğunlukla kış aylarında konsantrasyonun daha yüksek olduğu görülmektedir. Kentin kuzeydoğu yönünde değerler daha yüksek çıkmaktadır bu durum o bölgedeki sanayi faaliyetleriyle ilişkilendirilmiş ve dördüncü faktör endüstri olarak tanımlanmıştır.



Faktör - 4



Şekil 4. 30. Faktör 4 (Endüstri) profili ve zamansal değişimi, CPF grafiği – PM_{2,5-10}

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çorlu kent merkezinde bir yıl boyunca (Mayıs 2015 – Haziran 2016) Dichotomous PM örnekleme cihazıyla PM_{2,5} ve PM_{2,5-10} örnekleri toplanmıştır. Toplanan örneklerin kütle konsantrasyonları için filtre örnekleri tartılmıştır. Ayrıca örneklerin ağır metal içerikleri ICP – MS ile analiz edilmiştir. Partikül madde örneklerinin her iki fraksiyonu için kaynak belirleme çalışmaları belirlenen elementler temelinde PMF (5.0) modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kentsel istasyon olan Çorlu’da PM_{2,5} konsantrasyonu ortalaması $23,35 \pm 13,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Bu değer Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’nun belirlediği yıllık $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ limit değerinin üzerindedir. PM₁₀ konsantrasyonu ortalaması ise $37,05 \pm 26,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’tür. Bu değer ise Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği’nde belirlenen yıllık sınır değer olan $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’ten küçüktür. İnce fraksiyonlu partiküllerin Ağustos ayında ortalama konsantrasyonları daha yüksek iken kaba partiküllerin soğuk aylarda daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu görülmektedir. Çorlu ilçesi kent atmosferinde ölçülen PM_{2,5}/PM₁₀ oranı 0,65’tir. Bu durum bölgede antropojenik kirletici kaynaklarının PM kirliliğine katkılarının daha fazla olduğunu göstermektedir. PM konsantrasyonlarının ilçede özellikle rüzgar hızının yüksek olduğu günlerde daha düşük olduğu dikkat çekmiştir.

Kaba ve ince fraksiyonlu PM örnekleri element konsantrasyonları karşılaştırılmıştır. Buna göre; Al, As, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Ni, K, Se, Na, Ti ve V elementlerinin ortalama konsantrasyonları PM_{2,5} fraksiyonunda daha yüksek iken Ca, Li ve Zn elementlerinin ortalama konsantrasyonları PM_{2,5-10} fraksiyonunda daha yüksektir. hem PM_{2,5} fraksiyonunda hem de PM_{2,5-10} fraksiyonunda toprak kaynaklı elementler olan Al, Fe, Ti, Ca gibi elementlerin Yaz Döneminde; As, K, V gibi antropojenik kaynaklı elementlerin Kış Döneminde daha yüksek ortalama konsantrasyona sahip olduğu görülmektedir.

Element konsantrasyonları ile yerel meteorolojik faktörler arasındaki ilişki incelenmiştir. Buna göre; sıcaklığın arttığı günlerde Al, Cd, Ca, Mg (PM_{2,5} fraksiyonu), Co (PM_{2,5-10} fraksiyonu) elementleri artarken, azaldığı günlerde Cr (PM_{2,5-10} fraksiyonu), Cu, Se (PM_{2,5-10} fraksiyonu), Zn (PM_{2,5-10} fraksiyonu), K, V elementlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Elementlerin hafta içi ve hafta sonu değişimlerine bakıldığında haftaiçi element konsantrasyonlarının haftasonu element konsantrasyonlarına oranla daha yüksek olduğu

görülmüştür. İlçenin sanayi bölgeleriyle çevrili olması ve kalabalık bir nüfusa sahip olması, hafta içi trafik ve sanayi faaliyetlerinin daha yoğun olması sebebiyle beklenen bir durumdur.

