

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İZMİT ATMOSFERİNDE PARTİKÜLDEKİ POLİAROMATİK
HİDROKARBONLARIN VE ESER ELEMENTLERİN
SEVİYELERİNİN, MEKÂNSAL DAĞILIMLARININ VE
KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ**

SÜHEYLA ÖZTÜRK

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İZMİT ATMOSFERİNDE PARTİKÜLDEKİ POLİAROMATİK
HİDROKARBONLARIN VE ESER ELEMENTLERİN
SEVİYELERİNİN, MEKÂNSAL DAĞILIMLARININ VE
KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ

SÜHEYLA ÖZTÜRK

Doç. Dr. Mihriban CİVAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Hakan PEKEY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üy. Güray DOĞAN
Jüri Üyesi, Akdeniz Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam sürecinde danışmanlığımı üstlenen, tez konu seçimimde yardımcı olan, projede yer almamı sağlayan, değerli fikirleri, bilgi ve tecrübesi ile çalışmamın her aşamasında yol gösterici ve destekleyici olan hocam Sayın Doç. Dr. Mihriban CİVAN'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez aşamalarında desteğini ve mekânsal dağılım haritalarının oluşturulmasında yardımlarını esirgemeyen eş danışmanım Doç. Dr. Deniz GERÇEK KURT'a teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarım süresince her zaman yanımda olup yardımcı olan, mekânsal dağılım haritalandırma konusunda bilgi ve tecrübeleriyle desteğini esirgemeyen, manevi desteğini her daim hissettiğim hocam Öğr. Gör. Dr. İsmail Talih GÜVEN'e teşekkürü borç bilirim.

Tez jüri üyelerim Prof. Dr. Hakan PEKEY ve Dr. Öğr. Üyesi Güray DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında bana her zaman destek olan, laboratuvar aşamalarını dayanışma içinde beraber yürüttüğümüz değerli arkadaşlarım Tuğba AYAZ'a ve Berkay Umut YEŞİLDAĞLI'ya en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca analiz aşamalarında yardımlarından dolayı laboratuvar arkadaşım Hepsen Bahar GEMİCİ'ye teşekkür ederim.

Örnekleme sürecinde kullandığımız örnekleyicilerin temininde yardımcı olan sayın hocalarım Prof. Dr. Eftade Emine GAGA'ya ve Dr. Öğr. Üyesi Seda Aslan KILAVUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, “Kocaeli ili İzmit ilçesi 238217E-421487N, 246070E-4515849N Koordinatları Arasında Yer Alan Sahada Kentsel Yaşam Kalitesi (KYK)'nın Ölçülmesi (2018-01.08.2019)” Teknoloji Transfer Ofisi (TTO)-Kocaeli Büyükşehir Belediyesi projesi ve 2018/103 proje no'lu “İzmit Atmosferinde Partiküldeki Poliaromatik Hidrokarbonların Mekansal Dağılımı, Sağlık Riski ve Kaynak Tahmini” başlıklı Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi Yüksek Lisans projesiyle desteklenmiştir. Maddi desteklerinden dolayı TTO-Kocaeli Büyükşehir Belediyesine ve Kocaeli Üniversitesi BAP Birimine teşekkür ederim.

Haziran-2021

Süheyla ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
GİRİŞ	1
1. PARTİKÜL MADDE, PAH VE ESER ELEMENTLERİN ÖZELLİKLERİ	6
1.1. Partikül Madde (PM)	6
1.1.1. PM kaynakları	6
1.1.2. PM fiziksel özellikleri	10
1.1.3. PM kimyasal bileşimi.....	15
1.1.4. PM sağlık etkileri	17
1.1.5. PM ile ilgili yasal düzenlemeler.....	22
1.2. Poliaromatik Hidrokarbonlar (PAH).....	26
1.2.1. PAH'ların oluşumu	27
1.2.2. PAH'ların kaynakları	28
1.2.3. PAH'ların fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	30
1.2.4. Gaz/Partikül dağılımı	34
1.2.5. PAH sağlık etkileri	35
1.2.6. PAH'ların atmosferik taşınımı	38
1.2.7. PAH'ların sınır değerleri.....	40
1.3. Eser Elementler	41
1.3.1. Eser elementlerin kaynakları.....	42
1.3.2. Eser elementlerin sağlık etkileri.....	46
1.3.3. Eser elementlerin yasal sınır değerleri	49
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	51
2.1. Dış Ortamda PM _{2.5} 'e Bağlı PAH Çalışmaları.....	51
2.2. Dış Ortamda PM _{2.5} 'e Bağlı Eser Element Çalışmaları	60
3. MATERYAL METOT	70
3.1. Örneklem Alanı	70
3.2. PM _{2.5} Örneklemesi ve Konsantrasyon Hesaplanması	76
3.3. PM _{2.5} Analizleri.....	80
3.4. PAH Analizleri.....	82
3.5. Eser Element Analizi.....	88
3.6. Kaynak Belirleme.....	92
3.6.1. PAH'ların kaynak tahmini	92
3.6.2. Eser elementlerin kaynak tahmini	94
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	96
4.1. PM _{2.5} Kütle Konsantrasyonları.....	96
4.2. PM _{2.5} 'e Bağlı PAH Konsantrasyonları	105

4.2.1. Ölçülen PAH konsantrasyonlarının literatür çalışmaları ile karşılaştırması	108
4.2.2. PAH'ların mevsimsel değişimleri	115
4.2.3. PAH'ların mekânsal dağılımları.....	123
4.2.4. PAH'ların kaynak tanımlaması	131
4.3. PM _{2.5} 'e Bağlı Eser Element Konsantrasyonları	144
4.3.1. Ölçülen eser element konsantrasyonlarının literatür çalışmaları ile karşılaştırması.....	146
4.3.2. Eser elementlerin mevsimsel değişimleri.....	150
4.3.3. Eser elementlerin mekânsal dağılımları	158
4.3.4. Eser elementlerin kaynak tanımlaması.....	163
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	181
KAYNAKLAR	185
EKLER.....	206
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	228
ÖZGEÇMİŞ	229

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Partiküllerin insan saç boyutu ile karşılaştırılması	11
Şekil 1.2.	Partikül boyutuna göre özellikleri	12
Şekil 1.3.	Çeşitli partikül türleri için partikül boyut dağılımı ve morfolojisi	13
Şekil 1.4.	Hacim ve sayıya göre tipik ortam partikül dağılımları	14
Şekil 1.5.	Partikül boyutuyla ilgili fizikokimyasal süreçler	17
Şekil 1.6.	İnsan solunum yolunun ana anatomik bölgelerinin gösterimi	19
Şekil 1.7.	PAH genel yapısı.....	26
Şekil 1.8.	Etan ile başlayan PAH'ların piro sentezi.....	27
Şekil 1.9.	PAH sağlık etkileri	37
Şekil 3.1.	Örnekleme noktalarının konumları	73
Şekil 3.2.	Örnekleme filtre tartımı.....	77
Şekil 3.3.	Örneklemede kullanılan Yüksek Hacimli Hava Örnekleycisi	78
Şekil 3.4.	Örnekleme hava akış kontrol diyagramı	78
Şekil 3.5.	Son tartıma hazırlanan filtreler.....	79
Şekil 3.6.	Analizde kullanılan filtreler	80
Şekil 3.7.	Hazırlanmış olan temizleme kolonu.....	84
Şekil 3.8.	Zenginleştirme ve GC-MS analiz hazırlıkları	85
Şekil 3.9.	Analizde kullanılan Agilent 7890B GC ve 5977A MSD GC-MS cihazı	86
Şekil 3.10.	GC-MS analizinde PAH standart kromotogramları	87
Şekil 3.11.	GC-MS analizinde örnek kromotogramı.....	87
Şekil 3.12.	Anton Paar Multiwave 3000 Mikrodalga Parçalama Sistemi	89
Şekil 4.1.	PM _{2.5} kütle konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve K/Y oranları	99
Şekil 4.2.	PM _{2.5} kütle konsantrasyonlarının mekânsal değişimi	100
Şekil 4.3.	Yaz ve kış dönemi PAH'ların ortalama konsantrasyon değişimleri.....	118
Şekil 4.4.	PAH'ların Kış/Yaz konsantrasyon oranları.....	120
Şekil 4.5.	Örnekleme nokta özelliklerine göre \sum_{16} PAH konsantrasyonlarındaki mevsimsel değişim.....	121
Şekil 4.6.	Örnekleme noktalarının BaP konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve K/Y oranları.....	122
Şekil 4.7.	Çalışma dönemi \sum_{16} PAH konsantrasyonlarına göre mekânsal dağılım.....	123
Şekil 4.8.	Yaz dönemi \sum_{16} PAH konsantrasyonlarına göre mekânsal dağılım.....	126
Şekil 4.9.	Kış dönemi \sum_{16} PAH konsantrasyonlarına göre mekânsal dağılım.....	126
Şekil 4.10.	Ortalama BbF konsantrasyonu mekânsal dağılım haritası.....	127
Şekil 4.11.	Ortalama BaP konsantrasyonu mekânsal dağılım haritası	128
Şekil 4.12.	Ortalama Chy konsantrasyonu mekânsal dağılım haritası	128
Şekil 4.13.	Ortalama BgP konsantrasyonu mekânsal dağılım haritası.....	129

Şekil 4.14. Ortalama Pyr konsantrasyonu mekânsal dağılım haritası	130
Şekil 4.15. Yaz dönemi faktör 1'in mekânsal dağılımı	141
Şekil 4.16. Yaz dönemi faktör 2'nin mekânsal dağılımı	141
Şekil 4.17. Kış dönemi faktör 1'in mekânsal dağılımı	142
Şekil 4.18. Kış dönemi faktör 2'nin mekânsal dağılımı	143
Şekil 4.19. Kış dönemi faktör 3'ün mekânsal dağılımı	144
Şekil 4.20. Eser Elementlerin Yaz/Kış konsantrasyon oranları	156
Şekil 4.21. Al elementinin mekânsal dağılımı	161
Şekil 4.22. Fe elementinin mekânsal dağılımı	161
Şekil 4.23. Mn elementinin mekânsal dağılımı	162
Şekil 4.24. Cd elementinin mekânsal dağılımı	162
Şekil 4.25. Ni elementinin mekânsal dağılımı	163
Şekil 4.26. Pb elementinin mekânsal dağılımı	163
Şekil 4.27. (a) Yaz ve (b) kış dönemi zenginleşme faktörleri	165
Şekil 4.28. Yaz, kış ve ortalama konsantrasyon değerlerinin zenginleşme faktörleri	166
Şekil 4.29. Fe, Cr, Ce ve La elementlerinin örnekleme noktalarında hesaplanan ZF değerleri	170
Şekil 4.30. Yaz dönemi faktör 1'in mekânsal dağılımı	174
Şekil 4.31. Yaz dönemi faktör 2'nin mekânsal dağılımı	174
Şekil 4.32. Yaz dönemi faktör 3'ün mekânsal dağılımı	175
Şekil 4.33. Yaz dönemi faktör 4'ün mekânsal dağılımı	175
Şekil 4.34. Yaz dönemi faktör 5'in mekânsal dağılımı	176
Şekil 4.35. Kış dönemi faktör 1'in mekânsal dağılımı	177
Şekil 4.36. Kış dönemi faktör 2'nin mekânsal dağılımı	178
Şekil 4.37. Kış dönemi faktör 3'ün mekânsal dağılımı	178
Şekil 4.38. Kış dönemi faktör 4'ün mekânsal dağılımı	179
Şekil 4.39. Kış dönemi faktör 5'in mekânsal dağılımı	179
Şekil 4.40. Kış dönemi faktör 6'nın mekânsal dağılımı	180

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Atmosferik birincil parçacıklar ve temel kaynakları.....	8
Tablo 1.2. Atmosferik parçacıkların oluşum şekilleri.....	9
Tablo 1.3. Yaygın parçacıkların boyut aralıkları.....	12
Tablo 1.4. İnce ve kaba parçacıkların karşılaştırılması.....	16
Tablo 1.5. Partikül türlerinin görünürlük etkileri.....	22
Tablo 1.6. Ülkelerin ortam havasında PM _{2.5} ve PM ₁₀ konsantrasyon sınır değerleri.....	23
Tablo 1.7. Dünya Sağlık Örgütü'nün kabul ettiği PM _{2.5} ve PM ₁₀ sınır değerleri.....	24
Tablo 1.8. PM uzun ve kısa vadeli sınır değerler.....	25
Tablo 1.9. PM limit değerleri ve değerlendirme eşiği.....	25
Tablo 1.10. PAH kaynakları.....	29
Tablo 1.11. 16 öncelikli PAH bileşiğinin fizikokimyasal özellikleri.....	32
Tablo 1.12. PAH'ların kanserojen sınıflandırması.....	36
Tablo 1.13. BaP hedef değerleri ve değerlendirme eşikleri.....	40
Tablo 1.14. Eser elementlerin doğal kaynak kategorileri.....	43
Tablo 1.15. Antropojenik eser metallerin emisyon kaynakları.....	44
Tablo 1.16. PM'nin ağır metal bileşenlerinin insan sağlığı üzerindeki etkisi.....	48
Tablo 1.17. Eser element sınır değerleri.....	50
Tablo 3.1. Örnekleme noktaları ve bilgileri.....	72
Tablo 3.2. Kalibrasyon ve geri kazanım standartları.....	81
Tablo 3.3. GC-MS PAH izomerleri için kalibrasyon parametreleri.....	88
Tablo 3.4. Mikrodalga parçalama sistem programı.....	89
Tablo 3.5. ICP-MS çalışma parametreleri.....	90
Tablo 3.6. PM _{2.5} 'teki eser elementlerin tespit limitleri.....	91
Tablo 4.1. Yaz ve kış dönemi için PM _{2.5} kütle konsantrasyonları (µg/m ³) istatistik değerleri.....	97
Tablo 4.2. Türkiye ve dünyanın farklı ülkelerinde PM _{2.5} ölçüm sonuçları (µg/m ³).....	101
Tablo 4.3. Çalışma dönemi PM _{2.5} 'teki PAH ortalama konsantrasyonları (ng/m ³).....	107
Tablo 4.4. İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM _{2.5} 'e bağlı PAH konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m ³).....	110
Tablo 4.5. Yaz ve kış dönemi PM _{2.5} 'teki PAH konsantrasyonları ve Kış/Yaz oranı (ng/m ³).....	117
Tablo 4.6. PM _{2.5} 'teki PAH'ların mekânsal konsantrasyonları (ng/m ³).....	124
Tablo 4.7. PM _{2.5} 'e bağlı PAH'ların moleküler tanı oranları.....	133
Tablo 4.8. Yaz dönemi PAH'ların moleküler tanı oranları.....	136
Tablo 4.9. Kış dönemi PAH'ların moleküler tanı oranları.....	136
Tablo 4.10. PM _{2.5} 'e bağlı PAH'ların PCA ile belirlenen faktör yükleri.....	138
Tablo 4.11. Literatürde PAH'ların kaynak izleyicileri.....	139

Tablo 4.12. Çalışma dönemi PM _{2.5} 'teki eser element konsantrasyonları (ng/m ³).....	145
Tablo 4.13. 14 örnekleme noktasının yaz dönemi eser element konsantrasyonları (ng/m ³).....	151
Tablo 4.14. 14 örnekleme noktasının kış dönemi eser element konsantrasyonları (ng/m ³).....	152
Tablo 4.15. Yaz ve kış dönemleri ortalama, medyan konsantrasyonları (ng/m ³) ve yaz/kış oranı (Y/K).....	155
Tablo 4.16. 14 örnekleme noktasının PM _{2.5} 'teki eser element konsantrasyonları (ng/m ³).....	159
Tablo 4.17. Yaz dönemi eser elementlerin zenginleşme faktörleri mekânsal dağılımları	168
Tablo 4.18. Kış dönemi eser elementlerin zenginleşme faktörleri mekânsal dağılımları	169
Tablo 4.19. PM _{2.5} 'e bağlı Eser Elementlerin PCA ile belirlenen faktör yükleri	172
Tablo 4.20. Çeşitli kirlilik kaynakları için eser element izleri	173

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ace	: Asenaften
Acy	: Asenaftalen
Ant	: Antrasen
BaA	: Benz(a)antrasen
BaP	: Benzo(a)piren
BbF	: Benzo(b)fluoranten
BgP	: Benzo(g,h,i)perilen
BkF	: Benzo(k)floranten
Chy	: Krisen
DahA	: Dibenz(a,h)antrasen
Da	: Aerodinamik çap
Flt	: Floranten
Flu	: Floren
IcP	: Indeno(1,2,3-c,d)piren
K _{OA}	: Oktanol-hava bölme katsayısı
K _{OC}	: Organik karbon bölme katsayısı
K _{OW}	: Oktanol-su bölme katsayıları
Nap	: Naftalin
Phe	: Fenantren
PM	: Partikül madde
PM ₁₀	: Kaba partikül
PM _{2.5}	: İnce partikül
Pyr	: Piren
Σ	: Toplam
~	: Yaklaşık
<	: Küçük
>	: Büyük

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ATSDR	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Toksik Madde ve Hastalık Kayıt Ajansı)
DSÖ	: Dünya Sağlık Örgütü
GC-MS	: Gas Chromatography-Mass Spectrometry (Gaz Kromatografi Kütle Spektrofotometresi)
GSM	: Gayri Sıhhi Müessese
GSMH	: Gayrisafi Millî Hasıla
HKDYY	: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
HKİ	: Hava Kalitesi İndeksi
HKKY	: Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği
HMW	: High Molecular Weight (Yüksek Moleküler Ağırlıklı)

- ICP-MS : Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi)
- ICP-OES : Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi)
- IARC : International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kansere Araştırmaları Ajansı)
- ICRP : International Commission on Radiological Protection (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu)
- KOK : Kalıcı Organik Kirletici
- LMW : Low Molecular Weight (Düşük Moleküler Ağırlıklı)
- LOD : Limit of Detection (Saptama Sınırı)
- MA : Molekül Ağırlığı
- MDR : Molecular Diagnostic Ratios (Moleküler Tanı Oranları)
- MMW : Medium Molecular Weight (Orta Moleküler Ağırlıklı)
- NAAQS : National Ambient Air Quality Standards (Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartları)
- PAH : Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (Poliaromatik Hidrokarbonlar)
- PCA : Principal Component Analysis (Temel Bileşen Analizi)
- SVOC : Semi Volatile Organic Compound (Yarı Uçucu Organik Bileşikler)
- TSP : Total Suspended Solid (Toplam Asılı Partikül)
- USEPA : United States Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)
- WHO : World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
- ZF : Zenginleşme Faktörü

İZMİT ATMOSFERİNDE PARTİKÜLDEKİ POLİAROMATİK HİDROKARBONLARIN VE ESER ELEMENTLERİN SEVİYELERİNİN, MEKÂNSAL DAĞILIMLARININ VE KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, Kocaeli ili, İzmit ilçesinde 14 örnekleme noktasında PM_{2.5}'e bağlı 16 PAH ve 40 eser elementin seviyeleri araştırılmıştır. Yaz mevsiminde (42 örnek) ve kış mevsiminde (42 örnek) yüksek hacimli hava örnekleme noktaları kullanılarak toplam 84 örnek toplanmıştır. PM_{2.5} ortalama kütle konsantrasyonu $33,78 \pm 22,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. En yüksek seviyeler trafik yükünü temsil eden Cedit ($103,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve endüstriyel kirliliği gösteren Sanayi ($50,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) örnekleme noktalarında belirlenmiştir. Toprak tozunun yoğun olduğu ve/veya inşaat faaliyetlerinin olduğu bölgelerde yaz döneminde kış dönemine göre baskınlık (K/Y<1) söz konusu olmuştur. PM_{2.5}'e bağlı PAH'ların konsantrasyonları sırasıyla $0,0002 \text{ ng}/\text{m}^3$ (Phe) ile $5,590 \text{ ng}/\text{m}^3$ (BbF) aralığında değişmiştir. Baskın PAH bileşiklerinin BbF ($1,647 \text{ ng}/\text{m}^3$), BaP ($1,014 \text{ ng}/\text{m}^3$), Chy ($0,883 \text{ ng}/\text{m}^3$), BgP ($0,857 \text{ ng}/\text{m}^3$) ve Pyr ($0,848 \text{ ng}/\text{m}^3$) olduğu belirlenmiştir. BaP konsantrasyonunun DSÖ sınır değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür. $\Sigma_{16}\text{PAH}$ konsantrasyonları yaz mevsiminden ($2,000 \pm 0,137 \text{ ng}/\text{m}^3$) kış mevsimine ($14,923 \pm 0,805 \text{ ng}/\text{m}^3$) artan konsantrasyonlar ile belirgin bir mevsimsel değişim göstermiştir. Kent merkezinden uzaklaştıkça konsantrasyon seviyelerinin düştüğü gözlemlenmiştir. PCA ile PAH'ların yaz mevsiminde kaynaklarının trafik emisyonları (%52,45) ve endüstriyel emisyonlar (%28,30), kış mevsiminde ise trafik emisyonları (%50,96), kömür yakma (29,71) ve petrojenik kaynak (%15,23) olduğu belirlenmiştir. Moleküler tanı oranları ile de kış dönemi ile aynı kaynakların baskınlığı belirlenmiştir. PM_{2.5}'e bağlı eser elementlerin konsantrasyonları ise $0,0004 \text{ ng}/\text{m}^3$ (Lu) ile $510,20 \text{ ng}/\text{m}^3$ (Ca) aralığında değişmiştir. PM_{2.5}'teki eser elementlerde Ca ($510,20 \text{ ng}/\text{m}^3$), K (215,04), Fe (204,78), Na (202,69), Mg (79,79), P (77,18), Al (74,29) ve Zn (67,04) elementlerinin (ng/m^3) baskınlığı görülmüştür. Al, Fe ve Ti gibi toprak elementlerinin yaz mevsiminde (Y/K>1), Zn, Cu, P, Pb ve Se gibi antropojenik elementlerin kış mevsiminde baskın (Y/K<1) olduğu tespit edilmiştir. Cd ($0,2 \pm 0,09 \text{ ng}/\text{m}^3$), Ni ($1,74 \pm 1,43 \text{ ng}/\text{m}^3$) ve Pb ($6,24 \pm 3,09 \text{ ng}/\text{m}^3$) gibi sağlık açısından riskli elementlerin konsantrasyonlarının DSÖ, AB direktifi ve HKDYY'nde ki sınır değerleri aşmadığı belirlenmiştir. ZF analizi ile Cu, Zn, Pb, Se ve Cd gibi elementlerin antropojenik kaynaklarla (ZF>100) ilgili olduğunu tespit edilmiştir. PCA analizi ile eser elementlerin yaz mevsimi kaynakları toprak kaynağı (%20,9), trafik emisyonu (%17,35), deniz tuzu (%16,17), yol tozu (%15,1) ve endüstriyel emisyonlar (%8,0) olarak belirlenmiştir. Kış dönemi kaynaklarının ise kontamine toprak (%38,05), toprak kaynağı (%16,8), yol tozu (%10,03), endüstriyel emisyon (%8,44), yanma kaynağı (%7,47) ve kömür yakma (%6,36) kaynağı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eser Element, İnce Partikül Madde, Kaynak Tanımlama, Mekânsal Dağılım, Poliaromatik Hidrokarbon.

DETERMINATION OF THE LEVELS, SPATIAL DISTRIBUTIONS AND SOURCES OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS AND TRACE ELEMENTS IN PARTICULATE MATTER IN IZMIT ATMOSPHERE

ABSTRACT

In this study, the levels of 16 PAHs and 40 trace elements related to PM_{2.5} were investigated at 14 sampling points in Kocaeli province, Izmit district. A total of 84 samples were collected using high volume air samplers in summer (42 samples) and winter (42 samples) seasons. The mean mass concentration of PM_{2.5} was found to be $33.78 \pm 22.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The highest levels were determined at Cedit ($103.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), which represents the traffic load, and at the Sanayi sampling points ($50.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$), which indicates industrial pollution. In areas where soil dust is intense and/or construction activities are active, PM_{2.5} mass concentrations are dominant in summer compared to winter ($K/Y < 1$). The concentrations of PM_{2.5}-bound PAHs ranged from ng/m^3 (Phe) to $5.590 \text{ ng}/\text{m}^3$ (BbF), respectively. The predominant PAH compounds were determined to be BbF ($1.647 \text{ ng}/\text{m}^3$), BaP ($1.014 \text{ ng}/\text{m}^3$), Chy ($0.883 \text{ ng}/\text{m}^3$), BgP ($0.857 \text{ ng}/\text{m}^3$) and Pyr ($0.848 \text{ ng}/\text{m}^3$). It was observed that the BaP concentration was above the WHO limit values. $\Sigma_{16}\text{PAH}$ concentrations showed a significant seasonal variation with increasing concentrations from ($2.000 \pm 0.137 \text{ ng}/\text{m}^3$) to winter ($14.923 \pm 0.805 \text{ ng}/\text{m}^3$). It has been observed that concentration levels decrease as you move away from the city center. With PCA, it has been determined that the sources of PAHs are traffic emissions (52.45%) and industrial emissions (28.30%) in summer, and traffic emissions (50.96%), coal burning (29.71%) and petrogenic sources (15.23%) in the winter season. With the molecular diagnosis rates, the dominance of the same sources with the winter period was determined. The concentrations of trace elements due to PM_{2.5} varied between $0.0004 \text{ ng}/\text{m}^3$ (Lu) and $510.20 \text{ ng}/\text{m}^3$ (Ca). The dominance of Ca (510.20), K (215.04), Fe (204.78), Na (202.69), Mg (79.79), P (77.18), Al (74.29) and Zn (67.04) elements (ng/m^3) was observed in trace elements in PM_{2.5}. It has been determined that soil elements such as Al, Fe and Ti are dominant in summer ($Y/K > 1$), anthropogenic elements such as Zn, Cu, P, Pb and Se are dominant in winter ($Y/K < 1$). It has been determined that the concentrations of elements with health risks such as Cd, Ni and Pb do not exceed the limit values in WHO, EU directive and HKDYY. With EF analysis, it has been determined that elements such as Cu, Zn, Pb, Se and Cd are related to anthropogenic sources ($ZF > 100$). By PCA analysis, summer sources of trace elements were determined as soil source (20.9%), traffic emissions (17.35%), sea salt (16.17%), road dust (15.1%) and industrial emissions (8.0%). It has been determined that the sources of winter period are contaminated soil (38.05%), soil source (16.8%), road dust (10.03%), industrial emission (8.44%), combustion source (7.47%) and coal burning source (6.36%).

Keyword: Trace Element, Fine Particulate Matter, Resource Identification, Spatial Distribution, Polyaromatic Hydrocarbon.

GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, endüstriyel gelişme ile birlikte enerji ihtiyacının artması, araç kullanımı ve fosil yakıt tüketiminin artmasının doğal bir sonucu olarak hava kirliliği seviyesi artmaktadır. Tüm bu faktörler, hava kirleticilerinin atmosferik emisyon salınımlarını artırır. Rüzgâr hızı, atmosferik stabilite ve topografya gibi diğer dış faktörler, emisyonların yüksek hava kirliliği konsantrasyonlarına dönüşümünü sağlayan koşullardandır. Kentlerde artan emisyon kaynakları ve miktarları ve diğer dış faktörler sonucunda karbon monoksit, ozon, nitrojen oksitler, kükürt dioksit, organik madde, partikül madde ve eser elementler gibi hava kirleticilerinin konsantrasyonları artar. Bu hava kirleticileri arasında partikül madde kirliliği insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı en kritik olanlardan biridir.

Partikül hava kirliliğinin değerlendirilmesi, tipik olarak akciğerlere girebilen PM_{2.5} (aerodinamik çapı 2.5 µm'den küçük partikül madde) ve nazofarengeal (üst yutak) kanalda sıkışmış ve olumsuz sağlık etkilerine neden olan PM₁₀ (aerodinamik çapı 10 µm'den küçük partikül madde) ölçümleri ile yapılır (Kalisa ve diğ., 2018). İnce partikül madde (PM_{2.5}) kirliliği, insan sağlığı, görünürlük, ekosistemler ve iklim değişikliği üzerindeki etkileri nedeniyle önemli bir çevre ve sağlık sorunudur (Brauer ve diğ., 2012; Cheng ve diğ., 2013). Dış hava kirliliğinin önemli bir bileşeni olan partikül maddeler, Grup 1 “insanlar için kanserojen” olarak sınıflandırılmıştır (IARC, 2013). PM_{2.5}'lerin büyük bir kısmı akciğerlerdeki alveollere kadar gidebilir ve buradan da kurşun gibi toksik maddeler %100 olarak kana karışabilir (CŞB, 2020). PM_{2.5}'a uzun süreli maruz kalma, akciğer kanseri, felç, demans, kardiyovasküler hastalık, kronik solunum yolu hastalıkları, alt solunum yolu enfeksiyonları ve depresif benzeri riskleri artırır (Carey ve diğ., 2018; Chu ve diğ., 2019; Laden ve diğ., 2006).

Doğadaki diğer birçok zararlı maddenin aksine, karmaşık özelliği PM_{2.5} riskini değerlendirmeyi zorlaştırır, bu nedenle son çalışmalar PM'e absorblanmış

kimyasallar ve sağlık arasındaki ilişkiyi değerlendirmektedir (Betha ve diğ., 2012; Hsu ve diğ., 2016; Luo ve diğ., 2019). PM_{2.5}'in kimyasal bileşimi elemental karbon, organik karbon, sülfat, nitrat, amonyum, ağır metaller, kalıcı organik kirleticiler (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH), Poliklorlu Bifeniller (PCB), Polibromlu Difenil Eterler (PBDE) vb.) ve diğerlerinden oluşur. řu anda, doğal ve/veya antropojenik emisyon kaynaklarınabağlı olarak, PM'nin genellikle karmaşık bir metaller (Fe, Al, Pb, Mn, Zn) ve organik kimyasalların (PAH, PCB vb.) karışımı olduğu iyi bilinmektedir (Dieme ve diğ., 2012).

Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)'lar bütün çevresel ortamlarda rastlanan Kalıcı Organik Kirletici (KOK)'ler grubunda olan ve ayrıca bazıları kanserojen etkiye sahip olduğu kanıtlanmış eksik yanma sonucu oluşan kirleticilerdir. Kentsel atmosferlerde, PAH'ların ana kaynakları genellikle antropojeniktir ve motorlu taşıtlardan, endüstriyel faaliyetlerden veya atık yakma faaliyetlerinden, ısıtma ve pişirme faaliyetlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Jiang ve diğ., 2009; Martellini ve diğ., 2012; Sarkar ve Khillare, 2013; Sharma ve diğ., 2007).

PAH'lar atmosferde gaz ve partikül fazında bulunmaktadır. Yapılan alışmalar partiküle bağlı PAH'ların özellikle ince partiküllerin insan sağlığı için çok tehlikeli olduğunu göstermektedir (Hanedar ve diğ., 2014; Yan ve diğ., 2019; Zhang ve diğ., 2016). PAH'ların solunması kanser riskinde artış ile ilişkilendirilmiştir (Guo ve diğ., 2021; Ma ve diğ., 2020). 1,0 ng/m³'n üzerindeki seviyelerde, benzo (a) pirenin DNA hasarına neden olduğu tahmin edilmektedir (Barrado ve diğ., 2012; Dieme ve diğ., 2012; Lin ve diğ., 2015). PAH'lar ayrıca toksik etkilerinden olan bebek gelişim kısıtlılığı, bronşit, astım ve astım benzeri semptomlar ve ölümcül iskemik kalp hastalığı nedeniyle de büyük endişe kaynağıdır (Khan ve diğ., 2015).

PAH'ların kirlilik sürecini daha iyi anlamak ve kontrol etmek için PAH kaynaklarının tanımlanmasına yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. İstatistiksel yaklaşımlara dayalı reseptör modelleri, farklı ortamlarda (hava, toprak, sedimanlar) PAH kaynaklarını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Calln ve diğ., 2014). Bunlar arasında, Pozitif Matris Faktörizasyonu (PMF), UNMIX, faktör analizi ve Temel Bileşen Analizi (PCA) en çok kullanılan çok değişkenli modellerden bazılarıdır. Bu modeller, etkili kirlilik kontrolü ve azaltımı için önemli bilgiler sağlar.

Partiküle bağı PAH'ların %80'inden fazlasının PM_{2.5} ile ilişkili olduğu bilinmektedir (Hassanvand ve diğ., 2015). Şiddetli hava kirliliği olaylarında, Çin'in Zhengzhou kentinde 2,5 µg/m³'e ve Zonguldak, Türkiye'de 3 µg/m³'e varan PM_{2.5}'te yüksek miktarda PAH seviyeleri belirlenmiştir (Akyüz ve Çabuk, 2009; Wang ve diğ., 2015). Atmosferdeki PM_{2.5}'e bağı PAH'ların konsantrasyonu, meteorolojik koşullara, hava olaylarına ve emisyon kaynaklarına büyük ölçüde bağıdır (Alam ve diğ., 2015) Bu nedenle, PM_{2.5}'teki PAH'ları mekânsal izleme, kaynak tanımlama ve sağlık değerlendirmesi için yararlı olmaktadır (Kalisa ve diğ., 2019).

Havadaki partikül fazındaki organik kirleticilerin konsantrasyonları, geleneksel olarak yüksek hacimli örnekleyiciler kullanılarak aktif örnekleme yoluyla ölçülür. PAH'lar gibi yarı uçucu organik bileşiklerin (SVOC'ler) örnekleme için kullanılan aktif örnekleyiciler, filtrelerden bir pompa yardımı ile belirlenen hacimlerde hava geçirilerek atmosferik konsantrasyonları belirlemek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Son zamanlarda, birçok çalışmada atmosferik PM konsantrasyonlarını ölçmek için aktif örnekleyiciler kullanılmıştır (Akhbarizadeh ve diğ., 2021; Andreou ve Rapsomanikis, 2009; Barrado ve diğ., 2012; Faraji Ghasemi ve diğ., 2020; Guo ve diğ., 2021; Ledoux ve diğ., 2017; Liu ve diğ., 2014; Murillo ve diğ., 2017; Soleimani ve diğ., 2018; Sulong ve diğ., 2019; Yuan ve diğ., 2020).

PM_{2.5} yüzeyinde bazı kanserojenler de dahil olmak üzere birçok farklı türde kimyasal taşıdığından, eser elementlerin solunması insanlar için potansiyel olarak zararlıdır (Gehring ve diğ., 2015). Çeşitli çalışmalar, eser elementlerin insan sağlığı üzerindeki zararlı ve toksik etkilerle ilişkili ana PM bileşenlerinden biri olduğunu göstermiştir (Kim ve diğ., 2013; Zhang ve Cao, 2015). Metaller çevreye farklı yollarla girebilir (Dobaradaran ve diğ., 2018) ve birçok sorun yaratabilir, ancak en büyük sorunlardan biri vücuttaki metallerin bozulmaması, biyolojik olarak birikmesi ve fizyolojik işleyişi olumsuz etkilemesidir (Bolognin ve diğ., 2009; Faraji Ghasemi ve diğ., 2020). Atmosferik partiküllerde tespit edilen elementler arasında Pb, Cd, Cr ve As düşük konsantrasyonlarda bile yüksek toksisite riski oluşturabilir ve bu yukarıda bahsedilen hastalıklara sebep olabilir (González ve diğ., 2017).

Atmosferde bulunan bazı antropojenik eser element kaynakları arasında fosil yakıtların yanması, araç emisyonları, inşaat, elektrik üretimi ve atık yakma gibi

endüstriyel faaliyetler yer almaktadır (Tian ve diğ., 2011). Bu kaynaklardan, kentlerdeki yüksek araç trafiği ve endüstriyel faaliyetler, atmosferdeki eser element emisyonuna en çok katkıda bulunanlardır (González ve diğ., 2017).

Kentlerde nüfusun yoğunluğu, kentsel çevre problemlerinin temelini oluştururken, bunun yanı sıra endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar ve yoğun nüfusun getirdiği trafik yüküde çevre sorunlarına dahil olmaktadır. Kocaeli'nin Türkiye imalat sanayine katkısı %13 olup, Gayrisafi Millî Hasıla (GSMH) bakımından İstanbul'dan sonra gelen en büyük il konumundadır. Araç üretiminin %39'u ve metal endüstri faaliyetlerinin %19'u Kocaeli'den karşılanmaktadır. Ayrıca Kocaeli'nin ülkemiz kimya sanayindeki %27'dir. Bir sanayi kenti olan Kocaeli'de 400 tane 1.sınıf, 7000'e yakın 2. ve 3.sınıf Gayri Sıhhi Müessese (GSM) bulunmaktadır (KSO, 2021). Kocaeli ili, kara, deniz, demir ve havayolu ulaşımları ile ülkemizin önemli geçiş noktalarındandır. Körfez-Batı İzmit otoyolundan yıllık bazda ortalama alındığında günlük 61.627 araç geçmektedir (KGM, 2020). Bu araçlardan %23'ü ağır taşıtlardan oluşurken, %77'si hafif taşıtlardır (KGM, 2020). 2019 yılında Dünya nüfusunun %90'ından fazlası Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) Hava Kalitesi Yönergesinde önerilen standardı ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aşan bölgelerde yaşamaktadır (HEI, 2020). 2018 yılında Kocaeli ilinde hava kirliliğine atfedilen ölüm oranı %9,18'dir (Karababa ve diğ., 2020). İlin büyük bir bölümünde konut ısıtma amaçlı kentsel kirliliğin önemli kaynakları arasında yer alan fosil yakıt tüketilmektedir. 2019 yılında konutlarda ısıtma amaçlı kömür tüketimi 1,178,367 ton olarak gerçekleşmiştir (CŞB, 2020). Ülkemizde konutlarda doğal gaz kullanımı 2,974 milyon sm^3 iken (EPDK, 2019), Kocaeli ilinde doğal gaz kullanımı 316,927,514 sm^3 seviyelerindedir (CŞB, 2020).

Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan birçok çalışma, kentsel $\text{PM}_{2.5}$ kütle konsantrasyonlarını ve eser element kompozisyonunu belirlemiştir (Gaga ve diğ., 2008; Onat ve diğ., 2013; Öztürk ve Keleş, 2016; Pekey ve diğ., 2010; Serpil ve Karakaş, 2013; Tecer ve diğ., 2000; Tepe ve Doğan, 2021). Fakat ülkemizde $\text{PM}_{2.5}$ 'e bağlı PAH konsantrasyonları çok az çalışmada ölçülmüştür (Akyüz ve Çabuk, 2008; Aslan Kılavuz ve diğ., 2017; Odabasi ve diğ., 2015).

Bu çalışma Kocaeli’de kentsel bir örnekleme alanından seçilen 14 örnekleme noktasında Temmuz 2018 - Ocak 2019 tarihleri arasında PM_{2.5} ölçümleri yapılmış olup bu çalışmanın amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Atmosferik PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarının belirlenmesi ve bu konsantrasyonların mevsimsel ve mekânsal değerlendirilmesi,
2. PM_{2.5}’e bağlı 16 PAH kirleticisi ve 40 eser elementin konsantrasyonlarının belirlenmesi,
3. PM_{2.5}’e bağlı PAH ve eser element konsantrasyonlarının mevsim değişimlerinin incelenmesi,
4. Seçilen 14 örnekleme noktasının PM_{2.5}’e bağlı PAH ve eser element konsantrasyonlarının mekânsal dağılımlarının incelenmesi,
5. PM_{2.5}’e bağlı PAH ve eser element verilerinin Türkiye'nin diğer bölgelerinde ve literatürde bildirilenlerle karşılaştırarak örnekleme alanının kirlilik düzeyini değerlendirilmesi,
6. PM_{2.5}’e bağlı PAH ve eser elementlerin Temel Bileşen Analizi (PCA) tekniği kullanarak potansiyel kaynaklarını ve kaynakların oranlarını belirlemektir.

1. PARTİKÜL MADDE, PAH VE ESER ELEMENTLERİN ÖZELLİKLERİ

1.1. Partikül Madde (PM)

Partikül madde (PM), havada uzun süre asılı duran, doğrudan yere ulaşmayan ancak belirli bir süre atmosferde kalan, boyutları 0,001 µm ile 10 µm arasında değişebilen katı veya sıvı parçacıklardır (Knudsen ve Rasmussen, 2012; URL-1). Elementel ve organik karbon, amonyum, nitratlar, sülfatlar, mineral tozu, eser elementler ve suyun kompleks karışımıdır (Aldabe ve diğ., 2011; Ledoux ve diğ., 2017).

1.1.1. PM kaynakları

PM, atmosfere doğal veya antropojenik kaynaklardan girer. Partikül maddenin atmosferdeki çeşitli doğal kaynakları, toprak erozyonu, deniz spreyi, volkanik faaliyetler, doğal orman yangınları, çöl tozu'dur (Kara ve diğ., 2015; Yatkın ve Bayram, 2007; URL-1). Biyokütle yakma, fabrikalar, rafineriler, enerji santralleri, trafik emisyonları, inşaat faaliyetleri ve fosil yakıt yakma kentsel havadaki partikül maddeye katkıda bulunan önemli antropojenik kaynaklardır (Kara ve diğ., 2015; Pipal ve Gursumeeran Satsangi, 2015; Shahid ve diğ., 2016).

Antropojenik işlemden oluşan havada taşınan parçacıklar genellikle ince parçacık (PM_{2.5}), doğal süreçten oluşanlar ise genellikle kaba parçacıklardır (PM₁₀) (Aldabe ve diğ., 2011; Knudsen ve Rasmussen, 2012; Bozkurt, 2018). Antropojenik kaynaklar ağırlıklı olarak PM_{2.5} oluşumuna neden olurken, mekanik taşlama, kırma faaliyetleri, yerel toprağın yeniden havada asılı halde olması, toz fırtınası ve yol tozları PM₁₀ oluşumuna neden olur (Bozkurt, 2018). Karayolu trafiği de dahil olmak üzere tüm yanma kaynakları, atmosferde antropojenik PM emisyonlarının büyük bölümünü oluşturur (Bozkurt, 2018).

Partiküller, emisyon kaynaklarına veya oluşum mekanizmalarına göre birincil veya ikincil olarak sınıflandırılmaktadır. PM atmosfere doğrudan yayılabilmekte veya atmosferde oluşabilmektedir (Aldabe ve diğ., 2011; Tiwari ve diğ., 2015; URL-2).

Birincil partiküller doğrudan atmosfere salınır veya havada yayılan gaz moleküllerinin hızlı yoğunlaşmasıyla oluşur (Knudsen ve Rasmussen, 2012; Seinfeld ve Pandis, 2016; Colbeck ve Lazaridis, 2014b; URL-2). Bunlar, yollardan çıkan tozu ve yanma kaynaklarından gelen siyah ve/veya elementel karbonu içerir. Herhangi bir yakıtın eksik yanması atmosferde partikül oluşumuna neden olur. Bu nedenle arabalar, fabrikalar birincil kaynaklardır. Genel olarak, kaba PM büyük ölçüde birincil partiküllerden oluşur (URL-2; Carle, 2006).

Birincil partikül kirleticileri taşıdıkları kimyasallara göre veya onları yayan kaynak türüne göre sınıflandırılabilir (Phalen ve Phalen, 2013).

Kimyasal sınıflandırma şöyledir:

- İnorganik elementler (metaller)
- İnorganik bileşikler
- Organik bileşikler
- Radyoaktif maddeler

Birincil parçacıklar için başka bir sınıflandırma kaynağına göre:

- Doğal kaynaklar (toprak, deniz serpintisi, mikrobiyal olaylar, yangınlar, bitkiler vb.)
- Sabit yanma kaynağı (kömür ve petrol)
- Endüstriyel faaliyetler (metalurji ve üretim süreçleri)
- Ulaşım ile ilgili kaynaklar (egzozlar, lastik ve fren aşınması)
- Diğer (tütün yakma, yol asfaltlama, pişirme, vb.).

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından kullanılan birincil partikül sınıflandırması aşağıdaki gibidir:

- Sülfat
- Nitrat
- Amonyum
- Organik karbon
- Elementel karbon

- Metaller
- Bioaerosoller.

Tablo 1.1’de, bazı birincil partiküllerin doğal ve antropojenik kaynakları yer almaktadır (Phalen ve Phalen, 2013).