Elementlerin zenginleşme faktörlerinin hesaplanmasında Al (karasal zenginleşme faktörü) ve Na (denizsel zenginleşme faktörü) referans elementleri kullanılmıştır. Zenginleşme faktörü değeri 10'un altında olan elementlerin toprak yada deniz kaynaklı 10'un üzerinde olan elementlerin ise antropojenik kaynaklı olduğu anlaşılmıştır.

Pozitif Matris Faktörizasyon (PMF) modeli kullanılarak partikül madde ($PM_{2,5}$ – $PM_{2,5-10}$) kaynakları belirlenmiştir. Kent merkezinde her iki fraksiyon içinde 4 faktör belirlenmiştir. $PM_{2,5}$ fraksiyonundaki kaynak katkıları kütlece yüzdeleri şöyledir; %45 Toprak, %20 Biyokütle ve Kömür Yanması, %18 Sanayi ve Metalurji, %17 Yol Tozu'dur. $PM_{2,5} - 10$ fraksiyonundaki kütle katkıları ise; %30 Toprak, %25 Yakma, %24 Trafik – Yol, %21 Endüstri'dir. En yüksek katkıyı her iki fraksiyondada Toprak kaynağı yapmıştır.

Çorlu kent atmosferinde, PM konsantrasyonlarının kentsel ısınma, trafik, ve endüstriyel faaliyetlerden etkilendiği bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Bölgenin konumu, sanayi faaliyetlerinin yoğun olması atmosferik PM ağır metal içeriklerinde önemli değişimler göstermiştir. Meteorolojik faaliyetlerinde etkisiyle bazı dönemlerde reseptör modellemesiyle tam olarak açıklanamayan episodlar yaşanmıştır.

Bu sonuçlar ışığında, Çorlu İlçesinin hızla artan nüfusu ve gelişen sanayisinin, kent atmosferini, PM seviyelerini ve ağır metal konsantrasyonlarını arttırdığı söylenebilir. Kent yerleşiminin ve sanayi tesislerinin planlanmasının, yerleşim yerlerine daha uzak bölgelerin sanayi faaliyetleri için seçilmesinin kirliliği azaltmakta önemli olacağı kanısına varılmıştır. Kent içi trafiğin evre yollarla azaltılması trafik yükünün dağıtılması ve yaşlı araçların trafikten men edilmesi, toplu taşımanın özendirilmesi önerilmektedir. Isınma amaçlı kullanılan kömürün kalitesinin artırılması, doğal gaz kullanımının yaygınlaştırılması da hava kirliliğini azaltacak etkiyi gösterecektir.