Tablo 1.1. Atmosferik birincil parçacıklar ve temel kaynakları (Phalen ve Phalen, 2013)

PM<2,5			PM>2,5	
Parçacık Türleri	Doğal	Antropojenik	Doğal	Antropojenik
Sülfatlar	Deniz spreyi	Fosil yakıtlar	Deniz spreyi	
Mineraller	Toprak erozyonu	Yollar, inşaat, tarım	Toprak	Yollar, inşaat, tarım
Organik Karbon	Orman yangınları	Odun yakma, motorlu taşıtlar, yemek pişirme	Toprak, orman yangınları	Lastik aşınması, asfalt yol tozu, asfalt aşınması
Elemental Karbon	Orman yangınları	Motorlu taşıtlar, odun yakma, yemek pişirme	Orman yangınları	Lastik aşınması, asfalt yol tozu, asfalt aşınması
Metaller	Volkan aktivitesi	Yakıt yakma, lastik aşınması	Erozyon, organik kalıntı	-
Bioaerosoller	Virüsler, bakteriler	-	Bitki ve böcek parçaları, polenler, sporlar, bakteri yığınları	-

Not: "-" ya önemsiz kaynak ya da bilinen bileşen kaynağı olmadığı anlamına gelir.

İkincil partiküller ise doğal veya insan kaynaklı hava kirleticilerin (SO₂, NO_x, NH₃) gazdan partiküle kimyasal dönüşümü sonucu oluşur (Zeydan ve Wang, 2019; URL-2; Knudsen ve Rasmussen, 2012; Seinfeld ve Pandis, 2016; Colbeck ve Lazaridis, 2014b). Ayrıca ikincil parçacıkları oluşturan bazı mekanizmalar şunlardır (Phalen ve Phalen, 2013):

- Gazların birbirleri ile kimyasal reaksiyonu sonucu basınçlı bir ortamda gazın oluşması ve bu gazın yoğunlaşması sonucu partikül formunda oluşması,

- Partikül yüzeylerinde gazların reaksiyonu ile yoğunlaşmış ürünlerin oluşumu (deniz tuzu partikülleri yüzeyinde NO₂ veya HNO₃'ün reaksiyonu ile NaNO₃ oluşumu),
- Daha kompleks partiküller oluşturmak için partikül maddeler arasında oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucu ikincil PM oluşumları gözlemlenir.

İkincil partiküller enerji santralleri ve endüstriyel tesislerden çıkan sülfürdioksit emisyonlarından oluşan sülfatları ve enerji santrallerinden, mobil kaynaklardan ve diğer yanma kaynaklarından salınan nitrojenoksitlerden oluşan nitratları içerir. Kaba PM'den farklı olarak, ince PM'nin çok daha büyük bir kısmı (PM_{2.5}) ikincil parçacıkları içerir (URL-2). Ayrıca havadaki asitliğin çoğu ikincil partikül şeklindedir (Phalen ve Phalen, 2013).

Bazı birincil ve ikincil partikül maddelerin oluşum şekillerine göre tanımları Tablo 1.2'de verilmiştir (Seinfeld ve Pandis, 2016).

Tablo 1.2. Atmosferik parçacıkların oluşum şekilleri (Seinfeld ve Pandis, 2016)

Aerosoller, aerokolloidler, hava yayılım sistemleri	Gazlarda dağılmış küçük parçacıklar
Toz (Dust)	Kırma, aşındırma ve püskürtme gibi mekanik işlemler sonucu malzemelerin parçalanmasıyla oluşan havada askıda bulunan katı parçacıklar; $D_a > 1 \mu\text{m}$
Sis (Fog)	Görülebilir aerosollerin sıvı faz ortama yayılmış haline denir. Genellikle yere yakın bir su veya buzun dağılımıdır.
Füme	Genellikle erimiş maddelerden uçucu hale geçme sonrası buhar halinden yoğunlaşarak ve oksidasyon gibi bir kimyasal reaksiyon ile oluşan katı partiküller; genellikle söz konusu malzeme zararlıdır; $D_a < 1 \mu\text{m}$
Pus (Haze)	Görüş mesafesini azaltan su damlacıkları, kirleticiler ve tozun bir birleşiminden oluşabilen bir aerosol; $D_a < 1 \mu\text{m}$
Buğu (Mist)	Sıvı fazda, genellikle Dünya yüzeyinde veya yüzeye yakın bölgede atmosferde asılı kalan parçacıklar şeklindeki su; küçük su damlacıkları dalgalanır veya düşer, yağmur şekline yaklaşır. Bazen sisten daha şeffaf olmaları veya algılanabilir şekilde aşağı doğru hareket eden parçacıklara sahip olmaları nedeniyle ayırt edilebilir; $D_a > 1 \mu\text{m}$
Parçacık	Bir aerosol parçacığı, moleküller arası kuvvetler tarafından bir arada tutulan ve esas olarak moleküler boyutlardan daha büyük ($> 0,001 \mu\text{m}$) birçok molekülü içeren tek bir sürekli katı veya sıvı biriminden oluşabilir.
Smog	Aerosollerle yoğun kirlenme durumudur. Smoke ve fog terimlerinin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Günümüzde havadaki kirliliği ifade etmek için kullanılır.
Duman (Smoke)	Eksik yanmadan kaynaklanan, ağırlıklı olarak karbon ve diğer yanıcı maddelerden oluşan ve diğer partiküllerin varlığından bağımsız olarak gözlemlenebilecek miktarda ortamda bulunan gazla taşınan partiküller; $D_a > 0,01 \mu\text{m}$
İs (Soot)	Karbonlu materyalin eksik yanması sonucu oluşan, karbon açısından zengin katranlı parçacıkların bir araya gelmesi ile meydana gelir.

Partiküller iki mekanizma ile atmosferden uzaklaştırılır: Toprak yüzeyinde birikme (kuru çökme) ve yağış oluşumu sırasında bulut/yağmur damlacıklarına dâhil olarak çökme (ıslak çökme). Islak ve kuru çökme, troposferde nispeten kısa kalma sürelerine yol açtığından ve partikül kaynaklarının coğrafi dağılımı oldukça homojen olmadığından, troposferik aerosollerin konsantrasyonu ve bileşimi dünya üzerinde büyük farklılıklar gösterir. Partiküllerin troposferdeki kalış süreleri yalnızca birkaç günden birkaç haftaya kadar değişir (Seinfeld ve Pandis, 2016).

1.1.2. PM fiziksel özellikleri

PM'nin fiziksel özellikleri boyutu, şekli, yüzeyi, yoğunluk veya sayı yoğunluğu, toz partiküllerinin elektrik yükü, ışık saçılması ve absorpsiyonu gibi özelliklerdir. Bu özellikler arasında en önemlisi partikül boyutudur (Bralewska ve Rogula-Kozłowska, 2020; Knudsen ve Rasmussen, 2012). Bunun nedeni yalnızca partiküllerin emisyon kaynağının belirlenmesi değil aynı zamanda sağlık, görünürlük ve iklim üzerindeki etkileriyle de ilgilidir. Ayrıca partikülün davranışının karakterize edilmesinde kullanılan en önemli özelliktir (Aldabe ve diğ., 2011; Knudsen ve Rasmussen, 2012).

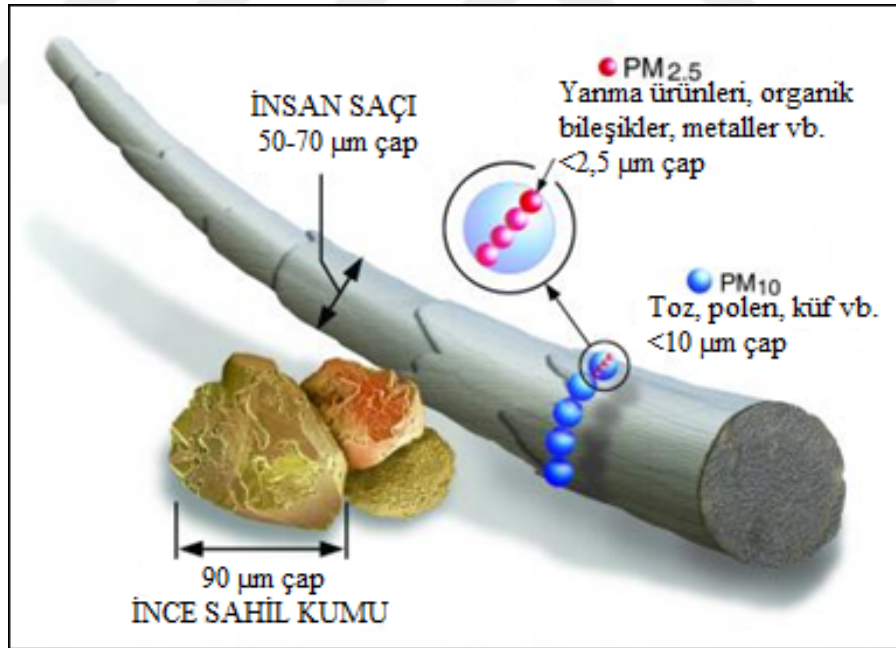
Partikül boyutu partikülün aerodinamik çapını ifade eder. Aerodinamik çap (D_a), söz konusu partikül ile eşit çökme hızına sahip birim yoğunluğu 1 g/m^3 olan küresel bir partikülün çapı olarak tanımlanır (Colbeck ve Lazaridis, 2014a). PM_x , partikül maddenin çapının $x \text{ } \mu\text{m}$ 'den küçük olduğu anlamına gelmektedir. Genellikle x olarak $1 \text{ } \mu\text{m}$, $2,5 \text{ } \mu\text{m}$ veya $10 \text{ } \mu\text{m}$ değerleri kullanılır (Seinfeld ve Pandis, 2016).

EPA tarafından partikül boyutuna göre yapılan sınıflandırma ve açıklamaları aşağıda ki gibidir.

- Toplam Askıda Partiküller (TSP): Aerodinamik çapı $25\text{-}45 \text{ } \mu\text{m}$ ($1 \text{ } \mu\text{m} = 0.001$ milimetre) arasında olan havadaki partikül maddelerdir. $PM_{>10}$ mikron (“kaba partiküller”) sınıfına girer.
- Partikül Madde <10 mikron (PM_{10} – “kaba partiküller”): Çapı $10 \text{ } \mu\text{m}$ ve daha küçük olan havadaki solunabilir partikül maddelerdir, yani $2,5\text{-}10 \text{ } \mu\text{m}$ aralığındaki partiküllerdir.

- Partikül Madde < 2,5 mikron (PM_{2.5} – “ince partiküller”): Çapı 2,5 µm ve daha küçük olan havadaki solunabilir ince partikül maddelerdir. Bu partiküller sadece elektron mikroskobu ile görülebilir.
- Partikül Madde < 0,1 mikron (“ultra ince partiküller”): Aerodinamik çapı 0,1 µm’den daha küçük olan partikül maddelerdir.
- Yoğunlaşma ile oluşan partikül madde: Yoğunlaşma sonucu olan gazlardan ya da buhardan oluşan partikül maddelerdir. Bu tip partiküller doğal olaylar sonucunda veya kimyasal reaksiyonların sonucunda oluşur. Bunlar, genel olarak partikül madde olmayan malzemelerden ama partikül maddeyi oluşturmak için bacada yoğunlaşan ve/veya çevre havasında soğuma ve yoğunlaşma ile oluşan maddelerdir ve bacadan emisyonun verilmesinden hemen sonra (birkaç saniyede içinde) olmaktadır.

On mikron, bir insan saçının çapının yalnızca yedide biridir. PM boyutunun insan saçı ile karşılaştırması Şekil 1.1’de verilmiştir (URL-1).



Şekil 1.1. Partiküllerin insan saçı boyutu ile karşılaştırılması

Parçacığın, uzaklaştırılıncaya kadar davranışını belirleyen askıdaki hava ile etkileşimidir. 0,001-10 µm arasında partikül madde uzun süre havada kalabilir. Ayrıca, 100 µm'ye kadar daha büyük partiküller birkaç dakika içinde sakin havadan çökebilir. Atmosferik kimya ve fizik açısından en önemli parçacıklar 0,002 ile 10 µm

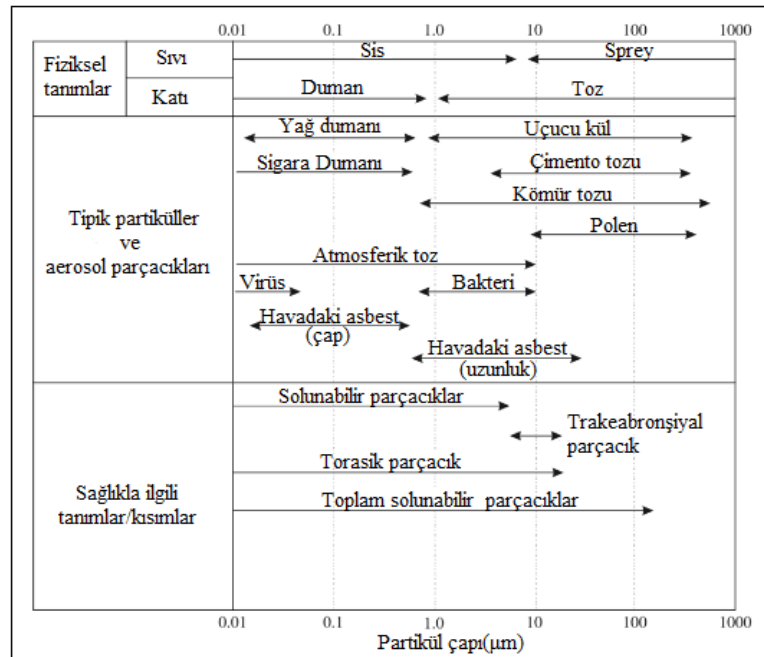
aralığındadır. Yaygın olarak bulunan parçacıklar için boyut aralıkları Tablo 1.3'te verilmiştir (Knudsen ve Rasmussen, 2012).

Tablo 1.3. Yaygın parçacıkların boyut aralıkları (Knudsen ve Rasmussen, 2012)

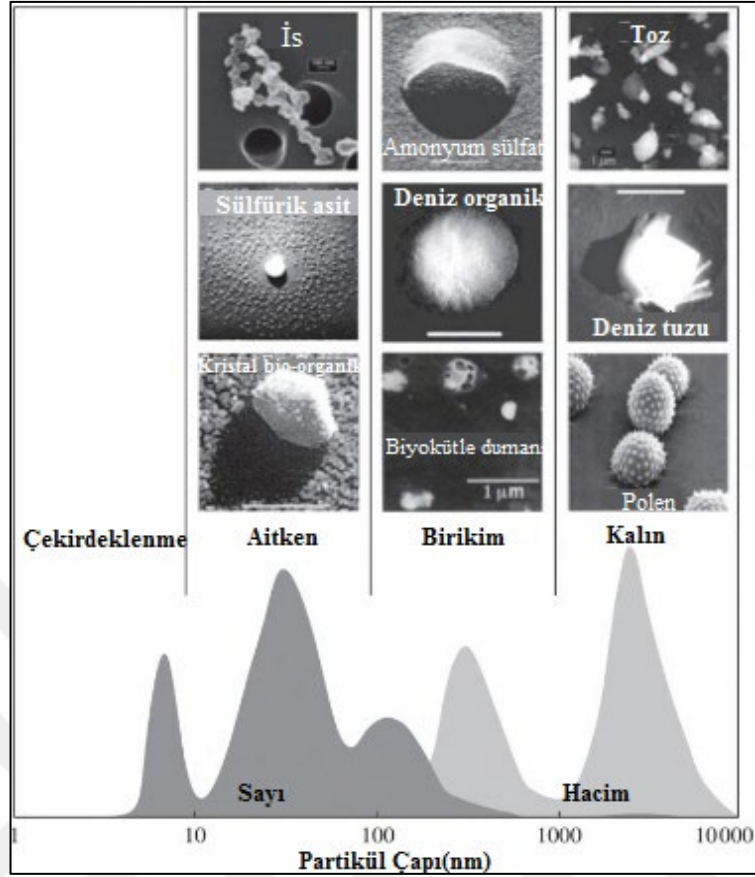
Parçacık	Çap(μm)	Parçacık	Çap(μm)
Deri pulları	1-40	Asbest	0,25-1
Görünür toz ve tüy	>25	Yeniden süspansiyon tozu	5-25
Toz akarı	50	Tütün dumanı	0,1-0,8
Akar alerjeni	5-10	Dizel kurum	0,01-1
Küf ve polen sporları	2-200	Dış mekân ince partikülleri (sülfatlar, metaller)	0,1-2,5
Bakteriler *	0,05-0,7	Taze yanma parçacıkları	<0,1
Virüsler *	<0,01-0,05	Metal dumanları	<0,1
Amip	8-20	Ozon ve terpen şeklindeki aerosoller	<0,1

* Büyük damlacık çekirdeklerinde oluşur.

Boyut dağılımının önemli bir bölgesi, çekirdek modunun ultra ince kısmıdır. Birkaç yüz molekül içeren çok küçük kümelerin fizik ve kimyasının anlaşılması, teorik ve deneysel bir zorluktur. Şekil 1.2'de bazı tipik partikül boyut aralıklarını ve bunlarla ilgili özelliklerini göstermektedir. Şekil 1.3 ise elektron mikroskobu ile elde edilen partikül boyut dağılımı ve morfolojisinin bir örneği verilmiştir (Colbeck ve Lazaridis, 2014a).



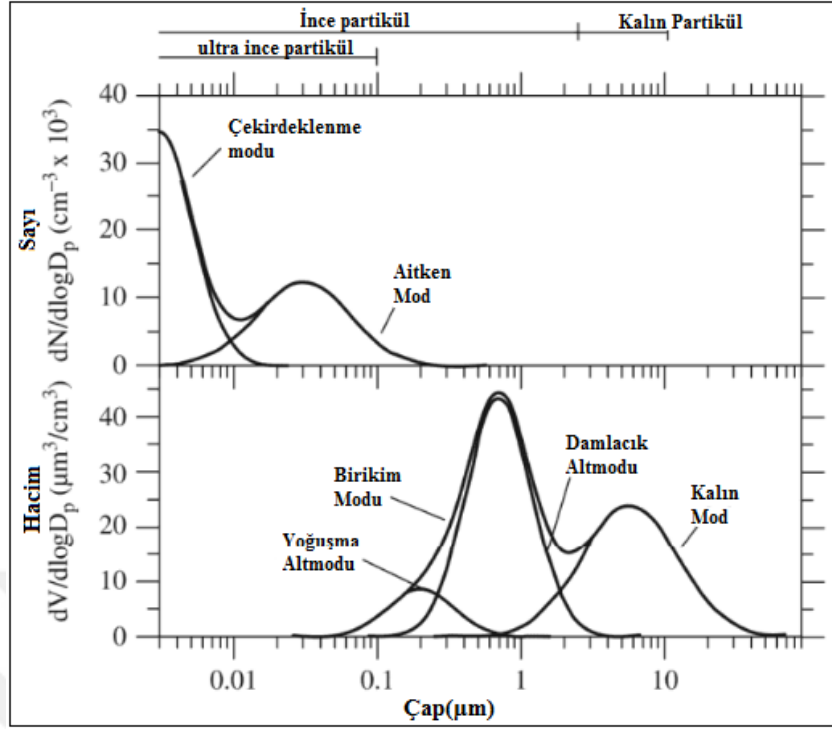
Şekil 1.2. Partikül boyutuna göre özellikleri (Colbeck ve Lazaridis, 2014a)



Şekil 1.3. Çeşitli partikül türleri için partikül boyut dağılımı ve morfolojisi (Colbeck ve Lazaridis, 2014a)

Partikül hacim dağılımı, sayı dağılımından farklı özelliklere sahiptir; genellikle en az $\sim 1 \mu\text{m}$ (kaba ve ince partiküller arasındaki bölme sınırı) ile iki modludur. Aritmetik dağılım, ultra ince modda (çekirdeklenme modu) maksimum değere sahipken, hacim dağılımı, biri birikim modunda diğeri ise kaba modda olmak üzere iki logaritmik dağılıma sahiptir. Şekil 1.4 hacim ve sayıya göre bazı tipik atmosferik partikül dağılımlarını göstermektedir (Colbeck ve Lazaridis, 2014a).

PM solunumunun ve solunumdan kaynaklı partikül birikiminin etkisi, partiküllerin boyutuna bağlıdır. Bu nedenle, PM'nin insan sağlığı üzerindeki etkilerini anlamak için partikül boyutu hayati önem taşımaktadır (Knudsen ve Rasmussen, 2012; Ledoux ve diğ., 2017; Şahin ve diğ., 2012). PM_{10} ile karşılaştırıldığında, $\text{PM}_{2.5}$ daha küçük boyutu, daha uzun atmosferik ömrü ile daha ciddi sağlık riskleri neden olabilmektedir (Xu ve diğ., 2017). Her iki tür de akciğerlerin derinliklerine nüfuz edecek kadar küçüktür ve ultra ince parçacıkların çoğu bağışıklık mekanizmamıza takılmaz (Carle, 2006).



Şekil 1.4. Hacim ve sayıya göre tipik ortam partikül dağılımları (Carle, 2006)

PM'nin farklı hareket kabiliyeti ve solunum yolunda birikmesi nedeniyle, PM'ye sağlık maruziyetinin değerlendirilmesi üç kısma ayrılır (Bralewska ve Rogula-Kozłowska, 2020):

- İnhalasyon (toplam solunabilir) kısmı: $D_a \leq 100 \mu\text{m}$ olan (toplam asılı partiküller, TSP) alveollere girmeyen, genellikle üst solunum yolunda tutulan partiküller;
- Torasik kısım: Solunum sırasında gırtlaktan geçen, $D_a < 30 \mu\text{m}$ olan parçacıklar;
- Solunabilir kısım: Solunum sırasında alveollerde birikebilen ve fizyolojik sıvılarda çözünebilen $D_a < 4 \mu\text{m}$ partiküller.

Kansere neden olan organik kimyasalları (PAH, dioksin, furan vb.) içeren partikül maddeler sağlık açısından oldukça tehlikelidir. Bu tür partikül maddeler akciğerdeki nemle birleşerek aside dönüşür, akciğere ulaşıp kanın içindeki CO_2 'nin O_2 'e dönüşümünü yavaşlatır. Oksijen kaybının giderilmesi için kalbin daha çok çalışması kalp üzerinde ciddi sağlık problemlerine neden olur (Knudsen ve Rasmussen, 2012). Ayrıca partikül maddenin yoğun olduğu durumda iklim değişimini etkilemekte, görüş mesafesini azaltmakta ve insan, hayvan ve bitki sağlığını olumsuz etkilemektedir.

1.1.3. PM kimyasal bileşimi

Ultra ince/ince ve kaba PM'ler farklı işlemlerle oluşturulduğundan, sadece boyut açısından değil, aynı zamanda şekil, yapı ve kimyasal bileşim açısından da farklılık gösterirler. Parçacıkların konsantrasyonunu ve kimyasal bileşimini etkileyen tüm süreçlerin anlaşılması, iklim değişikliği ve sağlığın korunmasında büyük bir öneme sahiptir (Spindler ve diğ., 2013).

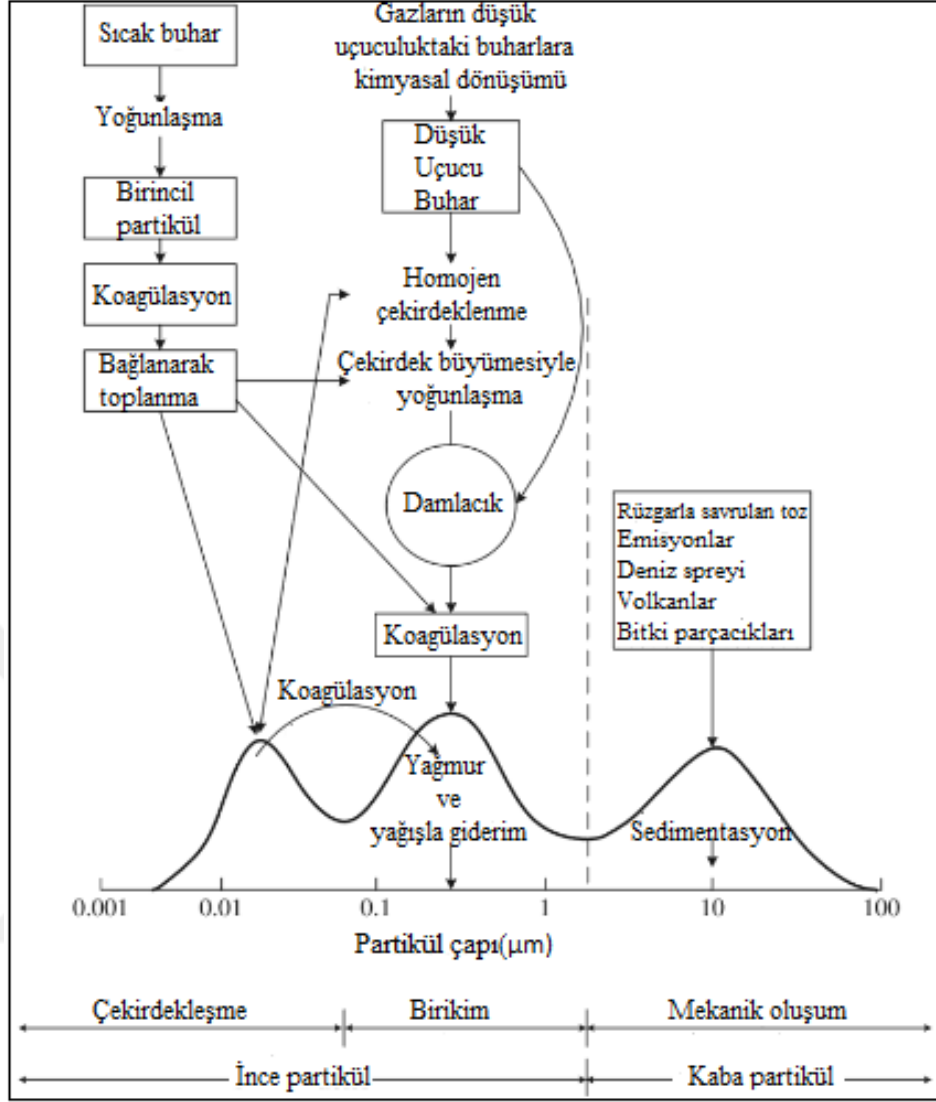
Atmosferik partikül maddeler, birkaç saat ile birkaç hafta arasında değişen atmosferik ömürlere sahiptir. Bu nedenle seviyeleri ve kimyasal bileşimleri, emisyon kaynaklarına ve meteorolojik koşullara bağlı olarak zamansal ve mekânsal dağılımları büyük farklılıklar gösterir. Troposferdeki partikül madde, çok çeşitli doğal ve antropojenik kaynakların salınımindan ve gaz fazındaki kimyasal dönüşümlerin, heterojen ve çok fazlı reaksiyonların sonucunda oluşur. PM, doğrudan ışınım etkisinden dolayı küresel iklim sistemini etkiler. Dolaylı etki ise bulut yoğunlaşma çekirdeklerinin aktivasyonundan kaynaklanır. Kaba partiküller, yerçekimsel çökme ile daha hızlı bir şekilde atmosferden uzaklaşırken, ince partiküller atmosferde daha uzun süre kalır ve bir bölgeden diğerine taşınabilir. İnce partiküllerin bölgesel veya uzun mesafeli taşınımının olması ve kontrol edilebilmelerinin zor olması oluşan kirliliğin bölgesel olarak sorun oluşturmasına neden olmaktadır (Bozkurt, 2018). Şekil 1.5 parçacıkların dağılımını ve farklı parçacık boyutlarıyla ilişkili fizikokimyasal süreçleri göstermektedir (Colbeck ve Lazaridis, 2014a).

Atmosferde üretilen birincil ve ikincil parçacıkların emisyon kaynakları atmosferik partikülün bileşimini belirlemektedir. Partikülün ana bileşenleri arasında sülfat, nitrat, amonyum, klorür, elemental karbon, organik karbon, su, klorür, metal oksitleri ve kabuk malzemesi bulunur (Colbeck ve Lazaridis, 2014a; Seinfeld ve Pandis, 2016; Özdemir ve diğ., 2010). Bu türlerden sülfat, nitrat, amonyum, organik bileşikler, elemental karbon ve belirli geçiş metalleri ağırlıklı olarak ince partiküllerde bulunmakta ve toksik ve kanserojenik karaktere sahip olabilmektedirler (Seinfeld ve Pandis, 2016; Arı ve diğ., 2015). Si, Ca, Mg, Al ve Fe gibi kabuk malzemeleri (toprak kaynaklı) ve biyogenik organik parçacıklar (polen, sporlar, bitki parçaları) genellikle kaba partikül (2,5 µm ve üzeri) maddeleri oluşturur (Seinfeld ve

Pandis, 2016; Colbeck ve Lazaridis, 2014a). Nitrat, hem ince hem de kaba partikül modlarında bulunabilir. İnce nitrat genellikle amonyum nitrat oluşumu için nitrik asit-amonyak reaksiyonunun bir sonucudur, kaba nitrat ise kaba partikül/nitrik asit reaksiyonlarının ürünüdür. Kaba ve ince partiküllerin kimyasal işaretlerinin özeti Tablo 1.4’de sunulmuştur (Seinfeld ve Pandis, 2016).

Tablo 1.4. İnce ve kaba parçacıkların karşılaştırılması (Seinfeld ve Pandis, 2016)

Özellikler	İnce Partiküller	Kaba Partiküller
Oluşum yolları	Kimyasal reaksiyonlar Çekirdeklenme Yoğunlaşma Pıhtılaşma Bulut/sis oluşumu	Mekanik bozulma Tozların askıya alınması
Kompozisyon	Sülfat Nitrat Amonyum Hidrojen iyonu Elementel karbon (EC) Organik bileşikler (PAH) Su Metaller (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, vb.)	Yeniden askıya alınan toz Kömür ve uçucu petrol külü Kabuk elementi (St, Al, Tl, Fe) oksitler CaCO ₃ , NaCl Polen, küf, sporlar Bitki, hayvan kalıntıları Lastik aşınması artıkları
Çözünürlük kaynakları	Büyük ölçüde çözünür, higroskopik Yanma (kömür, petrol, benzin, dizel, odun) SO ₂ , NO _x ve organik buharların gazdan partiküle dönüşümü Dökümhane, değirmenler vb.	Büyük ölçüde çözünür ve higroskopik olmayan Endüstriyel toz ve toprağın yeniden süspanse edilmesi Toprağın askıya alınması (tarım, madencilik, asfaltsız yollar) Biyolojik kaynaklar İnşaat/yıkım Okyanus spreyi
Atmosferik ömür	Günlerden haftalara	Dakikadan güne
Taşınmı mesafesi	100 - 1000 km	100 km



Şekil 1.5. Partikül boyutuyla ilgili fizikokimyasal süreçler (Colbeck ve Lazaridis, 2014a)

1.1.4. PM sağlık etkileri

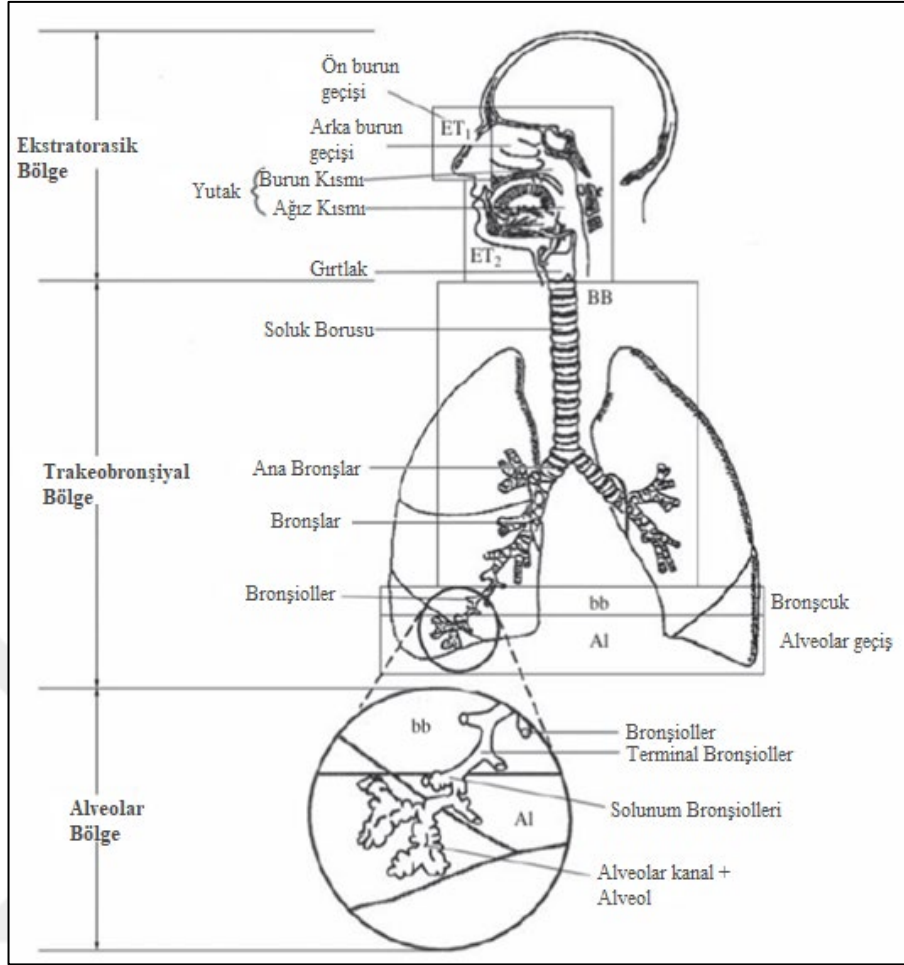
İnsan faaliyetlerinin neden olduğu hava kirliliği son yıllarda sağlık açısından büyük endişeye neden olmaktadır. Partikül maddenin, insan sağlığında olumsuz etkileri, görüş mesafesinde düşüş, asit birikimi ve dünyanın radyasyon dengesinin bozulması gibi sağlık etkileri mevcuttur (Huang ve diğ., 2015; Özdemir ve diğ., 2010; Dursun ve diğ., 2017; Tecer ve diğ., 2017).

Soluduğumuz havanın içerdiği partikül kaynaklarının yanı sıra boyut ve kimyasal içerikleri de oldukça önemlidir. Partikül boyutu insan vücudu solunum sisteminde değişik bölgelerde birikmelerine neden olmaktadır (Karakavuz ve Yıldırım, 2017).

Son 30 yılda yapılan birçok çalışma, yüksek PM seviyelerinin çeşitli sağlık sonuçlarıyla ilişkili olduğunu, solunum ve kardiyovasküler hastalıklar için hastaneye yatışta, astım ataklarının şiddetlenmesinde ve akciğer fonksiyonlarında önemli bir artışa neden olduğunu ve bunlara bağlı morbidite ve mortalite oranlarının arttığını göstermektedir (Iavicoli ve diğ., 2011; Miranda ve diğ., 2012; Tecer ve diğ., 2017; Yatkin ve diğ., 2007).

PM'nin insan sağlığı üzerinde en dikkat edilmesi gereken ve en tehlikeli olanı partiküllerin solunum sistemi üzerindeki etkileridir (Özdemir ve diğ., 2010). 24 saatte yaklaşık 20 m³ hava soluyan bir insan için havanın içerisinde bulunan kirletici konsantrasyonları hayati önem taşımaktadır. Özellikle sanayi devriminden günümüze gelişmekte olan endüstriyel faaliyetler salınan kirletici miktarlarını arttırmakta ve bu sebeple de kirliliğe maruz kalan insan sayısı da artmaktadır. Kirliliğe maruz kalan insan sayısındaki artış hastalık oranlarını ve buna bağlı olarak da ölüm oranlarının yükselmesine sebep olmaktadır (Karakavuz ve Yıldırım, 2017). DSÖ'nün hava kirliliğinden dolayı oluşan hastalıklarla ilgili yapılan değerlendirmesine göre her yıl meydana gelen 2 milyon erken doğum ölümleri, katı yakıtların yanmasından dolayı ortaya çıkan kentsel iç ve dış ortam hava kirliliğinin etkilerine bağlanmaktadır (Özdemir ve diğ., 2010).

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından parçacıkların insan akciğerinde biriktirilmesi konusunda önemli çalışmalar yapılmıştır. Partikül boyutuna bağlı alım için ICRP modeli ilk olarak 1994 yılında yayınlanmıştır. Bu model, Şekil 1.6'da gösterildiği gibi insan solunum yolunu üç bölgeye (torasik, trakeobronşiyal ve alveolar) ve beş alt bölgeye ayırmaktadır. ET₁, ön geniz; ET₂, arka duvar geniz, üst yutak ve gırtlak; BB, trakea ve bronşlar dahil bronş bölgesi; bb, bronşiyollerden ve uç bronşiyollerden oluşan bronşiyol bölgesi; Al, alveolar dokular arası bölge, solunum bronşiyollerinden ve alveollerle çevrili alveolar kanallardan ve keselerden oluşur. Daha iri partiküllerin nazal bölgede ve ultra ince partiküllerin alveolar bölgede birikme olasılıkları daha yüksektir. Ultra ince partiküllerin en ince kısımları bile alveolar bölgede önemli birikim verimliliğine sahiptir ve ultra ince partiküllere kıyasla çok büyük kütleleri nedeniyle, alveolar bölgede kütle bazlı partikül alımında ultra ince partiküllerden önce gelmektedirler (Colbeck ve Lazaridis, 2014b).



Şekil 1.6. İnsan solunum yolunun ana anatomik bölgelerinin gösterimi

Çapı 10 μm 'den küçük olan partiküller burundan alveollere kadar alt solunum yoluna ulaşma potansiyeline sahiptir. Çapı 5 μm 'den büyük olan partiküller genellikle burun tarafından filtrelenir. Çapı 2 μm 'den küçük olan ince partiküller, insan akciğerinin alveolar bölgelerine ulaşmaktadır (Pekey ve diğ., 2015; Şahin ve diğ., 2012; Spindler ve diğ., 2013). Ultra ince partiküller tutarlı sağlık etkileri göstermemiş ve hatta bazı çalışmalarda solunum yolu kabulleri veya ölümlerle hiçbir ilişki bulunamamıştır (Karakatsani ve diğ., 2012; Yin ve diğ., 2019).

PM_{2.5} solunması, insan sağlığı için en tehlikeli boyut olarak kabul edilmektedir. Bunun nedeni PM_{2.5}, solunum yolunda bronş ağacı ve derin alveolar bölge boyunca dağılabilesidir (Ledoux ve diğ., 2017). Araştırmalar, ortamdaki yüksek PM_{2.5} konsantrasyonlarına uzun süreli maruz kalma ile akciğer fonksiyonundaki düşüş ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı arasında güçlü bir ilişki kurmuştur. Yaşlılarda yaygın hipertansiyon ve yetişkinlerde astıma neden olmaktadır (Karnae ve John,

2019). PM_{2.5}'in insan solunum sistemine PM₁₀'a göre daha derinlemesine nüfuz edebilmekte, astım gibi hastalıkları şiddetlendirmekte ve hatta kalp problemlerine neden olabilmektedir (Miranda ve diğ., 2012). Ayrıca PM_{2.5} bronşiyal ve pulmoner alveollerden kan dolaşımına girebilme ihtimallerinden dolayı kardiyovasküler ve pulmoner sistemler üzerinde ciddi sağlık etkileri yaratabilmektedir (Zeydan ve Wang, 2019). Son zamanlarda ince partikül konsantrasyonlarındaki 10 µg/m³ artışın günlük ölüm hızında %1-3 artışa neden olabileceği belirtilmiştir (Bayraktar ve diğ., 2010).

Yapılan araştırmaya göre, ince partiküllere 24 saat maruziyet sonunda vücutta ihmal edilebilir seviyede yok olduğunu belirlenmiş ve bu durum parçacıkların vücutta tutulduğunu göstermiştir (Möller ve diğ., 2008). Ayrıca ultra ince partiküllerin kan yoluyla başka organlara geçebileceğine veya başka organlara gidebileceğine dair bazı kanıtlar vardır (Akhbarizadeh ve diğ., 2021).

Tütün dumanına maruziyetin dünya çapında önemli bir hastalık ve ölüm nedeni olduğu bilindiği için partiküle maruz kalma çalışmaları tütün dumanı ile de yapılmıştır. Sigara içmeyenlere kıyasla kardiyovasküler hastalığın birçok yönünün ve akciğer kanserlerinin %95'inin sigara içenlerde önemli ölçüde daha büyük bir riske neden olduğu bilinmektedir. Bu, yanma kaynaklı tütün dumanından solunan partiküllerin bir kısmının akciğer ve kan dolaşımında birikme yaparak sağlık sorunlarına neden olduğunu göstermektedir. Çevresel tütün dumanına maruz kalan sigara içmeyenlerin, maruz kalmayan kişilerden daha fazla sağlık sorunları gösterdiği belirtilmiştir (Colbeck ve Lazaridis, 2014b).

Yapılan araştırmalarda, maruziyetten iki gün sonra ultra ince partiküller için önemli etkilerin tespit edildiğini, ancak PM_{2.5} ve PM₁₀ için tutarlı bir etki tespit edilmediğini bildirmiştir (Franck ve diğ., 2011). Ultra ince partiküllerin değil, kaba ve ince partiküllerin çocuklarda astım için hastaneye yatışları tetiklediğini bildirmiştir (Iskandar ve diğ., 2012). Kaba ve ince PM'nin akciğer fonksiyonunu ve solunum yollarının tepkisini etkilediğini, ultra ince PM'nin ise kardiyak fonksiyonu bozabileceğini gösterdiğini bildirmiştir. Bu çalışma, kaba ve ince PM'nin baskın fizyolojik etkilerini solunum yolu birikme bölgesinde gösterdiği hipotezini desteklemiştir (Amatullah ve diğ., 2012).

Partikül maddenin en önemli çevresel etkileri arasında güneş radyasyon dengesini değiştirmeleri ve görüş mesafesini düşürmeleri, güneş ışığını azaltmaları dolayısıyla tarımsal ekosistemi etkilemeleri, hava-su transferi ile sucul ekosistemleri etkilemeleri, uzun mesafe taşınmaları ile deniz ekosistemini etkilemeleri, yüksek konsantrasyonlarda solunuma bağlı şikayetlere yol açması ve çözünür fraksiyondaki ekotoksik ağır metaller dolayısıyla toksite yaratmaları öne çıkmaktadır (Yatkin ve Bayram, 2008).

Parçacıklar sulu ve karasal ekosistemlere kuru ve ıslak çökme yoluyla girerek bitki ve canlıların büyümesini azaltır, kimyasal bileşimi değiştirir ve biyojeokimyasal döngülerle ekosistemlerin yapısını değiştirir (Zeydan ve Wang, 2019). PM'ler, güneş ışığını emerek ve dağıtarak ve bulutların fiziksel ve ışıma özelliklerini değiştirerek küresel iklimi etkilemektedir (Pipal ve Gursumeeran Satsangi, 2015). Bu etkiyle bulut ömrünü ve yağış süreçlerini etkileyebilirler (Bayraktar ve diğ., 2010; Rengarajan ve diğ., 2011; Tiwari ve diğ., 2015).

PM, heykeller ve anıtlar gibi kültürel açıdan önemli yapılar da dâhil olmak üzere taş ve diğer malzemelerde leke oluşturabilmekte ve hasar verebilmektedir (URL-3). Parçacıkları asidik yapan nitrik ve sülfürik asit heykellere, binalara ve diğer insan yapımı yapılara düşerek ve yüzeylerine zarar verebilir. Asidik parçacıklar metali aşındırarak boya ve taşın daha çabuk bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca binaların ve anıt gibi diğer yapıların yüzeylerini de kirletebilirler (URL-4). Atmosferde SO₂ ve NO_x gazları sülfat ve nitrat partiküllerine dönüştürülebilirken, bazı NO_x diğer kirleticilerle de reaksiyona girerek O₃ oluşturmaktadır. Bu parçacıklar ve ozon havayı puslu hale getirir ve içini görmeyi zorlaştırır (URL-4). Çapları 0,1 ile 2,5 um arasında değişen ince parçacıklar, özellikle birikim modunda görünürlük bozulmasına ve ışınlayıcı etkileşimlere baskın olarak katkıda bulunur ve sağlık sorunları söz konusu olduğunda, PM₁₀ ve PM_{2.5} özel ilgi konusudur (Bayraktar ve diğ., 2010).