6. KAYNAKLAR

- Abu-Allaban, M., Lowenthal, D. H., Gertler, A. W., & Labib, M. (2007). Sources of PM 10 and PM 2.5 in Cairo's ambient air. *Environmental Monitoring and Assessment*, 133(1), 417-425.
- Taiwo, A. M., Beddows, D. C., Shi, Z., & Harrison, R. M. (2014). Mass and number size distributions of particulate matter components: Comparison of an industrial site and an urban background site. *Science of the Total Environment*, 475, 29-38.
- AEA, 2010. UK Emissions of Air Pollutants 1970 to 2008. UK Emissions Inventory Team, Department for Environment, Food and Rural Affairs. http://ukair.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat07/1009030925_2008_Report_final270805.pdf.
- AEA, U. (2011). UK Emissions of Air Pollutants 1970 to 2009. UK Emissions Inventory Team, Department for Environment, Food and Rural Affairs. http://uk-air.defra.gov.uk/reports/cat07/1401131501_NAEI_Annual_Report_2009.pdf.
- Akif ARI, Eftade O. GAGA. (2013). Eskişehir Atmosferinde Toplanan Pm2.5 Örneklerinin Organik Karbon (OC) Ve Elementel Karbon (EC) Derişimlerinin Belirlenmesi, Uluslararası Katılımlı V.Hava Kirliliği Ve Kontrolü Sempozyumu, 209 – 217.
- Aldabe, J., Elustondo, D., Santamaría, C., Lasheras, E., Pandolfi, M., Alastuey, A., Querol, X. and Santamaría, J. M. (2011). Chemical characterisation and source apportionment of PM2.5 and PM10 at rural, urban and traffic sites in Navarra (North of Spain). *Atmospheric Research*, 102 (1-2), 191-205.
- Alleman, L. Y., Lamaison, L., Perdrix, E., Robache, A., & Galloo, J. C. (2010). PM 10 metal concentrations and source identification using positive matrix factorization and wind sectoring in a French industrial zone. *Atmospheric Research*, 96(4), 612-625.
- Almeida, S. M., Pio, C. A., Freitas, M. C., Reis, M. A., & Trancoso, M. A. (2005). Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the Western European Coast. *Atmospheric Environment*, 39(17), 3127-3138.
- Amato, F., Alastuey, A., Karanasiou, A., Lucarelli, F., Nava, S., Calzolari, G., Severi, M., Becagli, S., Gianelle, V.L., Colombi, C., Alves, C., Custodio, D., Nunes, T., Cerqueira, M., Pio, C., Eleftheriadis, K., Diapouli, E., Reche, C., Minguillón, M.C., Manousakas, M.I., Maggos, T., Vratolis, S., Harrison, R.M., Querol, X. (2016). AIRUSE-LIFE: a harmonized PM speciation and source apportionment in five southern European cities. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 3289-3309.
- Amato, F., Nava, S., Lucarelli, F., Querol, X., Alastuey, A., Baldasano, J. M., & Pandolfi, M. (2010). A comprehensive assessment of PM emissions from paved roads: real-world emission factors and intense street cleaning trials. *Science of the Total Environment*, 408(20), 4309-4318.
- Ambient Particulate Matter Characterization Guidelines, Canadian Chemical Producers' Association, April, (2001).

- Anonim (2014). Sector share for emissions of primary PM_{2.5} and PM₁₀ particulate matter http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/sector-split-of-emissions-of-4#tab chart_1. Erişim tarihi: 05.07.2015
- Anonim (2017a). <http://www.eren-enerji.com.tr/tr/kurumsal/modern-enerji>. Ulaşım tarihi: 30.05.2017
- Anonim (2017b). http://www.nufusu.com/ilce/corlu_tekirdag-nufusu: 22.05.2017
- Azad, A. K., & Kitada, T. (1998). Characteristics of the air pollution in the city of Dhaka, Bangladesh in winter. *Atmospheric Environment*, 32(11), 1991-2005.
- Begum, B. A., Kim, E., Biswas, S. K., & Hopke, P. K. (2004). Investigation of sources of atmospheric aerosol at urban and semi-urban areas in Bangladesh. *Atmospheric Environment*, 38(19), 3025-3038.
- Belis, C. A., Karagulian, F., Larsen, B. R., & Hopke, P. K. (2013). Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environment*, 69, 94-108.
- Biswas, S. K., Tarafdar, S. A., Islam, A., & Khaliquzzaman, M. (2001). Investigation of sources of atmospheric particulate matter (APM) at an urban area in Bangladesh. Bangladesh Atomic Energy Commision, Bangladesh Atomic Energy Commision, Dhaka, Bangladesh.
- Bond, T. C., Streets, D. G., Yarber, K. F., Nelson, S. M., Woo, J. H., & Klimont, Z. (2004). A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D14).
- Burnet, P. G., Edmisten, N. G., Tiegs, P. E., Houck, J. E., & Yoder, R. A. (1986). Particulate, carbon monoxide, and acid emission factors for residential wood burning stoves. *Journal of the air pollution control association*, 36(9), 1012-1018.
- Cadle, S. H., Mulawa, P. A., Ball, J., Donase, C., Weibel, A., Sagebiel, J. C., ... & Snow, R. (1997). Particulate emission rates from in-use high-emitting vehicles recruited in Orange County, California. *Environmental science & technology*, 31(12), 3405-3412.
- Calvert, J. G., & Stockwell, W. R. (1983). Acid generation in the troposphere by gas-phase chemistry. *Environmental science & technology*, 17(9), 428A-443A.
- Coakley, J. A., Hansen, J. E., & Hofmann, D. J. (1992). Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*, 255(5043), 423-430.
- Chow, J. C., Watson, J. G., Lowenthal, D. H., Solomon, P. A., Magliano, K. L., Ziman, S. D., & Richards, L. W. (1992). PM₁₀ source apportionment in California's San Joaquin Valley. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 26(18), 3335-3354.
- Chow, J. C. (1995). Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 45(5), 320-382.

- Chow, J. C., Watson, J. G., Lu, Z., Lowenthal, D. H., Frazier, C. A., Solomon, P. A., ... & Magliano, K. (1996). Descriptive analysis of PM_{2.5} and PM₁₀ at regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEX. *Atmospheric Environment*, 30(12), 2079-2112.
- Perrino, C., Tiwari, S., Catrambone, M., Dalla Torre, S., Rantica, E., & Canepari, S. (2011). Chemical characterization of atmospheric PM in Delhi, India, during different periods of the year including Diwali festival. *Atmospheric Pollution Research*, 2(4), 418-427.
- von Bismarck-Osten, C., Birmili, W., Ketzel, M., & Weber, S. (2015). Statistical modelling of aerosol particle number size distributions in urban and rural environments—A multi-site study. *Urban Climate*, 11, 51-66.
- Connell, D. P., Winter, S. E., Conrad, V. B., Kim, M., & Crist, K. C. (2006). The Steubenville Comprehensive Air Monitoring Program (SCAMP): Concentrations and solubilities of PM_{2.5} trace elements and their implications for source apportionment and health research. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(12), 1750-1766.
- Pui, D. Y., Chen, S. C., & Zuo, Z. (2014). PM 2.5 in China: Measurements, sources, visibility and health effects, and mitigation. *Particuology*, 13, 1-26.
- EEA. (2012). European Union Emission Inventory Report 1990-2010 Under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). EEA Technical report No 8/2012.
- EEA. (2012). Particulate matter from natural sources and related reporting under the EU Air Quality Directive in 2008 and 2009, EEA Technical report.
- EEA. (2014). Air quality in Europe — 2014 report
- EPA. (1988). “Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air”, EPA/600/4-89/017, U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. (2014). Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and User Guide
- ERS. (2010). Hava Kalitesi Ve Sağlık
- European Commission. (2001). Ambient Air Pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Fan, X. B., Okada, K., Niimura, N., Kai, K., Arao, K., Shi, G. Y., ... & Mitsuta, Y. (1996). Mineral particles collected in China and Japan during the same Asian dust-storm event. *Atmospheric Environment*, 30(2), 347-351.
- Fausser, P. (2011). Emissions of mercury, PAHs, dioxins and PCBs related to NFR 3. Nordic Council of Ministers.