Mississippi Nehri'nin doğusu ve batısı için ortalama doğal arka plan parçacık konsantrasyonlarına ilişkin yağmur ve bulutların etkileri göz ardı edilerek, doğal görüş koşulları ilgili araştırma yapılmıştır. Tablo 1.5'te listelenen her bir partikül türü için varsayılan yok olma verimleri (partiküllerin saçıldığı ve ışığı absorbe ettiği

verimlilik), kuru partikül yok oluşunu tahmin etmek için partikül konsantrasyonu ile çarpılmaktadır. Sülfatlar, nitratlar ve organikler için kullanılan yok olma verimleri, tipik parçacık boyutu dağılımları ve kimyasal özellikleri varsayan teorik hesaplamalara dayanmaktadır (Malm, 1999).

Tablo 1.5. Partikül türlerinin görünürlük etkileri (Malm, 1999)

	Ortalama kütle konsantrasyonu		Kuru yok olma verimliliği	Görünürlük azaltmaya katkı (%)	
	Doğu	Batı		Doğu	Batı
İnce Partiküller					
Sülfat	0,23 µg/m ³	0,115 µg/m ³	3 m ² /gm	%9-12	%5-5
Organik bileşikler	1,5 µg/m ³	0,5 µg/m ³	3 m ² /gm	%19-38	%10-15
Elementel karbon	0,02 µg/m ³	0,02 µg/m ³	10 m ² /gm	%0,5-1	%1-1
Nitrat	0,1 µg/m ³	0,1 µg/m ³	3 m ² /gm	%4-5	%4-4
Toprak tozu	0,5 µg/m ³	0,5 µg/m ³	1,25 m ² /gm	%2-3	%4-4
Kaba Partikül	3 µg/m ³	3 µg/m ³	0,6 m ² /gm	%6-8	%11-12
Temiz hava	NA	NA	NA	%33-43	%61-64
Görüş alanı	NA	NA	NA	100-130 km	182-193 km

1.1.5. PM ile ilgili yasal düzenlemeler

Partikül madde, İngiliz Temiz Hava Yasası 1956'da yayınlandığından beri kamuoyunda bir endişe haline gelmiştir. Yasa, ölüm oranlarında ve hastaneye kabullerde ciddi bir artışa yol açan literatürde “Londra tipi duman” olarak anılan bir dizi kirlilik olayının (1930 ve 1952) ardından gelmiştir (Saliba ve Massoud, 2011).

1969'da ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), PM'ye, toplam askıda partiküllere (TSP) ve SO₂'e maruz kalmayla ilgili sağlık etkilerine ilişkin önceki çalışmalardan elde edilen bulguları özetleyen Kriterler Belgesi'ni yayınladı. Bu, 1970 yılında ABD'de Temiz Hava Yasasının kurulmasına ve ardından ilk Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartlarına (NAAQS) oluşturulmasına yol açmıştır (Saliba ve Massoud, 2011). 1979 yılında, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) kılavuzunda asılı partikül seviyeleri için bir standart ve ardından ortam partiküllerinin seviyeleri için küresel bir kılavuz belirledi. DSÖ, 20 yıldan daha kısa bir sürede partikül madde ve kükürt dioksit için

güncellenmiş ayrı kılavuzlar yayınladı. Böylelikle, bilim adamları arasında PM seviyelerine ve sağlık etkilerine olan artan ilgi, 1980 ile 2008 arasında yayınlarda neredeyse 5000 kat artışla sonuçlandı (Anderson, 2009; Saliba ve Massoud, 2011).

1.1.5.1. Dünya ülkelerinin PM sınır değerleri

Potansiyel sağlık ve çevre etkilerinden dolayı Avrupa Birliği (AB) ülkelerinin de içinde bulunduğu dünyanın birçok bölgesinde PM konsantrasyonunun sınır değerleri yönetmeliklerle belirlenmiştir (Özdemir ve diğ., 2010; Dursun ve diğ., 2017). Kentsel veya kırsal bölge atmosferinden örneklenip analiz edilen PM konsantrasyonları o ülkede geçerli olan ve uluslararası kabul edilen PM sınır değerleri ile kıyaslanarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda partikül maddelerle ilgili yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Tablo 1.6'da farklı ülkelerin ortam havasında PM₁₀ ve PM_{2.5} için sınır değerleri gösterilmiştir.

Tablo 1.6. Ülkelerin ortam havasında PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyon sınır değerleri

Ülkeler	Sınır Değer		Sınır Değer		Mevcut Standart	Kaynak
	Yıllık max. (µg/m ³)		Günlük max. (µg/m ³)			
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}		
Avustralya	25	8	50	25	Ortam Hava Kalitesi için Ulusal Çevre Koruma Önlemi (Hava NEPM)	(NEPM 1998)
Japonya		15		35	Hava Kirliliği Kontrol Yasası, Çevresel Kalite Standartları	(Act No. 97)
Brezilya*	50		150		Federal CONAMA Karar nu. 003/90	(OG-158)
Hindistan	60	40	100	60	Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartları,	(REGD.NO.D. 2009 L.-33004/99)
Çin	70	35	150	75	Ortam hava kalitesi standardı, GB 3095-2012	(GB 3095-2012)
Meksika	40	12	75	45	Hava Kalitesi Meksika Resmi Standartı,	(NOM-025-NOM-025-SSA1-2014 SSA1-1993)
AB	40	25	50		Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin Avrupa için ortam hava kalitesi ve daha temiz hava hakkındaki 21 Mayıs 2008 tarihli 2008/50 / EC Direktifi.	(OJ-L 152/1)
Birleşik Devletler		12-15**	150	35	Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartları (NAAQS)	(USEPA 2013)
Güney Kore	≤50		≤100		Temiz Hava Koruma Yasası	(Act No. 14532)
Kanada		10		28	Kanada Çevre Hava Kalitesi Standartlarını	(CEPA/FPAC, 1998)
Kaliforniya	20	12	50	-	California Ortam Hava Kalitesi Standardı	(CAAQS, 2016)

*Solunabilir partikül olarak verilmektedir.

**İkincil PM

DSÖ, 1970 yılı sonlarında sağlık etkilerinin gözlemlenebileceği askıda partikül maddeye uzun süreli maruz kalma seviyesinin yaklaşık 150 µg/m³ olduğunu belirtmiştir. 1987'de DSÖ, ortam partikülleri, kükürt dioksit, nitrojen dioksit ve ozon için ilk küresel kılavuzu yayınlamıştır. Partikül madde (yansıtma yöntemi ile siyah

duman olarak ölçülür) ve kükürt dioksit için kılavuzlar ilişkilendirilmiştir. Daha sonra bu kirleticiler için ayrı kılavuzlar yayınlanmıştır (Anderson, 2009). Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenmiş PM sınır değerleri Tablo 1.7’de verilmiştir (WHO, 2005).

Tablo 1.7. Dünya Sağlık Örgütü’nün kabul ettiği PM_{2.5} ve PM₁₀ sınır değerleri (WHO, 2005)

	Yıllık ortalama ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Günlük ortalama ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM _{2.5}	10	25
PM ₁₀	20	50

1.1.5.2. Türkiye’nin PM sınır değerleri

AB aday ülkesi olarak Türkiye, AB Direktiflerinde belirtildiği gibi hava kalitesi standartlarına uyum aşamasındadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, hava kalitesi mevzuatının AB ile uyumlaştırılması için 2019 ve 2024 yıllarında kirletici kriterlerine ulaşılmasını hedeflemektedir (Zeydan ve Wang, 2019). Son yirmi yılda, Türkiye’nin her şehrinde hava kalitesi izleme istasyonları kurulmuştur. Ancak, bu istasyonların çoğu kentsel alanlarda bulunmaktadır ve kırsal alan kapsamı oldukça sınırlıdır. Dahası, eski istasyonlar kirletici olarak yalnızca PM₁₀ (aerodinamik çapı 10 μm 'den küçük Partikül Madde) ve SO₂ ölçümleri yapılmaktadır. Ankara’da bulunan ve Marmara bölgesinde yeni kurulan istasyonlardan sadece birkaçında PM_{2.5} ölçülmektedir (Zeydan ve Wang, 2019). Türkiye’nin diğer bölgelerinde PM_{2.5} kayıtları bulunmamaktadır (Zeydan ve Wang, 2019). Ayrıca ne Türk Hava Kalitesi Mevzuatında ne de Türk Hava Kalite İndeksinde PM_{2.5} için bir standart bulunmamaktadır (Zeydan ve Wang, 2019).

Hava kalitesi standartları konusunda da Türkiye’de 2872 sayılı, 9 Ağustos 1983 kabul tarihli Çevre Kanunu’na dayanılarak 02.11.1986 tarihinde Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (HKKY) uygulamaya konmuştur. Avrupa Birliği uyum sürecinde yapılan çalışmalar neticesinde Çevre ve Orman Bakanlığı Hava Kalitesinin Korunması amacı ile bu yönetmeliği 3 farklı yönetmelik olarak düzenlemiş ve yürürlüğe koymuştur. Bunlar, 13 Ocak 2005 tarih, 25699 sayı ile "Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği", 6 Haziran 2008 tarih ve

26898 sayı ile “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği” (HKDYY) ve 3 Temmuz 2009 tarih, 27277 sayı ile “Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” olarak yayınlanan yönetmeliklerdir.

HKDYY’nde hava kalitesi sınır değerleri, uzun vadeli sınır değerler (UVS) ve kısa vadeli sınır değerler (KVS) olmak üzere iki şekilde tanımlanmaktadır (RG-26898, 2008). UVS, hava kirleticilerin düşük miktarlarının uzun sürede solunmasıyla ortaya çıkan kronik etkiler için verilen üst sınır değerleri göstermektedir ve 1 yıl süre boyunca yapılan ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması olan ve aşılmaması gereken değerdir. KVS ise, kısa sürede hava kirleticilerin yüksek konsantrasyonlarının solunmasıyla ortaya çıkan kısa süreli akut etkiler için belirtilen sınır değerleri göstermektedir ve maksimum günlük ortalama değerler veya istatistik olarak bütün ölçüm sonuçları, sayısal değerlerinin büyüklüğüne göre dizildiğinde, ölçüm sonuçlarının %95’ini aşmaması gereken değerdir. HKDYY’de PM₁₀ konsantrasyonlarının azaltılması için genel stratejiler ve PM₁₀ planı, PM_{2.5} konsantrasyonlarını azaltmayı da hedeflemektedir. HKDYY’ne göre uzun vadeli ve kısa vadeli sınır değerler Tablo 1.8’de ve limit değerler ve bunların alt ve üst değerlendirme eşiği Tablo 1.9’da verilmiştir.

Tablo 1.8. PM uzun ve kısa vadeli sınır değerler (RG-26898, 2008)

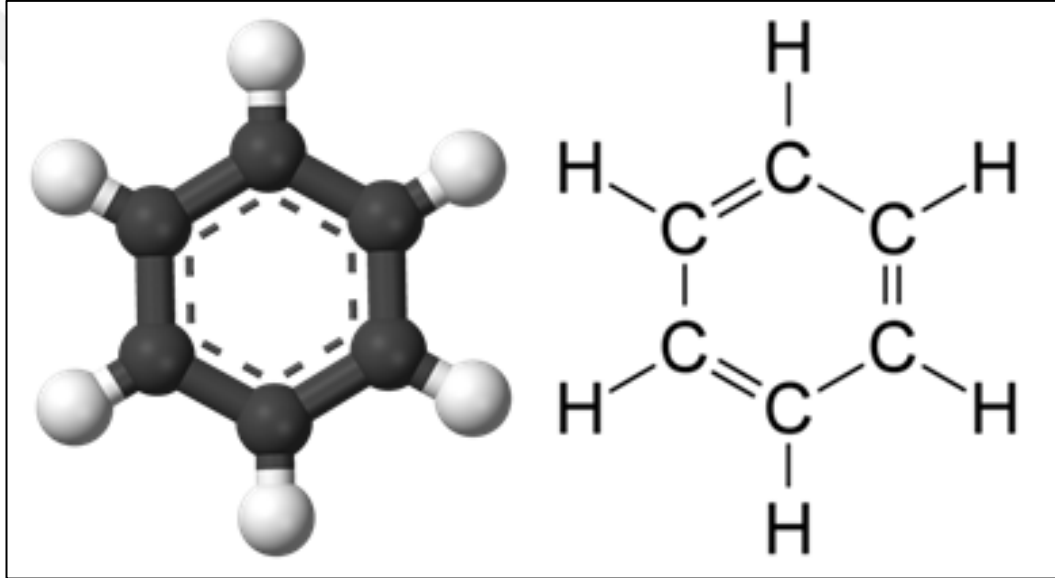
Kirletici	Ortalama süre	Sınır Değer
PM ₁₀	KVS 24 saatlik % 95/yıl	300 µg/m ³
	Kış Sezonu Ortalaması (1 Ekim – 31 Mart)	200 µg/m ³
	UVS yıllık	150 µg/m ³

Tablo 1.9. PM limit değerleri ve değerlendirme eşiği (RG-26898, 2008)

Kirletici	Ortalama Süre	Limit değer	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği
PM ₁₀	24 saatlik	50 µg/m ³ (bir yılda 35 defadan fazla aşılmaz)	30 µg/m ³ (bir yılda 7 defadan fazla aşılmaz)	20 µg/m ³ (bir yılda 7 defadan fazla aşılmaz)
	Yıllık	40 µg/m ³	14 µg/m ³	10 µg/m ³

1.2. Poliaromatik Hidrokarbonlar (PAH)

Kalıcı Organik Kirletici (KOK) grubunda yer alan Çok Halkalı Hidrokarbonlar (PAH) organik maddelerin eksik yanmasıyla atmosfere salınan, iki ya da daha fazla benzen halkasına sahip hidrofobik karakterli ve yarı uçucu organik kirleticilerdir (Khan ve diğ., 2015; Kim ve diğ., 2013; Sulong ve diğ., 2019). Hidrofobik ve bozulmaya karşı dirençli olması nedeniyle uzun menzilli taşınımına maruz kalırlar ve çoğunlukla ince ve ultra ince parçacıklarda emilirler (Sulong ve diğ., 2019). PAH'lar hem gaz hem de partikül fazlarında mevcut olabilir (Chen ve diğ., 2016). PAH'ların genel yapısı Şekil 1.7'de görülmektedir.

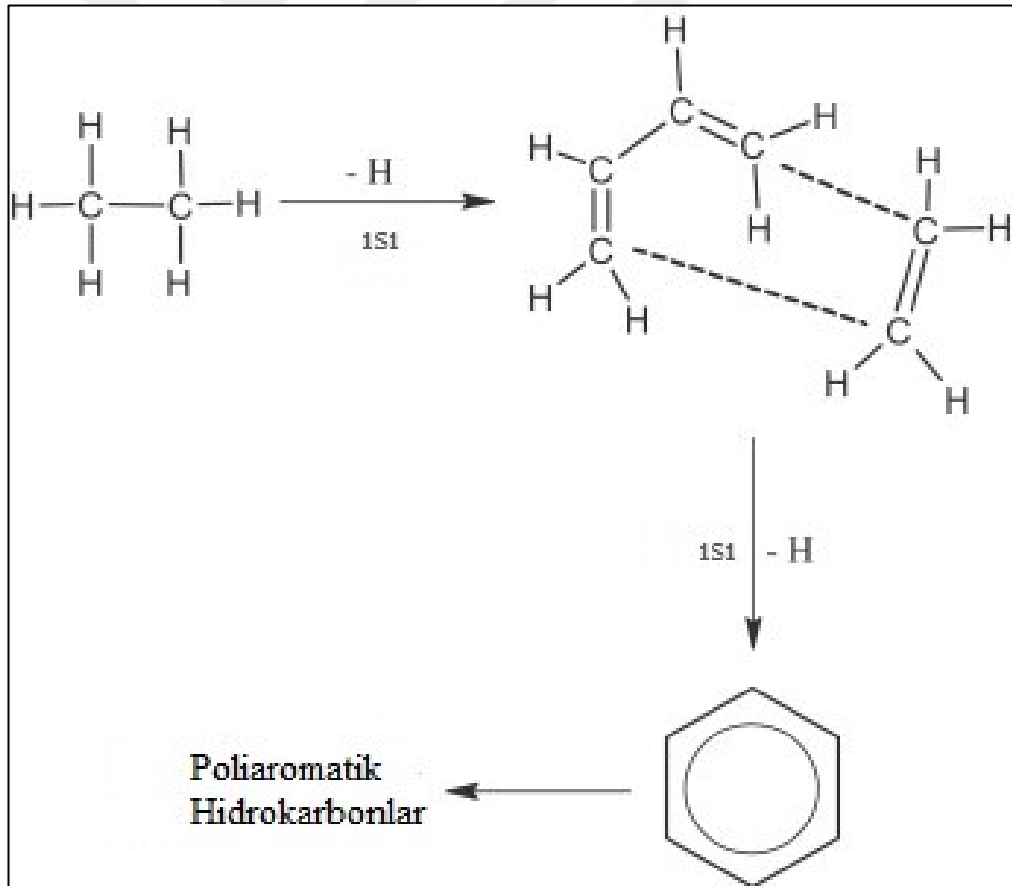


Şekil 1.7. PAH genel yapısı

PAH'ların ortam havasında seviyelerinin değerlendirilmesi, kanserojen ve mutajenik özelliği nedeniyle son yıllarda ilgi odağı haline gelmiştir (Kim ve diğ., 2013; Yan ve diğ., 2019). Toksisiteleri ve geniş dağılımları göz önüne alındığında, 16 PAH bileşiği Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından öncelikli kirleticiler olarak sınıflandırılmıştır (Kalisa ve diğ., 2018). USEPA tarafından önerilen 16 PAH şöyledir: naftalin (Nap), asenafetilen (Acy), asenaften (Ace), antrasen (Ant), fluoren (Flu), fenantren (Phe), Floranten (Flt), piren (Pyr), benzo[a]antrasen (BaA), Chycene (Chy), benzo[b]fluoranten (BbF), benzo[k]fluoranten (BkF), benzo[a]piren (BaP), indeno[123-cd]piren (IcP), dibenzo[ah]antrasen (DahA) ve benzo[ghi]perilen (BgP) (Khan ve diğ., 2015).

1.2.1. PAH'ların oluşumu

PAH'lar, oksijenin eksik olduğu koşullar altında doymuş hidrokarbonlardan sentezlenerek oluşur. Piro-sentez ve piroliz, PAH'ların oluşumunu sağlayan iki ana mekanizmadır. Pirojenik kaynaklar baskın kaynaklar olarak bilinir. Pirojenik kaynaklar arasında petrol türevleri, kömür yanması, doğalgaz ve trafiğe bağlı kirlilik yer alırken, petrojenik kaynaklar petrol ürünlerinin buharlaşması sonucu oluşur (Khan ve diğ., 2015). Düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonlar, pirosentez yoluyla PAH'lar oluşturur. Sıcaklık 500 °C'yi aştığında, karbon-hidrojen ve karbon-karbon bağı kırılarak serbest radikaller oluşur. Bu radikaller, asetilenle birleşerek daha yoğun aromatik halkalar oluşturur ve termal bozunmaya dirençli yapılar meydana gelir. Şekil 1.8, etan ile başlayan bu tür halkaların oluşumunu göstermektedir (Ravindra ve diğ., 2008).



Şekil 1.8. Etan ile başlayan PAH'ların pirosentezi (Ravindra ve diğ., 2008)

PAH oluşumu, yanma sıcaklığı ve basıncı gibi çeşitli faktörlerin yanı sıra hem alifatik hem de aromatik yakıtlar gibi yakıt türleri tarafından etkilenir (Nagato,

2018). Hidrokarbonların pirosentez yoluyla PAH yapısı oluşturma eğilimi aromatikler> sikloolefinler> olefinler> parafinler sırasına göre değişmektedir (Ravindra ve diğ., 2008). Halkalı bileşiklerin mevcut halka yapısı, PAH oluşumuna elverişlidir. Doymamış bileşikler özellikle PAH oluşumunda yer alan reaksiyonlara karşı hassastır. Yakıtlarda ve bitki materyalinde bulunan daha yüksek alkanlar, piroliz işlemi, yani organik bileşiklerin kırılmasıyla PAH'lar oluşturmaktadır (Ravindra ve diğ., 2008).

PAH yalnızca yüksek sıcaklık ve açık alevlerde oluşmaz. Çeşitli karbonizasyon süreçleri (örneğin, madeni yağ ve kömür üretimi sırasında), milyonlarca yıllık bir süre boyunca düşük sıcaklıklarda (200 °C'nin altında) ve yüksek basınçta biyolojik materyalin çürütmesiyle PAH oluşumuna yol açar (Bjørseth ve Ramdahl, 1985). Dönüşümler pirolize benzer, ancak reaksiyonlar, düşük sıcaklıklar nedeniyle son derece yavaştır (Bjørseth ve Ramdahl, 1985).

1.2.2. PAH'ların kaynakları

Doğal kaynaklar atmosferdeki PAH konsantrasyonlarına önemli katkı sağlamalarına rağmen antropojenik kaynaklar baskındır ve hava kirliliği için daha büyük bir öneme sahiptir (Bjørseth ve Ramdahl, 1985). Antropojenik kaynakların baskın olması yoğun nüfuslu ve sanayileşmiş alanların PAH'lar tarafından ciddi şekilde kirlenmesine neden olur (Liu ve diğ., 2014). Bazı PAH'lar yanardağ patlamaları ve orman yangınları (Sulong ve diğ., 2019) gibi doğal işlemlerden oluşmuş olsa da, havadaki PAH'lar esas olarak endüstriyel ve evsel kömür yanması, kok üretimi, motorlu taşıt emisyonu, petrol rafinajı (Khan ve diğ., 2015) ve biyokütle yakması gibi antropojenik faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Chen ve diğ., 2016; Yan ve diğ., 2019). Fluoranten, piren, benzo[a]antrasen, krisen, benzoflorantenler, benzo[a]piren, indeno[123-cd]piren ve benzo[ghi]perilen CPAH'lar (yanma PAH'ları) olarak ifade edilir (Andreou ve Rapsomanikis, 2009).

Tablo 1.10'da, sabit ve hareketli kaynaklar olmak üzere iki kategoriye ayrılmış ana kaynaklar verilmiştir. Sabit kaynaklar arasında endüstriyel kaynaklar, güç ve ısı üretimi, konut ısıtması, yakma ve açık yanma bulunur. İkinci kategori, benzin motorlu otomobilleri, dizel motorlu otomobilleri, kamyonları, uçakları ve deniz trafiğini içeren hareketli kaynaklardır. Tüm işlemlerde organik malzeme yakılır veya

güçlü bir şekilde ısıtılır ve çoğu durumda PAH emisyonlarına neden olur (Bjørseth ve Ramdahl, 1985).

Tablo 1.10. PAH kaynakları (Bjørseth ve Ramdahl, 1985)

Sabit Kaynaklar			
Konut ısıtması	Endüstri	Güç ve ısı üretimi	Atık yakma ve yanma
<ul style="list-style-type: none"> fırınlar, şömineler ve sobalar (odun ve kömür) 	<ul style="list-style-type: none"> kok üretimi karbon siyahı üretimi petrol katalitik parçalanma asfalt üretimi alüminyum eritme demir ve çelik sinterleme demirli önalaşım endüstrisi 	<ul style="list-style-type: none"> kömür ve petrole çalışan elektrik santralleri odun ve turba yakıtlı enerji santralleri endüstriyel ve ticari kazanlar 	<ul style="list-style-type: none"> belediye ve endüstriyel yakma tesisleri çöp Yakma orman yangınları yapısal yangınlar tarımsal yanma
Hareketli Kaynaklar			
<ul style="list-style-type: none"> benzin motorlu otomobiller dizel motorlu otomobiller kauçuk lastik aşınması uçaklar deniz trafiği 			

Havadaki PM ile ilişkili PAH'ların karmaşık kaynakları vardır, çünkü hem partiküllerle kojenerasyondan hem de gaz PAH'ların adsorpsiyonundan türetilirler (Wang ve diğ., 2016). Kentsel, endüstriyel-kentsel ve yarı kentsel alanlarda, motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, ortam havasındaki PAH'ların ana kaynağı olarak kabul edilmektedir (Khan ve diğ., 2015). Ayrıca, kentsel ve endüstriyel ortam havasında, PAH'lar köken olarak neredeyse tamamen antropojeniktir (Zhang ve diğ., 2016). Liman şehirlerindeki atmosferik PAH'ların

başlıca kaynaklarının, nakliye, araç egzozları, endüstriyel emisyonlar, petrol ve gazla ilgili faaliyetler, tütün dumanı ve atık yakma olduğu kabul edilir (Akhbarizadeh ve diğ., 2021). Yol tozunun, BaP, IcP, Chy ve Pyr gibi PAH'ları içerdiği ve çeşitli kaynakların (yol yüzeyleri, egzoz boruları, yağ ve yakıt, lastikler ve inşaat malzemeleri) karışımından kaynaklanan ince parçacıkların yaklaşık %8'ine katkıda bulunduğu bilinmektedir (Murillo ve diğ., 2017).

PAH'ların fotolize uğraması kaynak tanımlama için bir engeldir. Ayrıca, PM kaynaklarının hava koşullarına göre değiştiği bildirildiği için, PM ile ilişkili PAH kaynakları hava koşullarından etkilenebilir (Wang ve diğ., 2016). Evsel ısıtma ve yakıt tüketimi gibi antropojenik kaynakların daha yüksek etkisi, soğuk mevsimde partikül PAH konsantrasyonlarında bir artışa katkıda bulunur (Callén ve diğ., 2014).

1.2.3. PAH'ların fiziksel ve kimyasal özellikleri

PAH'lar, en az iki yoğunlaştırılmış aromatik halka yapısında gruplanan karbon ve hidrojen atomlarından oluşan organik maddelerdir. PAH'lar saf halde ortam sıcaklığında genellikle renkli, kristal yapılı katı maddelerdir. PAH'ların yüksek uçuculukları, düşük çözünürlükleri, rüzgârla uzun mesafelere kolayca taşınabilmeleri genellikle düşük konsantrasyonlarda olmalarına rağmen onları güçlü kirleticiler yapar (Barrado ve diğ., 2012). 16 öncelikli PAH bileşiğinin fizikokimyasal özellikleri Tablo 1.11'de verilmiştir (Nisbet ve Lagoy, 1992).

PAH'ların fiziksel özellikleri moleküler ağırlıklarına ve yapılarına göre değişir. Molekül ağırlıklarına göre üç gruba ayrılır: Düşük moleküler ağırlıklı (LMW, iki ve üç halkalı PAH'lar), orta moleküler ağırlıklı (MMW, dört halkalı PAH'lar) ve yüksek moleküler ağırlıklı (HMW, beş ve altı halkalı PAH'lar) (Kim ve diğ., 2013). PAH'ların buhar basıncı, moleküler ağırlığı arttıkça azalmaktadır. Ayrıca moleküler ağırlık arttıkça, PAH'ların kanserojenliği de akut toksisiteyi azaltarak artmaktadır. PAH'ların kuru çökme hızı genellikle artan moleküler ağırlığı ile azalmaktadır (Odabasi ve diğ., 2015). Oktanol-su ayrılma katsayısı (K_{ow}), bir organik kimyasalın sudan yağa geçme potansiyelini açıklar. Organik karbon ayrılma katsayısı (K_{oc}), kimyasalın topraktaki ve tortudaki organik karbona bağlanma potansiyelini göstermektedir. Log K_{ow} ve log K_{oc} değerleri, artan PAH halkalarının sayısı ile artmaktadır (ATSDR, 1995). Oktanol-su ayrılma katsayıları (K_{ow}) ile ölçüldüğü

üzere lipofilikliği yüksektir ve bu nedenle organik çözücülerde kolaylıkla çözünmektedir. Hidrofobik doğası gereği ve her ilave aromatik halka yapısı ile artan moleküler ağırlığına bağlı sudaki çözünürlüğü azalmaktadır (Kim ve diğ., 2013).

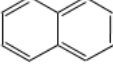
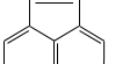
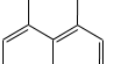
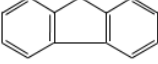
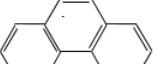
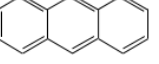
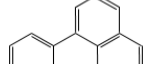
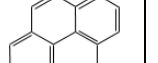
Çözünen bir maddenin hava ile organik madde arasında dağılımını tanımlamak için kullanılan oktanol-hava ayrılma katsayıları (K_{OA}) PAH'lar için yüksek olduğundan kalıcılıkları ve uzun menzilli taşıma kapasiteleri yüksektir (Odabasi ve diğ., 2015). Daha aromatik halkalar içeren PAH'lar için K_{OA} değerleri toprak, bitki örtüsü ve aerosol partiküllerinin organik kısmı gibi ortamlarda organik fazda bulunma eğilimindedir (Wu, 2006).

Henry sabiti, dengede havadaki ve sudaki kimyasal konsantrasyon oranını göstermektedir. Bu dağılım katsayısı, bileşiklerin buharlaşmasının bir ölçüsü olarak kullanılır. Düşük moleküler ağırlıklara sahip PAH'lar için Henry sabitleri, yüksek moleküler ağırlıklı PAH'lardan daha büyüktür (ATSDR, 1995).

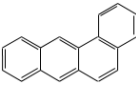
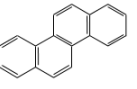
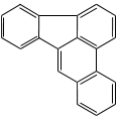
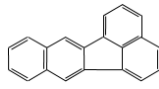
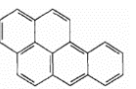
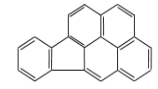
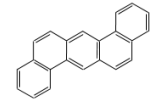
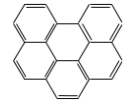
PAH'lar yarı uçucu organik bileşikler (SVOC'ler) olduklarından, ortam havasında hem gaz hem de partikül fazında bulunurlar (Sulong ve diğ., 2019). PAH, atmosfere gaz fazında salınır ve kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak partikül maddeye adsorbe olmaktadır (Callén ve diğ., 2014). HMW PAH'ların düşük buhar basıncına sahip olduğundan, partiküllerde LMW PAH'lardan daha fazla tutulurlar (Chen ve diğ., 2016). 2-4 aromatik halkalı atmosferik PAH'lara göre partikül ve gaz fazı arasında bölünürken, daha fazla (4-6) aromatik halkadan oluşan yüksek moleküler ağırlığa sahip olanlar esas olarak partikül fazlarında bulunmaktadır (Akyüz ve Çabuk, 2008; Murillo ve diğ., 2017; Sulong ve diğ., 2019). Yüksek uçuculuğa sahip olan LMW PAH'lar, partikül maddede düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Wang ve diğ., 2014).

Çeşitli PAH türleri hidrofobiktir ve bozunmaya dirençlidir, bu nedenle uzun menzilli taşınmaya neden olurlar ve çoğunlukla ince ve ultra ince parçacıklar tarafından adsorbe olurlar (Sulong ve diğ., 2019). Yazın yüksek sıcaklık, LMW PAH'ların yerel kaynaklardan buharlaşmasını kolaylaştırabilir ve bu daha sonra atmosferik parçacıklar tarafından emilir ve bu da yazın partikül maddede yüksek konsantrasyona neden olur (Wang ve diğ., 2016).

Tablo 1.11. 16 öncelikli PAH bileşiğinin fizikokimyasal özellikleri (Nisbet ve Lagoy, 1992; Alver ve diğ., 2012)

PAH bileşikleri	Naftalin	Asenaftilen	Asenaften	Floren	Fenantren	Antrasen	Floranten	Piren
Kısaltma	Nap	Acy	Ace	Fl	Phe	Ant	Flt	Pyr
Formül	C ₁₀ H ₈	C ₁₂ H ₁₀	C ₁₂ H ₁₀	C ₁₃ H ₁₀	C ₁₄ H ₁₀	C ₁₄ H ₁₀	C ₁₆ H ₁₀	C ₁₆ H ₁₀
CAS numarası	91-20-3	208-96-8	83-32-9	86-73-7	85-01-8	120-12-7	206-44-0	129-00-0
Moleküler ağırlık (g/mol)	128	152	154	166	178	178	202	202
Halka sayısı	2	3	3	3	3	3	4	4
MA grupları	LMW	LMW	LMW	LMW	LMW	LMW	MMW	MMW
Renk	-	-	Beyaz	Beyaz	Renksiz	Renksiz	Mat sarı	Renksiz
Erime Noktası (°C)	80,2	92-93	95	116-117	100	218	109	156
Kaynama Noktası (°C)	217,9	265-275	96,2	295	340	342	375	393-404
Yoğunluk (g/cm ³)	-	-	1,225	1,203	0,98	1,283	1,252	1,271
Suda Çözünürlük (mg/L)	31	3,93	1,93	1,98	1,2	0,076	2,0-2,6	0,077
Buhar basıncı (Pa, 25 °C)	11,14	3,87	3,07	1,66	1,06 × 10 ⁻¹	8,6 × 10 ⁻⁴	8,61 × 10 ⁻⁴	5,0 × 10 ⁻⁵
LogK _{ow}	3,3	4,07	3,98	4,18	4,45	4,45	4,9	4,88
LogK _{oc}	-	1,4	3,66	3,86	4,15	4,15	4,58	4,58
Henry Sabiti (atm.m ³ /mol)	0,44	1,45x10 ⁻³	7,91x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴	2,56x10 ⁻⁵	1,77x10 ⁻⁵	6,5x10 ⁻⁶	1,14x10 ⁻⁵
TEF	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,001	0,001
Yapısı								

Tablo 1.11 (Devam) 16 öncelikli PAH bileşiğinin fizikokimyasal özellikleri (Nisbet ve Lagoy, 1992; Alver ve diğ., 2012)

PAH bileşikleri	Benzo[a]antrasen	Krisen	Benzo[b]Floranten	Benzo[k]Floranten	Benzo[a]piren	Indeno[123-cd]piren	Dibenzo[ah]antrasen	Benzo[ghi]perilen
Kısaltma	BaA	Chy	BbF	BkF	BaP	IcP	DahA	BgP
Formül	C ₁₈ H ₁₂	C ₁₈ H ₁₂	C ₂₀ H ₁₂	C ₂₀ H ₁₂	C ₁₈ H ₁₂	C ₂₂ H ₁₂	C ₂₂ H ₁₂	C ₂₂ H ₁₂
CAS numarası	56-55-3	218-01-9	205-99-2	207-08-9	50-32-8	193-39-5	3-70-3	191-24-2
Moleküler ağırlık (g/mol)	228	228	252	252	252	276	278	276
Halka sayısı	4	4	5	5	5	6	5	6
MA grupları	MMW	MMW	HMW	HMW	HMW	HMW	HMW	HMW
Renk	Renksiz	Renksiz	Renksiz	Mat sarı	Mat sarı	Sarı	Renksiz	Mat sarı
Erime Noktası (°C)	159-162	255-256	168,3	215,7	179	163,6	262	273
Kaynama Noktası (°C)	400	448	481	480	495	530	-	550
Yoğunluk (g/cm³)	1,274	1,274	-	-	1,351	-	1,282	1,329
Suda Çözünürlük (mg/L)	0,01	2,8 x 10 ⁻³	1,2 x 10 ⁻³	7,6 x 10 ⁻⁴	2,3 x 10 ⁻³	0,062	5 x 10 ⁻⁴	2,6 x 10 ⁻⁴
Buhar basıncı (Pa, 25 °C)	5,43 x 10 ⁻⁴	4,0 x 10 ⁻⁶	5,0 x 10 ⁻⁷	5,2 x 10 ⁻⁸	6,0 x 10 ⁻⁸	1,27 x 10 ⁻⁷	1,33 x 10 ⁻⁸	1,38 x 10 ⁻⁸
LogKow	5,61	5,16	6,04	6,06	6,06	6,58	6,84	6,5
LogKoc	5,3	5,3	5,74	5,74	6,74	6,22	6,52	6,2
Henry Sabiti (atm.m³/mol)	1x10 ⁻⁶	1,05x10 ⁻⁶	1,22x10 ⁻⁵	3,87x10 ⁻⁵	4,9x10 ⁻⁷	6,95x10 ⁻⁸	7,3x10 ⁻⁸	1,44x10 ⁻⁷
TEF	0,1	0,01	0,1	0,1	1	5	0,1	0,01
Yapısı								

1.2.4. Gaz/Partikül dağılımı

Ortam havasındaki gaz/partikül dağılımlarının doğrudan belirlenmesi deneysel olarak zordur (Venkataraman ve diğ., 1999). PAH gibi yarı uçucu organik bileşiklerin gaz/partikül dağılımı, adsorpsiyon veya absorpsiyondan kaynaklanan bir denge süreci olarak veya dinamik bir kütle transfer prosesi olarak değerlendirilir (Venkataraman ve diğ., 1999).

Partikül dağılım katsayısı Denklem (1.1) ile tanımlanır (Venkataraman ve diğ., 1999).

$$K_p = \frac{(F/TSP)}{A} \quad (1.1)$$

Burada;

F: Partikül fazı konsantrasyon (ng/m^3)

A: Gaz fazı konsantrasyon (ng/m^3)

TSP: Toplam partikül madde konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Dağılım adsorpsiyon teorisine dayanıyorsa bu Denklem (1.2) şeklinde tanımlanır (Venkataraman ve diğ., 1999).

$$K_p = \frac{N_s A_{PM} T e^{(Q_1 - Q_v)/RT}}{1600 P_L^0} \quad (1.2)$$

Burada;

N_s : Adsorpsiyon bölgesinin alan yoğunluğu (mol/cm^2)

A_{PM} : Partikülün spesifik yüzölçümü ($\text{cm}^2/\mu\text{g}$)

T: Mutlak ortam sıcaklığı (K)

R: İdeal gaz sabiti ($8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ}/\text{K}\cdot\text{mol}$)

Q_1 : PAH'ın partikül yüzeyinden desorpsiyonunun entalpisi (kJ/mol)

Q_v : Buharlaştırma entalpisi (kJ/mol)

P_L^0 : Aşırı soğutulmuş sıvı buhar basıncıdır (Pa veya Torr).

Dağılım absorpsiyon teorisi ile gerçekleşiyor ise Denklem (1.3) şeklinde tanımlanır (Andreou ve Rapsomanikis, 2009).

$$K_p = \frac{f_{om}RT}{MW_{om}\zeta P_L^0 10^6} \quad (1.3)$$

Burada;

f_{om} : PM'de absorpsiyon organik madde kütle fraksiyonu

ζ : Organik madde içinde absorblanan YUOB'un aktivite katsayısı

MW_{om} : Absorpsiyon organik madde ortalama moleküler ağırlığı (g/mol)

1.2.5. PAH sağlık etkileri

Solunan hava insan sağlığı üzerine doğrudan etkisi nedeniyle en önemli faktördür. Havanın içerisinde bulunan kirletici konsantrasyonları günde yaklaşık 20 m³ hava soluyan insan için hayati öneme sahiptir (Karakavuz ve Yıldırım, 2017). Atmosferik hava kirleticileri düşük konsantrasyonlarda olsada uzun süreli maruz kalmadan dolayı riski artarak sağlık açısından endişe oluşturmaktadır. Her yıl tüm dünyada hava kirliliğine maruz kalmanın solunum sistemine zarar vermesinin bir sonucu olarak iki milyondan fazla ölüm meydana gelmektedir (Miri ve diğ., 2018). PAH'lar potansiyel toksik, kanserojen ve mutajenik etkilerinden dolayı maruziyetleri endişe oluşturmaktadır (Sulong ve diğ., 2019).

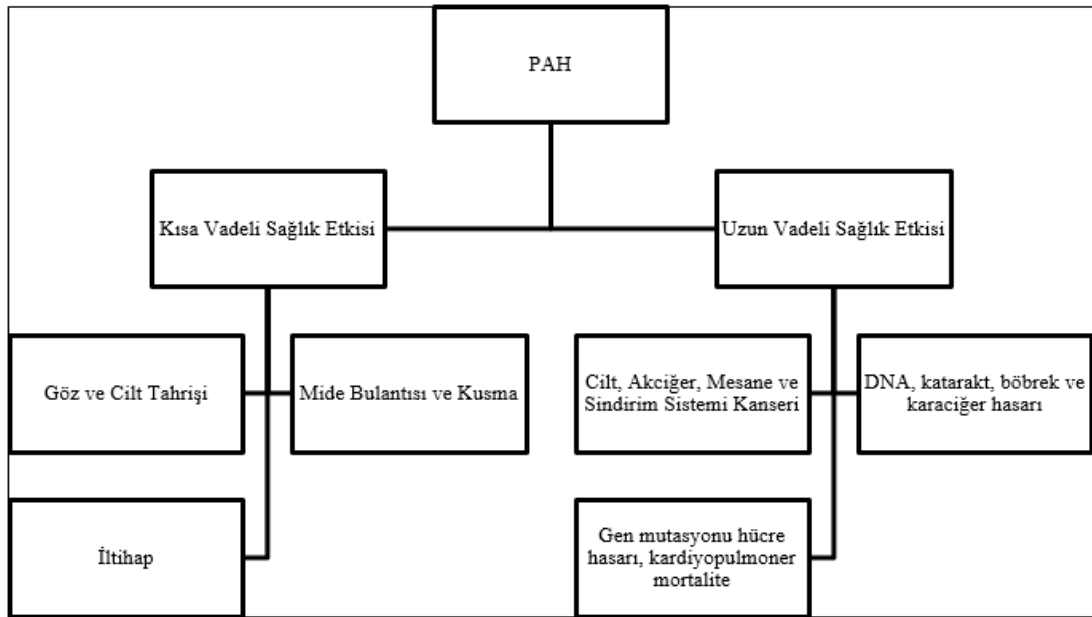
USEPA'ya göre, 16 öncelikli PAH'dan yedisi BaA, BbF, BkF, BaP, Chy, DahA ve Icp dahil olmak üzere potansiyel olarak kanserojendir (CANPAH'lar) (Andreou ve Rapsomanikis, 2009; Khan ve diğ., 2015; Yan ve diğ., 2019). Bu yedi PAH kirleticisi fizikokimyasal özelliklerinden dolayı atmosferde gaz fazından çok partikül fazında bulunmaktadır (Wang ve diğ., 2016). Bu sebeple atmosferdeki PAH kirleticilerinden kaynaklı kanserojen risk tahminlerinde partikül fazında PAH'lar göz önünde bulundurulmalıdır. İki veya üç halkaya sahip düşük moleküler ağırlıklı PAH'ların genellikle toksik ancak kanserojen olmadığı bilinmektedir. Toksik Madde ve Hastalık Kayıt Ajansı (ATSDR), Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) ve ABD Çevre Koruma Ajansının (USEPA) bazı PAH bileşikleri için kanserojen

sınıflandırmaları Tablo 1.12’de yer almaktadır (ATSDR, 1995; IARC, 2010; USEPA, 2008).