- Ferrara, R., Mazzolai, B., Lanzillotta, E., Nucaro, E., & Pirrone, N. (2000). Volcanoes as emission sources of atmospheric mercury in the Mediterranean basin. *Science of the Total Environment*, 259(1), 115-121.
- Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts, J. N. (2000). Preface. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*.
- Gehrig, R. and Buchmann, B. (2003). Characterising seasonal variations and spatial distribution of ambient PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations based on long-term Swiss monitoring data. *Atmospheric Environment* 37, 2571–2580.
- Gray, H. A., Cass, G. R., Huntzicker, J. J., Heyerdahl, E. K., & Rau, J. A. (1986). Characteristics of atmospheric organic and elemental carbon particle concentrations in Los Angeles. *Environmental Science & Technology*, 20(6), 580-589.
- Fang, G. C., Wu, Y. S., Chou, T. Y., & Lee, C. Z. (2008). Organic carbon and elemental carbon in Asia: a review from 1996 to 2006. *Journal of hazardous materials*, 150(2), 231-237.
- Güllü, G., Ulutaş, F., Belli, D., Erduran, S., Keskin, S., Tuncel, G. (1998). Black Sea Aerosol A Long Range Atmospheric Transport. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 22(4), 289-304.
- Gündüz, T. (1994). *Çevre Kimyası, Kimya Bölümü, Bilge Yayıncılık, Ankara*
- Harrison, R. M., & Yin, J. (2000). Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health?. *Science of the total environment*, 249(1), 85-101.
- Hildemann, L. M., Markowski, G. R., Jones, M. C., & Cass, G. R. (1991). Submicrometer aerosol mass distributions of emissions from boilers, fireplaces, automobiles, diesel trucks, and meat-cooking operations. *Aerosol Science and Technology*, 14(1), 138-152.
- Hopke P., K., (2003). Recent developments in receptor modeling, *Journal of Chemometrics*, 17 (5), pp. 255–265
- Huang, X., Olmez, I., Aras, N. K., & Gordon, G. E. (1994). Emissions of trace elements from motor vehicles: potential marker elements and source composition profile. *Atmospheric environment*, 28(8), 1385-1391.
- Huang, W., Long, E., Wang, J., Huang, R., & Ma, L. (2015). Characterizing spatial distribution and temporal variation of PM₁₀ and PM_{2.5} mass concentrations in an urban area of Southwest China. *Atmospheric Pollution Research*, 6(5), 842-848.
- Chow, J. C., & Watson, J. G. (1998). Guideline on speciated particulate monitoring. Report prepared for US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, by Desert Research Institute, Reno, NV.
- Kara, M., Altıok, H., Hepyücel, A., Dumanoglu, Y., Bayram, A., Elbir, T., Odabaşı, M. (2010). Aliğa Endüstri Bölgesinde PM₁₀ ve Çöken Tozların Mekansal ve

Mevsimsel Değişimi, IV.Ulusal Hava Kirliliği Ve Kontrolü Sempozyumu 2010, 25-27 Ekim 2010, Ankara, 333-344.

- Karaca, F. (2005). Büyükçekmece bölgesine taşınan aerosollerdeki metal konstrasyonlarının incelenmesi ve modellenmesi (Doctoral dissertation, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kartal, S., Elçi, L., & Dogan, M. (1992). Investigation of lead, nickel, cadmium and zinc pollution of traffic in Kayseri. *Fresenius Environmental Bulletin*, 1(1), 28-33.
- Katsouyanni K., Gryparis A., Samoli E. (2011). Short-Term Effects of Air Pollution on Health, *Encyclopedia of Environmental Health*, 51-60.
- Khillare, P. S., Balachandran, S., & Meena, B. R. (2004). Spatial and temporal variation of heavy metals in atmospheric aerosol of Delhi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 90(1), 1-21.
- Kılıç İ., Şimşek E. (2009). Hayvan Barınaklarından Kaynaklanan Gaz Emisyonları Ve Çevresel Etkileri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 14, Sayı 2..
- Kim, E., Hopke, P. K., & Edgerton, E. S. (2003). Source identification of Atlanta aerosol by positive matrix factorization. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53(6), 731-739.
- Kim, M. K., & Jo, W. K. (2006). Elemental composition and source characterization of airborne PM₁₀ at residences with relative proximities to metal-industrial complex. *International archives of occupational and environmental health*, 80(1), 40-50.
- Kirchstetter, T.W., Harley, R.A., Kreisberg, N.M., Stolzenburg. M.R., Hering. S.V., 1999. On-road measurements of fine particles and nitrogen oxide emissions from light- and heavy-duty motor vehicles. *Atmospheric Environment* 33, 2955–2968.
- Kleeman, M.J., Schauer, J.J., Cass, G.R., “Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from wood burning, meat charbroiling, and cigarettes”, *Environmental Science and Technology*, 33, (1999) 3516
- Kothai, P., Saradhi, I. V., Pandit, G. G., Markwitz, A., & Puranik, V. D. (2011). Chemical characterization and source identification of particulate matter at an urban site of Navi Mumbai, India. *Aerosol and Air Quality Research*, 11(5), 560-569.
- Kulshrestha, A., Satsangi, P. G., Masih, J., & Taneja, A. (2009). Metal concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ particles and seasonal variations in urban and rural environment of Agra, India. *Science of the Total Environment*, 407(24), 6196-6204.
- Kunzli, N., Kaiser, R., Medina, S., & Studnicka, M. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, 356(9232), 795.
- Ledoux, F., Kfoury, A., Delmaire, G., Roussel, G., El Zein, A., & Courcot, D. (2017). Contributions of local and regional anthropogenic sources of metals in PM_{2.5} at an urban site in northern France. *Chemosphere*, 181, 713-724.