Tablo 1.12. PAH'ların kanserojen sınıflandırması (ATSDR, 1995; IARC, 2010; USEPA, 2008)

Ajans	PAH bileşiği / bileşikleri	Kanserojen sınıflandırma
Toksik Madde ve Hastalık Kayıt Ajansı (ATSDR)	Benzo[a]antrasen Benzo[b]floranten Benzo[a]piren Dibenz[ah]antrasen Indeno[123-cd]piren	Bilinen hayvan kanserojenleri
	Benzo[a]antrasen Benzo[a]piren	Muhtemel insan kanserojenleri
Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC)	Benzo[a]antrasen Benzo[a]piren Dibenzo[ah]antrasen	2A: Muhtemel insan kanserojenleri
	Benzo[a]floranten, Benzo[k]Floranthene Indeno[1233-cd]piren	2B: Kanserojen olması olası
	Benzo[ghi]perilen Krisen Floranten Floren Fenantren Piren Antrasen	3: Sınıflandırılmamış
ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA)	Benzo[a]antrasen Benzo[a]piren Benzo[b]floranten Benzo[k]Floranthene Krisen Dibenz[ah]antrasen Indeno[123-cd]piren	Muhtemel insan kanserojenleri
	Asenaftilen Antrasen Benzo[ghi]perilen Floranten	İnsan kanserojenliğine göre sınıflandırılmayan

İnsan sağlığı ile PM_{2.5}'e bağlı PAH'lar arasındaki ilişkiye olan ilgi son yıllarda önemli ölçüde artmaktadır (Wang ve diğ., 2014). Yüksek moleküler ağırlıklı PAH'lar sudaki düşük çözünürlüğü ve düşük buhar basıncı nedeniyle kolayca partikül maddeye (PM) emilir (Khan ve diğ., 2015) ve PAH'ların, özellikle partikül bağlı PAH'ların vücuda alımı, akciğer ve cilt kanseri gibi insanlarda ciddi sağlık riskleri oluşturur (Yan ve diğ., 2019). Epidemiyolojik çalışmalar, ince partiküllere maruz kalma (PM_{2.5}) ile akciğer kanseri dahil olmak üzere solunum yolu hastalıklarının insidansı (veya bunlardan kaynaklanan ölüm oranı) arasında güçlü bir bağlantı olduğunu göstermektedir. PAH'lar, işyerinde ve ortam havasında sigara içen veya PAH'a maruz kalan kişilerde yüksek seviyelerde DNA katılımları (PAH-DNA katılımları) ve P53 mutasyonları ile ilişkilendirilmiştir. Havadaki PAH'ların insan üreme etkileri, yenidoğanlarda PAH, DNA eklentileri ve erken doğum gibi etkilerde önemli rol oynadığı belirlenmiştir (Zhang ve diğ., 2016). PAH'lar ayrıca kanserojen olmayan etkileri, yani intrauterin büyüme kısıtlılığı, bronşit, astım ve astım benzeri semptomlar ve ölümcül iskemik kalp hastalığı nedeniyle de büyük endişe kaynağıdır (Khan ve diğ., 2015). Solunumun atmosferde PAH'lara maruz kalmada ilk yol olduğu düşünülse de, dermal temasında özellikle 5700 cm² cilt yüzey alanına sahip yetişkinler için de göz ardı edilmemesi gereken bir maruziyet yoludur (Civan ve Kara, 2016; Zhang ve diğ., 2016). PAH'lara maruz kalmanın kısa ve uzun vadeli sağlık etkileri Şekil 1.9'da gösterilmiştir (Kim ve diğ., 2013).



Şekil 1.9. PAH sağlık etkileri (Kim ve diğ., 2013)

Benzo[a]piren, bilinen en önemli kanserojen bileşiktir ve bu nedenle 2004/107/EC sayılı Direktifinde PAH maruziyetinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Genel olarak, BaP, DahA gibi en kanserojen PAH, çoğunlukla PM_{2.5}'e bağlanır (Callén ve diğ., 2014).

BaP, Chy, IcP ve BbF gibi birkaç bireysel PAH'ın hayvanlarda kanserojen, mutajenik ve genotoksik etkiler oluşturduğu görülmüştür (Zhang ve diğ., 2016). Ayrıca, soya fasulyesi gibi tarımsal ürünlerdeki PAH'ların çevresel maruziyetten dolayı biyoakümülyasyona uğradığı belirlenmiştir (Sulong ve diğ., 2019).

1.2.6. PAH'ların atmosferik taşınımı

PAH'ların atmosferik ve doğal yüzeyler (toprak, su, bitki örtüsü) arasında transferi, karmaşık fiziko-kimyasal reaksiyonlara, diğer kirleticilerle etkileşimlere, fotokimyasal dönüşümlere ve kuru ve ıslak çökelmeye bağlıdır (Odabasi ve diğ., 2015). PAH'lar, atmosfere gaz fazında salınır ve atmosferik koşullara (ortam sıcaklığı, bağıl nem, vb.), aerosolün doğasına (kökeni ve özellikleri) ve tek tek PAH'ların özelliklerine bağlı olarak partikül maddede adsorplanır veya absorbe olur. Partikül maddelerin uzun mesafeli taşınımı göz önüne alındığında PAH'lar oluştuğu yerleri değil uzun mesafeli taşınmayla uzak bölgeleride etkiler (Callén ve diğ., 2014). Kuzey Kutbu ve okyanuslarda yapılan çalışmaların raporları, antropojenik faaliyetlerden uzak bazı el değmemiş alanların, hava kütle hareketi yoluyla PAH kirliliğinden etkilendiği kanıtlamıştır (Liu ve diğ., 2014). Genel olarak, düşük molekül ağırlıklı PAH'lar (yani iki, üç veya dört halkalı) daha uçucudur (düşük yoğunlaşma sıcaklıklarıyla) ve esas olarak gaz fazında bulunurlar. Daha hafif PAH bileşiklerinin daha az toksik olduğu düşünülse de, diğer kirleticilerle (ozon, nitrojen oksitler ve sülfür dioksit gibi) reaksiyona girerek sırasıyla toksisitesi daha önemli olabilecek diyonlar, nitro- ve dinitro-PAH'lar ve sülfürik asitler oluşturabilirler (Barrado ve diğ., 2012; Kim ve diğ., 2013). PAH'ların ve OH-PAH'ların neden olduğu kirlilik sıcaklık, güneş radyasyonu ve O₃ azaldıkça artar. Bu faktörler her zaman bu toksik bileşiklerin seviyeleri ile ters orantılıdır (Barrado ve diğ., 2012). Dört veya daha fazla halkalı PAH'lar, tüm çevresel koşullar altında az oranda buharlaşma olur. Bu nedenle, yüksek molekül ağırlıklı PAH'ların çoğu, düşük

buhar basınçlarından dolayı atmosferdeki partikül fazında baskındır (Barrado ve diğ., 2012; Kim ve diğ., 2013).

Havadaki toz miktarı ile partikül fazındaki PAH konsantrasyonları arasında da önemli bir korelasyon vardır. Bu nedenle, gaz fazındaki PAH konsantrasyonları yazın veya genel olarak tropikal bölgelerde artarken, partikül fazlı PAH'lar kışın veya genel olarak Arktik bölgelerde baskındır. PAH'ların partikül fazlarına adsorpsiyonu da nemden etkilenebilir. Ayrıca, PAH adsorpsiyonu aynı zamanda asılı partiküllerin türlerine de (is, toz, uçucu kül, pirojenik metal oksitler, polenler vb.) bağlıdır (Kim ve diğ., 2013).

Dünya yüzeyinden buharlaşma yoluyla atmosfere taşınan organik maddeler veya insan faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar, daha sonra uzun mesafelerde hava kütleleri ile taşınabilir. Bulutlardaki su bu maddelerle doyurulur ve yağış yüzey suyunu ve toprağı kirletir, bazen emisyonlar kaynaklarından çok uzaktadır. PAH'ların atmosferden uzaklaştırılması, partiküllerin ve gazların kuru veya ıslak çökmesiyle gerçekleştirilebilir. PAH'ların atmosferden kuru veya ıslak çökmesi, partikül bileşiklerinin uzaklaştırılmasında etkilidir ve bunların fiziko-kimyasal özelliklerine (suda çözünürlük, Henry sabiti, buhar basıncı), gazdan partiküle dönüşümüne ve meteorolojik parametrelerine (yağmur, yoğunluk ve sıcaklık) bağlıdır. Genel olarak, gaz fazında bulunan PAH'lar bulutların içinde ve yağmur damlalarında çözülür, oysa partiküllere bağlanan PAH'lar çökme ile atmosferden yıkanır. Kuru çökme, büyük partiküllere adsorbe edilmiş PAH'ların doğrudan çökmesinden kaynaklanmakta ve bu mekanizma büyük ölçüde bu partiküllerin boyutuna bağlıdır (Ravindra ve diğ., 2008).

Dünyanın bazı büyük şehirlerinde partikül PAH seviyelerini ve mevsimsel eğilimlerini incelendiğinde, kış mevsiminde nispeten daha yüksek konsantrasyonların meydana geldiğini bulunmuştur. Kışın daha yüksek konsantrasyonlar, büyük olasılıkla (a) dikey dağılımın azalmasına; (b) daha düşük karıştırma mesafesinin oluşması ve daha az yoğun atmosferik reaksiyonlar; (c) düşük sıcaklıkta partiküllere daha az emilme; ve (d) düşük sıcaklıklarda kış aylarında evsel ısıtma ve enerji santrallerinden kaynaklanan artan emisyonlara bağlıdır (Ravindra ve diğ., 2008). Kışın atmosferik karışım yüksekliğinin düşmesi ve güneş ışığı

yoğunluğunun azalması, atmosferdeki PAH bileşiklerinin seyrelme oranlarının düşmesine ve kirleticilerin şehir üzerinde daha küçük bir hacimde birikmesine neden olur (Gaga ve diğ., 2012).

1.2.7. PAH'ların sınır değerleri

PAH'ların karsinojenik riski için bir işaret olarak BaP kullanılmaktadır (Andreou ve Rapsomanikis, 2009). AB 2004/107/EC direktifinde PM₁₀'da yıllık BaP için belirtilen sınır değeri 1 ng/m³tür (OJ-L 23/3, 2004).

DSÖ, PAH için sınır değerler yerine birim risk değeri önermektedir. Kok fırınları ve kentsel havadaki yanma süreçlerinden kaynaklanan genel PAH karışımlarının bir indeksi olarak BaP ve kok fırını emisyonlarında bildirilen benzene çözünür %0,71 BaP değeri kullanılarak 1 ng/m³ için $8,7 \times 10^{-5}$ ömür boyu solunum kanseri riski hesaplanmıştır. Kok fırını işçilerinde yapılan çalışmalardan elde edilen epidemiyolojik verilere dayanarak, hava bileşeninde bir gösterge olarak BaP için bir birim risk, 1987'de DSÖ tarafından 1 ng/m³ için $8,7 \times 10^{-5}$ olarak kabul edilmiştir. 1,2, 0,12 ve 0,012 ng/m³ BaP konsantrasyonları için aşırı yaşam boyu kanser riski sırasıyla 1/10000, 1/100000 ve 1/1000000'dir. Avrupa'nın kentsel alanlarında mevcut yıllık ortalama BaP konsantrasyon aralığı 1-10 ng/m³ ve kırsal alanlarda, konsantrasyonlar <1 ng/m³tür (WHO, 2000).

Ülkemizde BaP için hedef değerinin verildiği Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (HKDYY) AB'nin 96/62/EC, 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC sayılı direktiflerine paralel hazırlanmıştır. Yönetmelikte "Hedef Değer", çevre ve/veya insan sağlığı üzerindeki uzun dönemli zararlı etkilerden kaçınmak, bunları önlemek veya azaltmak amacıyla belirlenen ve öngörülen süre sonunda mümkün olan yerlerde ulaşılması gereken seviyeyi belirtir. HKDYY Ek I'de BaP için verilen hedef değer ve değerlendirme eşiği bilgileri Tablo 1.13'te verilmiştir (RG-26898, 2008).

Tablo 1.13. BaP hedef değerleri ve değerlendirme eşikleri

Kirleticisi	Hedef değer (a)	Hedef değer yüzdesi olarak üst değerlendirme eşiği	Hedef değer yüzdesi olarak alt değerlendirme eşiği	Hedef değere ulaşılacak tarih
Benzo[a]piren	1 ng/m ³	%60 (0,6 ng/m ³)	%40 (0,4 ng/m ³)	1 Ocak 2020

(a) PM₁₀ için yıllık içerik

1.3. Eser Elementler

Eser element kirliliği, modern çevre kirliliği bağlamında son derece endişe verici bir alan olarak küresel dikkat çekmektedir. Kentsel geçişin, küreselleşmenin ve sanayileşmenin hızlanması, eser metallerin çevrede birikmesine ve dönüşmesine neden olmaktadır. Eser element kirliliğinin etkileri sadece bitkilere ve mahsullere zarar vermekle kalmakta, aynı zamanda son yıllarda hayvanlarda ciddi sağlık tehlikeleri oluşturmaktadır (Sahu ve Basti, 2021).

Canlılar çok düşük miktarlarda bazı eser metallere ihtiyaç duyar, ancak bu metallerin yüksek seviyeleri toksik olabilir. Birçok canlı için temel bir element olan demir, insan kanında, vücuttaki oksijeni taşır. Ancak çok fazla demir tüketilirse insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Biyolojik olarak canlılar için önemli olan bu elementler vücutta depolanmalarına ve günlük beslenmeye göre makro eser elementler ve ultra eser elementler olarak ikiye ayrılır (Dutta ve Mukta, 2012).

Makro eser elementler yetişkinlerin 100 mg/gün'den daha fazla ihtiyaç duyduğu elementlerdir. Bunlar, klor (Cl), fosfor (P), potasyum (K), magnezyum (Mg), sodyum (Na) ve kalsiyum (Ca)'dur.

Eser elementler genellikle yetişkinler tarafından 1-100 mg/gün miktarlarında ihtiyaç duyulan mineraller olarak tanımlanır. Demir (Fe), bakır (Cu) ve çinko (Zn)'dan oluşur (Dutta ve Mukta, 2012).

Ultra eser elementler; alüminyum (Al), arsenik (As), bor (B), brom (Br), kadmiyum (Cd), krom (Cr), flor (F), germanyum (Ge), iyot (I), kurşun (Pb), lityum (Li), molibden (Mo), nikel (Ni), rubidyum (Rb), selenyum (Se), silikon (Si), kalay (Sn) ve vanadyum (V)'dan oluşmaktadır. İnsanlar için tahmini gereksinimi 1 mg/gün'den daha azdır ve genellikle µg/gün olarak belirtilmektedir (Nielsen, 2013). Bu elementler buldukları dokuda çok az yer almasına rağmen vücudumuz için gerekli olan elementlerdir (Dutta ve Mukta, 2012).

Atmosferdeki metaller, antropojenik veya doğal kökenlere sahip olup olmadıklarına bakılmaksızın partikül maddelerle ilişkilendirilir (Ledoux ve diğ., 2017). Atmosfer, eser element içeren partiküllerin uzun menzilli taşınmasını kolaylaştırdığı için tüm

alanların (toprak, su ve sediment gibi) en önemlisidir. Bu nedenle herhangi bir eser element üretim kaynağı bulunmayan alanlardaki kirlilikten bile sorumludur. Ağır metaller, toz fırtınaları ve endüstriyel faaliyetler gibi hem doğal hem de antropojenik faaliyetlerle atmosferik ortama salınabilir. Bununla birlikte, kentsel alanlardaki ağır metaller, endüstriyel kirlilik, trafik emisyonları (egzoz ve egzoz olmayan), bina ve kaldırımın aşınması, fosil yakıtların yanması, çöp ve tütün ve atmosferik birikme gibi çeşitli mobil ve sabit kaynaklarla doğrudan ilgilidir (Soleimani ve diğ., 2018). Atmosferik eser element oluşumunun kaynağı yanında en önemli hususlar partiküllerin boyutu, eser element partiküllerinin rolü ve ulaşım için meteorolojik etkilerdir (Luo ve diğ., 2019). Partiküller, eser elementi yüzeylerine adsorbe ederek bir metal partikül kompleksi oluşturma eğilimindedir (Zhang ve diğ., 2018). Bu nedenle, endüstriyel faaliyetlere sahip gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler, atmosferdeki küresel eser element yoğunlaşmasına en büyük katkıda bulunanlardır. Farklı sektörler eser element partiküllerine katkıda bulunur (Sahu ve Basti, 2021).

Atmosferik parçacıklardaki eser elementler, insan sağlığı üzerindeki potansiyel olarak zararlı ve toksik etkileri nedeniyle kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Bu türlerin PM'de görülmesi esas olarak emisyon kaynaklarının doğasına ve oluşum mekanizmasına bağlıdır (González ve diğ., 2017).

Eser element döngüsü, eser element konsantrasyonu ve kirliliği ile ilgili olarak bir çevresel ortamın (hava, su, toprak ve biyota) devamlılığını anlamaya yardımcı olur. Eser element döngüsü, çevresel ortamın bölümleri arası ve bölümler içi düzeylerinde metallerin dağıtımını, konsantrasyonu, kullanılabilirliği, hareketliliği, dönüşümü ve taşınmasında hayati bir rol oynar. Bölümler, metal alışverişini düzenlemek için kendi aralarında dinamik bir etkileşim içerir (Sahu ve Basti, 2021).

1.3.1. Eser elementlerin kaynakları

PM'lerdeki eser metaller, kaynakların tanımlanmasında optimize edilmektedir. Eser metallerin çoğunun toplam partikül maddenin %10'undan daha azını sunmasına rağmen, büyük miktarda iyonik bileşen, karbon ve ana kabuk elementleri ortak kaynakların çoğunda yer almaktadır. Partikülleri başlıca bölgesel kaynaklara bölüştürmek için eser metal imzaların kullanılması, oluşum mekanizmalarının karmaşıklığı hakkında daha az bilgi gerektirir. Atmosferik partiküllerle ilişkili

metaller doğal gereği uçucu olmadıkları için, kimyasal dönüşümlere daha az eğilimlidirler ve yayıldıkları şekliyle kalırlar (Hsu ve diğ., 2016).

Eser elementler, hem doğal kaynaklardan hem de antropojenik kaynaklardan atmosfere yayılır. Havada yayılan bazı antropojenik metal kaynakları arasında fosil yakıtların ve odun yanması, araç emisyonları, inşaat, elektrik üretimi ve atık yakma gibi endüstriyel faaliyetler yer alabilir. Bu kaynaklardan, büyük şehirlerdeki yüksek araç trafiği ve endüstriyel faaliyetler, atmosferdeki metal emisyonuna en çok katkıda bulunanlardır. Bununla birlikte, orman yangınları, kabuk materyali, deniz aerosolleri, volkanik patlamalar ve tozların yeniden süspansiyonu gibi doğal kaynaklardan gelen emisyonlar da havadaki metal kirliliğine katkıda bulunur (González ve diğ., 2017). Doğal kaynaklar nedeniyle salınan eser elementler Tablo 1.14'te özetlenmiştir (Nriagu, 1989).

Tablo 1.14. Eser elementlerin doğal kaynak kategorileri (Nriagu, 1989)

Kaynak Kategorisi	Eser Elementler
Rüzgârla savrulan toz	Cr, Co, Mn, Zn, Pb, Cu, V, As, Ni
Deniz tuzu spreyi	Na, Cl, V, As
Volkanlar	Cu, Zn, V
Vahşi Orman Yangını	Cu, Zn
Biyojenik	
• Kıtasal Parçacıklar	Cu, Mn
• Kıtasal Uçucuları	As, Se, Mn, Zn
Deniz	As, Se, Mn, Zn

Rüzgârla savrulan tozda, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb ve Zn gibi bazı metaller toplam akısının %20-30'unu oluşturur ve atmosferik eser elementler için önemli bir doğal kaynaktır. Volkanik patlamalar toplam Cd ve Hg akılarının %50'sini oluşturur ve Se ve Mo'nun %50'sinden fazlası biyojenik kaynaklardan yayılır (Nriagu, 1989).

PM'deki birçok metalin konsantrasyon seviyeleri, egzoz dışı yol trafiği, çelik üretimi, cam üretimi ve akaryakıt yanması gibi antropojenik kaynaklardan kaynaklanmaktadır (Ledoux ve diğ., 2017). Cr, Ca, Ni, W, Cu, Mo, As, Sn, Pb, Cd, Zn, Se, Sb, Hg ve Au dahil elementlerin tümü antropojenik elementlerdir (Onat ve diğ., 2013). Çoğu

endüstriyel işlem, eser metalleri atmosfere bırakır. Dünya çapındaki eser metal kirliliğine başlıca katkıda bulunanlar Tablo 1.15'te gösterilmiştir (Morawska ve Zhang, 2002).

Tablo 1.15. Antropojenik eser metallerin emisyon kaynakları (Morawska ve Zhang, 2002)

Emisyon Kaynağı	Eser elementler
Karayolu taşımacılığı	
Motorlu taşıt emisyonları	Br, Pb, Ba, Cl, Zn, V, Ni, Se, Sb, As
Motor aşınması	Fe, Al
Lastik aşınması	Zn
Yol kenarı tozu	Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Zn
Endüstriyel Tesisler	
Kömür yakma	Se, As, Cl, Cu, Al, S, P, Ca
Rafineriler	V
Demir çelik fabrikaları	As, In, Cu, Zn, Pb
Bakır endüstrisi	Cu
Küçük Ölçekli Yakma Endüstrileri	
Atık yakma fırını	Zn, Sb, Cu, Cd, Hg, K, Pb
Ahşap yanma	Ca, Na, K, Fe, Br, Cl, Cu, Zn
Mineralizasyon ve Hammadde	
Süreçler	Mg, Al, K, Mn, Fe, Se

Ana metallerin eritilmesi, As, Cd, Cu ve Zn'nin %50'sinden fazlasını, Sb ve Se'nin yaklaşık %40'ını ve endüstriyel tesisler tarafından salınan diğer elementlerin %10'unu veya daha azını oluşturur. Cd, Sb ve Se, ana metal cevherlerinin zenginleştirilmesinden yan ürünler olarak geri kazanıldıklarından ve konsantrasyonlar, ekonomik geri kazanımlarını garanti edecek kadar yüksek olmadıkça, bu elementler genellikle çevreye atılır. Eritilmiş cevherlerdeki istenmeyen yardımcı metallerden kurtulmanın bu yöntemi, bazı toksik metallerin çevreye akışını azaltmak için gelecekteki seçenekler değerlendirilirken dikkate alınmalıdır (Nriagu, 1989).