- Lee, D. S., Garland, J. A., & Fox, A. A. (1994). Atmospheric concentrations of trace elements in urban areas of the United Kingdom. *Atmospheric Environment*, 28(16), 2691-2713.
- Lee, S., Liu, W., Wang, Y., Russell, A. G., & Edgerton, E. S. (2008). Source apportionment of PM 2.5: comparing PMF and CMB results for four ambient monitoring sites in the southeastern United States. *Atmospheric Environment*, 42(18), 4126-4137.
- Lee, Y. C., & Hills, P. R. (2003). Cool season pollution episodes in Hong Kong, 1996–2002. *Atmospheric Environment*, 37(21), 2927-2939.
- Li, C. K., & Kamens, R. M. (1993). The use of polycyclic aromatic hydrocarbons as source signatures in receptor modeling. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27(4), 523-532.
- Li, Y., Chang, M., Ding, S., Wang, S., Ni, D., & Hu, H. (2017). Monitoring and source apportionment of trace elements in PM 2.5: Implications for local air quality management. *Journal of Environmental Management*, 196, 16-25.
- Maricq, M. M., Chase, R. E., Xu, N., & Laing, P. M. (2002). The effects of the catalytic converter and fuel sulfur level on motor vehicle particulate matter emissions: light duty diesel vehicles. *Environmental science & technology*, 36(2), 283-289.
- Millstein, D. E., Harley, R. A., & Hering, S. V. (2008). Weekly cycles in fine particulate nitrate. *Atmospheric Environment*, 42(4), 632-641.
- Mohammed, G., Karani, G., & Mitchell, D. (2017). Trace Elemental Composition in PM₁₀ and PM_{2.5} Collected in Cardiff, Wales. *Energy Procedia*, 111, 540-547.
- Mueller, S. F., Bailey, E. M., Cook, T. M., & Mao, Q. (2006). Treatment of clouds and the associated response of atmospheric sulfur in the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system. *Atmospheric Environment*, 40(35), 6804-6820.
- Mumford, J. L., Harris, D. B., Williams, K., Chuang, J. C., & Cooke, M. (1987). Indoor air sampling and mutagenicity studies of emissions from unvented coal combustion. *Environmental science & technology*, 21(3), 308-311.
- Müezzinoğlu, A. (2005) Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Yayınları, İzmir.
- NATO. (1973). Air pollution, control techniques for particulate air pollutants, Committee on the Challenges of Modern Society (CCMS), 13, NATO 1110, Brussels, p. 200.
- Pacyna, J. M. (1998). Source inventories for atmospheric trace metals. *Atmospheric particles, IUPAC series on analytical and physical chemistry of environmental systems*, 5, 385-423.
- Pérez, N., Pey, J., Reche, C., Cortés, J., Alastuey, A., & Querol, X. (2016). Impact of harbour emissions on ambient PM₁₀ and PM_{2.5} in Barcelona (Spain): Evidences of secondary aerosol formation within the urban area. *Science of The Total Environment*, 571, 237-250.

- Polat G. (2011). İstanbul Atmosferindeki Farklı Boyutlardaki Partikül Maddenin Metal İçeriğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Police, S., Sahu, S. K., & Pandit, G. G. (2016). Chemical characterization of atmospheric particulate matter and their source apportionment at an emerging industrial coastal city, Visakhapatnam, India. *Atmospheric Pollution Research*, 7(4), 725-733.
- Putaud, J.P., Raes, F., Dingenen, R.V., Brüggemann, E., Facchini, M.C., Decesari, S., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hüglin, C., Laj, P., Lorbeer, G., Maenhaut, W., Mihalopoulos, N., Müller, K., Querol, X., Rodriguez, S., Schneider, J., Spindler, G., Brink, H., Torseth, K., Wiedensohler, A. (2004). A European aerosol phenomenology—2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmospheric Environment*, 38, 2579–2595.
- Querol, X., Pey, J., Pandolfi, M., Alastuey, A., Cusack, M., Moreno, T., Viana, M., Mihalopoulos, N., Kallos, G. and Kleanthous, S. (2009). 'African dust contributions to mean ambient PM10 levels across the Mediterranean Basin', *Atmospheric Environment*, 43, 4 266–4 277.
- Querol, X., Zhuang, X., Alastuey, A., Viana, M., Lv, W., Wang, Y., Lopez, A., Zhu, Z., Wei, H., Xu, S. (2006). Speciation and sources of atmospheric aerosols in a highly industrialized merging mega-city in Central China. *J. Environ. Monit.* 8, 1049e1059.
- Schauer, J.J., Lough, G.C., Shafer, M.M., Christensen, W.F., Arndt, M.F., DeMinter, J.T., Park, J.-S. (2006). Characterization of Metals Emitted from Motor Vehicles. Health Effect Institute.
- Schroeder, W. H., Dobson, M., Kane, D. M., & Johnson, N. D. (1987). Toxic trace elements associated with airborne particulate matter: a review. *Japca*, 37(11), 1267-1285.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. Wiley/ Interscience, New York.
- Shahid, I., Kistler, M., Mukhtar, A., Ghauri, B. M., Ramirez-Santa Cruz, C., Bauer, H., & Puxbaum, H. (2016). Chemical characterization and mass closure of PM10 and PM2. 5 at an urban site in Karachi–Pakistan. *Atmospheric Environment*, 128, 114-123.
- Sternbeck, J., Sjödin, Å., & Andréasson, K. (2002). Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension—results from two tunnel studies. *Atmospheric Environment*, 36(30), 4735-4744.
- Streets, D. G., Gupta, S., Waldhoff, S. T., Wang, M. Q., Bond, T. C., & Yiyun, B. (2001). Black carbon emissions in China. *Atmospheric environment*, 35(25), 4281-4296.
- Süren, P. (2007). Zonguldak kent merkezi atmosferik partikül madde kirliliğinin; PM2, 5 ve PM10 boyut dağılımı, kaynak ve metalik kompozisyon temelinde incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.

- Tecer L.H., Tuncel G., Doğan G. (2013). Balıkesir Kent Ve Kırsal Atmosferinde İnce Ve Kaba Partikül Maddelerin Metalik Kompozisyonunun Ve PMF Yöntemiyle Kaynak Katkılarının Belirlenmesi.
- Tecer L.H. (2009). A factor analysis study: Air pollution, meteorology, and hospital admissions for respiratory diseases, *Toxicological & Environmental Chemistry*, 91: 7, 1399 — 1411
- Tecer, L. H., Tuncel, G., Karaca, F., Alagha, O., Süren, P., Zararsız, A., & Kırmaz, R. (2012). Metallic composition and source apportionment of fine and coarse particles using positive matrix factorization in the southern Black Sea atmosphere. *Atmospheric Research*, 118, 153-169.
- Tosun, E. (2007). Tekirdağ ili Çorlu ilçesi açık ve yeşil alanların saptanması üzerine bir araştırma.
- Urbanski, S. P., Hao, W. M., & Baker, S. (2008). Chemical composition of wildland fire emissions. *Developments in Environmental Science*, 8, 79-107.
- Uzun, S. (2011). Toplam Askıda Partikül Madde Hava Örneklerinin Kimyasal bileşiminin İncelenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilimdalı, Doktora Tezi.
- Viana, M., Kuhlbusch, T. A. J., Querol, X., Alastuey, A., Harrison, R. M., Hopke, P. K., ... & Hueglin, C. (2008). Source apportionment of particulate matter in Europe: a review of methods and results. *Journal of aerosol science*, 39(10), 827-849.
- Vickery JS. (2004). Conceptual models of PM for North American regions. In: McMurphy PH, Shepherd M, Vickery JS, eds. *Particulate matter science for policy makers*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Von Glasow, R., Bobrowski, N. and Kern, C. (2009). 'The effects of volcanic eruptions on atmospheric chemistry', *Chemical Geology*, 263, 131–142.
- Watson, J. G., & Chow, J. C. (2001). Source characterization of major emission sources in the Imperial and Mexicali Valleys along the US/Mexico border. *Science of the Total Environment*, 276(1), 33-47.
- WHO (2004). Health aspects of air pollution: Results from the WHO project “Systematic review of health aspects of air pollution in Europe”. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe (<http://www.euro.who.int/document/E83080.pdf>).
- WHO (2006). Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe (<http://www.euro.who.int/document/E88189.pdf>).
- WHO (2007). Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/78649/E91044.pdf).

- WHO (2009). Global health risks: Mortality and burden of diseases attributable to selected major risks. Geneva, World Health Organization (http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf).
- WHO, (2004). Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. World Health Organization, Bonn, p.98
- WHO, (2006). Health risks of particulate matter from long-range Transboundary air pollution European Centre for Environment and Health
- WHO, (2005). Particulate Matter Air Pollution: How It Harms Health, Berlin, Copenhagen, Rome, 14 April 2005 (Fact Sheet EURO/04/05)
- Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines (WGAQOG) (1998), National Ambient Air Quality Objectives for Particulate Matter: Science Assessment Document, Canadian Environmental Protection Act (CEPA)/Federal-Provincial Advisory Committee (FPAC) Working Group on Air Quality Objectives and Guidance, (1999).
- Wrobel, A., Rokita, E., & Maenhaut, W. (2000). Transport of traffic-related aerosols in urban areas. *Science of the Total Environment*, 257(2), 199-211.
- Xue, Y. H., Wu, J. H., Feng, Y. C., Dai, L., Bi, X. H., Li, X., ... & Chen, M. F. (2010). Source characterization and apportionment of PM₁₀ in Panzhuhua, China. *Aerosol Air Qual. Res.*, 10(4), 367-377.
- Yao, Q., Li, S. Q., Xu, H. W., Zhuo, J. K., & Song, Q. (2010). Reprint of: studies on formation and control of combustion particulate matter in China: a review. *Energy*, 35(11), 4480-4493.
- Yatkin, S. and Bayram, A. (2007). Elemental composition and sources of particulate matter in the ambient air of a Metropolitan City. *Atmospheric Research*, 85 (1), 126-139.
- Yazıcı, H. (2004). “Termik Santral Atığı Yapay Alçı-Uçucu Kül-Taban Külü Esaslı Yapı Malzemesi Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yeşilyurt, C., & Akcan, N. (2001). Hava kalitesi izleme metodolojileri ve örneklem kriterleri. TC Sağlık Bakanlığı, Ankara.
- Yi, S. M. (1995). Development and evaluation of a water surface to measure dry deposition.
- Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., & Posmentier, E. S. (2006). Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the total environment*, 355(1), 176-186.

ÖZGEÇMİŞ

Merve FİÇİCİ 1991 yılında İstanbul’da doğdu. İlköğretimini Abdulkadir Uztürk İlköğretim Okulunda (2005), liseyi 50. Yıl İnsa Lisesi’nde (2009), lisans öğrenimini Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi’nde (2013) bitirdi.