Ca, Mg, Fe, K, Al, Ca, Ti ve Mg gibi ana toprak elementlerinin izlediği bir kaynağa kabuk denir (Aldabe ve diğ., 2011). Bu tür elementlerin ana kaynağı tozun yeniden süspansiyonudur. Yapılan bir çalışma, ölçülen mineral tozunun %60'ının bölge dışındaki kaynaklardan taşındığını göstermektedir. Yüksek sıcaklık ve nem gibi faktörler, çoğunlukla Zn, Ni ve Fe alaşımları içeren bina metal parçalarının (kapılar ve pencereler) korozyon süreçlerinin kolaylaştırılmasına ve sonunda bu metallerin çevreye salınmasına ve dış mekan tozlarında birikmesine neden olur (Aldabe ve diğ., 2011). Deniz tuzu bileşenlerinin oluşumu özellikle deniz serpintisinde ve ardından havada kuruduktan sonra askıda deniz tuzlarının varlığına yol açan yüksek hızlı rüzgâr koşullarında gözlenir. Na, NaCl fazıyla ilişkilendirilir. PM'deki NaCl gibi tuzların varlığının, esas olarak deniz yüzeyinde rüzgârın etkisiyle oluşan deniz partiküllerinden kaynaklanmaktadır (González ve diğ., 2017). K, Fe, Ca, Al esas olarak toprakta bulunur, ancak bunlar tipik olarak metalurji ve sinterleme süreçleriyle ilgili endüstriyel faaliyetlerle de ilişkilendirilebilir (Hleis ve diğ., 2013). K, biyokütle yakmanın bir göstergesi olmasının yanında S, As, Pb ve Zn elementleri gibi kömür yakmanında bir göstergesidir (Öztürk ve Keleş, 2016). Dizel yakıt yanması, diğer önemli S kaynaklarıdır. S, SO₂ şeklinde atmosfere salınır. Oksitlendiğinde, sülfür bileşikleri SO₄⁻² aerosolleri üretir. Atmosferde sülfat aerosollerinin oluşumu sınır tabakası yüksekliğine ve fotokimyasal aktiviteye (yani hidroksil radikali) bağlıdır (Tepe ve Doğan, 2021).

Trafikle ilgili PM, V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb gibi antropojenik kökenli metalik elementler içerir. Pb, Zn, V ve Cu, trafik emisyonlarının belirleyici unsurlarıdır (Khan ve diğ., 2016; Onat ve diğ., 2013). Yol tozu Fe, Cu, Cr, Ag, Mn, Pb, Ni, Cd, Zn içerir ve araç egzoz emisyonu Cu, Zn, Pb, Br, Fe, Ca ve Ba içerir (Onat ve diğ., 2013; Yang ve diğ., 2016). PM_{2.5}'te çinko (Zn) için ana kaynak, boyut fraksiyonları nedeniyle lastik aşınması ve yeniden askıya alınmış yol tozu yerine yerel trafik egzoz emisyonlarıdır (Choung ve diğ., 2016). Cu, Sn, Sb ve Pb özellikle lastikler ve fren aşınmasıyla ilişkili olmasına rağmen kömür yanma kaynağının da etkisi görülmektedir (Ledoux ve diğ., 2017). V ve Ni, özellikle nakliye trafiğiyle ilgili olmak üzere enerji santrallerinden ve petrol rafinerileri gibi endüstriyel işlemlerde, ağır fuel oil yanmasına bağlanabilirler (Aldabe ve diğ., 2011; Ledoux ve diğ., 2017; Pandolfi ve diğ., 2011; Rivas ve diğ., 2014; Salameh ve diğ., 2015). Ortam

partiküllerinde Fe, Mn, Cr ve Ni, çelikle ilgili metaller olarak kategorize edilir. Ancak Ni, Zn gibi diğer metaller, K ve Ti ayrıca demir ve çelik işleme ile de ilişkilidir (H. Li ve diğ., 2016). Ag ve Rb'de genellikle metalurjik faaliyetlerle atmosfere yayılmaktadır (Ledoux ve diğ., 2017).

1.3.2. Eser elementlerin sağlık etkileri

Partiküllü maddenin metal içeriğinin insan sağlığı üzerindeki önemli etkileri çeşitli toksikolojik ve epidemiyolojik çalışmalarla kanıtlanmıştır (Tepe ve Doğan, 2021). Çeşitli çalışmalar, metallerin insan sağlığı üzerindeki zararlı ve toksik etkilerle ilişkili ana PM bileşenlerinden biri olduğunu göstermiştir (Kim ve diğ., 2013; Zereini ve Wiseman, 2010; Zhang ve Cao, 2015). Metaller çevreye farklı yollarla girebilir ve birçok sorun yaratabilir. Ancak en büyük sorunlardan biri vücuttaki metallerin kimyasal veya biyolojik bozulmaması, biyolojik olarak birikmesi ve fizyolojik işleyişe müdahale etmesidir (Faraji Ghasemi ve diğ., 2020; González ve diğ., 2017; Sahu ve Basti, 2021). Bazı çalışmalar, metallerin PM ile bağlandığını ve mitokondriyal hasar ve oksidatif stresin indüksiyonu ile ilişkili olduğunu bulmuştur. Bu da sonunda kardiyovasküler mortalite ve morbiditede bir artışa yol açar (Faraji Ghasemi ve diğ., 2020).

As ve Cr en önemli kanserojen riskli maddeler iken kanserojen olmayan riskli elementler Ni, V ve Mn'dir (Chen ve diğ., 2021; Onat ve diğ., 2013). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı tarafından toksik bileşikler olarak sınıflandırılan As, Cd, Ni Grup 1 "İnsanlar için kanserojen", Pb Grup 2A "Muhtemelen insanlar için kanserojen" ve oksit formunda Sb ve V ise Grup 2B "insanlar için olası kanserojen" olarak sınıflandırılmıştır (IARC, 2020).

Solunabilir partiküller ile ilişkili Cr, As, Cd ve Ni gibi ağır metallerin yüksek derecede toksik olduğu ve 1 ng/m³ gibi düşük bir konsantrasyonda bile insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu düşünülmektedir (Mazziotti Tagliani ve diğ., 2017; Morais ve diğ., 2012). PM'lerde Cr, Cd ve Co varlığının ömür boyu akciğer kanseri risklerine neden olabilir (Soleimani ve diğ., 2018). PM_{2.5}'te bulunan Pb konsantrasyonunun, insanlarda farklı etkilere neden olan sedimantasyon ve Brownian difüzyon süreçleri yoluyla akciğerlerde özellikle alveollerde biriken organizmaya daha fazla nüfuz etme kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir (González ve diğ.,

2017). Önceki çalışmalar, akciğer veya kardiyopulmoner yaralanmalara ve düşük doğum ağırlığının giderek artan şekilde partikül metal maruziyetinden kaynaklandığını göstermiştir (Bell ve diğ., 2010; Gehring ve diğ., 2015; Hsu ve diğ., 2016).

Fe ve Ni gibi bazı metaller beslenme düzenimizin önemli türleri olmasına rağmen yüksek dozlarda zararlı etkilere neden olmaktadır. Diğer elementler ise düşük konsantrasyonlarda bile zararlıdır (Valko ve diğ., 2016). Bununla birlikte, metal toksisitesi, reaksiyona giren türlerin kimyasal formuna ve doğasına bağlıdır. Buhar fazında Hg (civa) vücut için çok zehirlidir, sıvı hali ise değildir. Benzer şekilde, Hg'nin temel formu toksik değilken, organik formu toksiktir. Pb (kurşun), düşük buhar basıncından dolayı buhar halinde bulunduğu da zararsızdır, ancak iyonik halde (Pb^{+2}) bulunduğu çok tehlikelidir. Eser elementler yalnızca daha yüksek besleyici seviyelerde biyolojik olarak birikmekle kalmaz, aynı zamanda büyüme oranını da baskılar, doku bozulmasına, doğurganlık kaybına neden olur ve canlı organizmalarda oksijen taşıma kapasitesini azaltır. Pb, Cd ve Hg gibi TM'ler özellikle nefrotoksik metallerdir. Pb'nin hayvanlarda davranışsal değişikliklere ve hiperaktiviteye neden olduğu, işitsel etkilere neden olduğu, beyin işlevini düşürdüğü bilinmektedir (Sahu ve Basti, 2021). Ayrıca hamile kadınlarda erken doğum da dahil olmak üzere fetüs anormalliğine neden olur. Benzer şekilde, Cd kronik immünolojik, üreme ve nörolojik etkilere neden olurken (ATSDR, 2012), Hg'nin beyin, böbrek, kalp, akciğerler ve insanların bağışıklık sistemi üzerinde ciddi etkileri vardır. Cu birikimi Wilson hastalığına neden olurken, Zn tozu insanlarda ciddi solunum sorunlarına neden olmaktadır.

Atmosferik partiküllerde tespit edilen metaller arasında Pb, Cd, Cr ve As, nispeten düşük konsantrasyonlarda bile yüksek toksisite seviyeleri ile karakterize edilir ve sakatlığa ve hatta ölüme yol açabilir. Fe, Zn ve Cu gibi eser metallerin insan sağlığına daha az zararlı olduğu düşünülse de, bazı çalışmalar bu geçiş metallerinin orta konsantrasyonda sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceğini göstermiştir. Fe ve Cu, düzenleyici normatifliğin izin verdiğinin üzerindeki konsantrasyonlarda canlı organizmalara girdiklerinde, proteinlere zarar verebilir ve DNA dizisini değiştirerek, maruz kalan bireylerde solunum bağışıklık tepkisini bozabilir ve sonunda hücre ölümüne ve akciğer hastalıklarını ağırlaştırabilir

(González ve diğ., 2017). Tablo 1.16’da insan sağlığına zararlı olan başlıca ağır metallerin sağlık etkileri verilmektedir (Kimani, 2007).

Tablo 1.16. PM'nin ağır metal bileşenlerinin insan sağlığı üzerindeki etkisi (Kimani, 2007)

Ağır metal	Çevresel Kaynak	Minimum Risk Düzeyi	Kronik maruz kalma toksisite etkisi
Kurşun	Endüstriyel ve araç emisyonları, plastik, kağıt vb.	Kandaki desilitre başına 10 µg'ın altındaki kurşun seviyeleri.	Nörolojik gelişimin bozulması, hematolojik sistemin baskılanması (anemi), böbrek yetmezliği, immünosupresyon vb.
Civa	Elektronik ve plastik atıklar, böcek ilaçları, ilaç ve dişsel atıklar	Desilitre kan başına 10 µg'ın altında; oral Rfd 4 mg/kg/gün	Gastrointestinal ve solunum yolu tahrişi böbrek yetmezliği, nörotoksik.
Kadmiyum	Elektronik, plastik, pil, su	Desilitre kan başına 1 µg'ın altında	Akciğerlerde ve gastrointestinal sistemde lokal iritasyon, böbrek hasarı ve iskelet sistemi anormallikleri
Arsenik	Herbisitler ve pestisitler, elektronik elementi içeren atıkların yakılması, kirli su.	0,0003 mg/kg/gün oral maruziyet	Karaciğer periferik sinir hasarı nöropatisinin iltihaplanması, karaciğer, deri ve akciğer kanseri, üst solunum sistemi-farenjit tahrişi, larenjit, rinit, anemi, kardiyovasküler hastalıklar.

Bitkiler, eser element adsorbe edilmiş partiküllere maruz kaldıklarında ve kirlendiğinde çeşitli fizyolojik varyasyonlara, enzimatik değişikliklere ve biyokimyasal strese (askorbik asit, yaprak pH'sı, toplam klorofil, bağıl su içeriği, protein olmayan tiyollerde değişiklik) maruz kaldığı bildirilmiştir (Pandey ve diğ., 2016; Rai, 2016).

Eser elementler, sağlık tehlikelerinde önemli bir rol oynamanın yanı sıra, güneş ışığının saçılması ve dağılması, yansınması, soğurulması ve kırılması gibi ortam

havasındaki optik olaylardan da sorumludur (Banerjee ve diğ., 2017). Ayrıca bulutların oluşumuna yardımcı olan yoğunlaşma çekirdeği olarak işlev görürler (Fuzzi ve diğ., 2015).

1.3.3. Eser elementlerin yasal sınır değerleri

Kentsel havadaki eser elementlerin yaklaşık %30-50'sinin otuz yıl önce biyogenik kökenli olduğu ve bugün önemli bir artış yaşadığı çalışmalarla bildirilmiştir (Sahu ve Basti, 2021). Atmosferik emisyon envanterleri, ülkelerin atmosferdeki kirletici salımının azaltılmasına yönelik öncelikleri belirlemelerine yardımcı olan ilgili bir veri seti sağlamaktadır (EEA, 2016).

Sağlık üzerindeki etkilerinden dolayı Dünya Sağlık Örgütü tarafından yayınlanan kılavuzda Pb, V, As, Mn, Ni ve Cd gibi elementler için ortalama yıllık hedef değerler önerilmiştir (Hsu ve diğ., 2016; Ledoux ve diğ., 2017). Ayrıca, AB direktifinde de solunabilir partiküllerde As, Cd ve Ni için yıllık ortalama sınır değerleri tanımlanmaktadır (OJ-L 23/3, 2004). Pb yıllık ortalama sınır değerleri de AB 1999/30/EC direktifinde belirtilmektedir (OJ-L 163, 1999).

Temiz Hava Yasası'nda, EPA'nın halk sağlığına ve çevreye zararlı olabilecek altı temel kirleticisinden biride Pb'dir. Kurşun (Pb) kirliliği için Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartları (NAAQS), dış havada bulunabilecek maksimum kurşun miktarını belirtir (URL-5). Temiz Hava Yasası, iki tür ulusal ortam hava kalitesi standardını tanımlar. Birincil standartlar, astımlılar, çocuklar ve yaşlılar gibi "hassas" popülasyonların sağlığını korumak dahil halk sağlığının korunmasını sağlar. İkincil standartlar, görünürlüğün azalmasına ve hayvanlara, mahsullere, bitkilere ve binalara zarar gelmesine karşı koruma dahil olmak üzere kamu refahının korunmasını sağlar (URL-6).

Ülkemizde AB'nin 96/62/EC, 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC sayılı direktiflerine paralel olarak hazırlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde (HKDYY) Pb, As, Cd ve Ni elementleri için limit değerler tanımlanmıştır (RG-26898, 2008). Eser elementler için belirlenen limit değerler ve alt ve üst değerlendirme eşikleri Tablo 1.17'de verilmiştir.

Tablo 1.17. Eser element sınır değerleri

		Pb	As	Cd	Ni	Mn	V	
WHO	Limit Değer	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6,6 ng/m^3	5 ng/m^3	20 ng/m^3	0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(WHO, 2000)
AB	Limit Değer	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6 ng/m^3	5 ng/m^3	20 ng/m^3			(OJ-L 23/3, 2004; OJ-L 163, 1999)
	Üst Değerlendirme Eşiği	70% 0,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60% 3,6 ng/m^3	60% 3 ng/m^3	70% 14 ng/m^3			
	Alt Değerlendirme Eşiği	50% 0,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40% 3 ng/m^3	40% 2 ng/m^3	50% 10 ng/m^3			
EPA (NAAQS)	Limit Değer	0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$						(URL-6)
Türkiye (HKDYY)	Limit Değer	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6 ng/m^3	5 ng/m^3	20 ng/m^3			(RG-26898, 2008)
	Üst Değerlendirme Eşiği	70% 0,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60% 3,6 ng/m^3	60% 3 ng/m^3	70% 14 ng/m^3			
	Alt Değerlendirme Eşiği	50% 0,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40% 2,4 ng/m^3	40% 2 ng/m^3	50% 10 ng/m^3			

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Dış Ortamda PM_{2.5}'e Bağlı PAH Çalışmaları

Son yıllarda PAH'ların mevsimsel değişimleri, mekânsal dağılımları, sağlık etkileri ve kaynak tanımlamaları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Partiküler PAH'lar, ince partiküllerde daha fazla bulunmakta ve kaba partiküllere göre daha mutajenik olduğu bilinmektedir.

Barrado ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, Madrid'in (İspanya) yarı kentsel bölgesinde PAH ve OH-PAH konsantrasyonlarını belirlemiş ve zamansal ve mevsimsel değişimlerini araştırmışlardır. Toplam PAH ve OH-PAH konsantrasyonlarının 0,175 ile 2,125 ng/m³ arasında değişmekte olduğu, piren (0,261 ng/m³), fluoren (0,208 ng/m³), fenantren (0,136 ng/m³), krisen (0,098 ng/m³) ve 2-hidroksifenantrenin (0,063 ng/m³) her zaman daha yüksek konsantrasyonlarda görüldüğünü bulunmuştur. OH-PAH'lardaki ve PAH'larındaki değişiklikler arasında pozitif korelasyon, PAH'lar ve diğer çevresel kirleticiler arasındaki sadece fotokimyasal reaksiyonların ve ozonla reaksiyonun (I_{uv} ve O₃ ile negatif korelasyon) varlığını değil diğer kimyasal reaksiyonların da varlığını göstermiştir. PAH veya OH-PAH konsantrasyonları ile sıcaklık, güneş radyasyonu, UV ışık yoğunluğu ve ozon konsantrasyonu arasındaki negatif korelasyon, konsantrasyon toplamalarının soğuk dönem için daha yüksek ve sıcak dönem için daha düşük olduğu her durumda, değişimlerin mevsimsel olduğu gösterilmiştir. Soğuk aylarda PAH ve OH-PAH konsantrasyonlarının diğer çevresel kirleticilerle (sülfür ve nitrojen oksitler) birlikte, artan emisyon kaynakları (kömür yanması, araç emisyonları ve diğer yanma kaynakları) nedeniyle arttığını belirlemişlerdir.

Dieme ve diğ. (2012), Dakar'da (Senegal) kırsal ve kentsel alanlarda yaptıkları çalışmada PM_{2.5}'a bağlı 15 PAH bileşiğinin konsantrasyonlarını ve bileşimlerini belirlemişlerdir. Örneklem dönemi boyunca ortalama PM konsantrasyonlarını hem trafik yoğunluğuna hem de araç türüne (otobüslere karşı arabalara) bağlı olarak kırsal alana (16,9 µg/m³) göre kentsel alanlarda (75,1 µg/m³ ve 105,4 µg/m³) daha yüksek

tespit etmişlerdir. Toplam PM'in %94,7-%96,3 oranlarında PM_{2.5}'e dahil olmasının, ince PM toplamak için çalışmada kullanılan yüksek hacimli kademeli ayrıştırıcı hava örnekleyicilerinin etkinliğini gösterdiği belirtilmiştir. İnorganik bileşikler arasında, Fe, Al, Na, Mg, Ca ve Ti'nin en çok bulunan elementler olduğu ve kentsel alanlarda (7,7 µg/m³ ve 9,8 µg/m³) kırsal alana (2,2 µg/m³) göre daha yüksek konsantrasyonlar gözlemlendiği bildirilmiştir. Benzer şekilde iyonik türlerin toplam konsantrasyonunun kentsel alanlarda (11,0 µg/m³ ve 8,0 µg/m³) kırsal alana (6,2 µg/m³) göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Kentsel bölgelerde yüksek PAH konsantrasyonları belirlenmiş olsa da kırsal alandaki seviyelerin göz ardı edilemeyecek seviyede olduğu bildirilmiştir.

2011-2012 arasındaki bir yıllık dönemde Zaragoza (İspanya)'da kırsal alanda PM_{2.5}'e bağlı PAH çalışması Callén ve diğ. (2014) tarafından gerçekleştirilmiştir. Örneklem dönemi boyunca baskın PAH'ların dört ve beş halkalı bileşiklerde gözlemlendiği belirtilmiştir. An, Phe, Chy gibi buharlaşan/yanmamış yakıtla ilişkilendirilmiş bileşiklerin en yüksek katkıyı (%30,5) sağladığı bildirilmiştir. Çalışma dönemi, kış ve yaz dönemi numunelerinin sırasıyla %54,1, %24,6 ve %4,9'u 2008/50/EC Direktifine göre PM_{2.5} sınır değerini (25 µg/m³) aştığı belirtilmiştir.

Liu ve diğ. (2014)'nin yaptığı çalışmada, Ningbo (Çin)'da kırsal bölgede 36 çift gaz ve parçacık (PM_{2.5}) numunesinde 16 öncelikli PAH bileşiklerini incelemişlerdir. Gaz fazı PAH konsantrasyonlarının, parçacık fazı PAH'lardan yaklaşık iki ile üç kat daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Parçacıklı PAH'lar da ise ağırlıklı olarak düşük uçucu beş ve altı halka bileşiklerinin baskın olduğu (en baskın BbF %17) belirtilmiştir. Örneklem alanı kırsal olmasına rağmen ortalama BaP konsantrasyonunun (1.01 ng/m³), komşu kırsal alanlarda biyokütle yanması gibi bölgesel kaynaklar nedeniyle 1,0 ng/m³ olan Avrupa sınır değerini (Avrupa Komisyonu) aştığı belirtilmiştir. Partikül fazındaki PAH'ların mevsimsel değişimi kış>sonbahar>yaz olarak tespit edilirken, gaz fazındaki PAH'lar için mevsimsel değişimin sonbahar>kış>yaz sıralamasını izlediği bildirilmiştir. PAH konsantrasyonları ile rüzgâr hızı veya nem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulamamışlardır. Parçacıklı PAH'ların konsantrasyonu ile ölçülen organik karbon (OC) (r=0,897, p<0,01), elemental karbon (EC) (r=0,900, p<0,01) ve PM_{2.5} (r = 0,899, p <0,01) arasında anlamlı bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. PAH'ların atmosferik çıkışı incelendiğinde kış ve

ilkbaharda, yaz ve sonbahardan çok daha fazla taşınım olduğu gözlenmiş bunun yapılan diğer çalışmalarla benzer olduğu bildirilmiştir.

Khan ve diğ. (2015) Malezya'da yarı kentsel alanda toplanan 34 örnekte ince partikül maddeye (PM_{2.5}) bağlı 16 PAH farklı mevsimlerde dağılımını, kaynak araştırmasını ve sağlık riski değerlendirmesini incelemiştir. Çalışma döneminde genel, SW muson ve NE muson dönemi PAH'ların ortalaması ve aralıkları sırasıyla 2,79 (0,21-12,08), 3,85 (0,21-12,08) ve 1,85 (0,68-3,80) ng/m³ olarak belirlemiştir. Ortalama PAH konsantrasyonlarının, BbF> BgP> IcP> BaP> BkF> DahA> Acp> Flt> Nap> Chy> Pyr> Flu> Phe> Ant> BaA> Acy sıralamasını izlediğini bulmuşlardır. SW muson konsantrasyonunun NE muson konsantrasyonundan 2 kat fazla belirlenmiş olması çevredeki alanda daha fazla karbonlu partikül olduğunu kanıtlamış ve toplam PAH'ların güçlü mevsimsel bağımlılığını göstermiştir. PM_{2.5}'teki yüksek moleküler ağırlıklı (HMW) PAH'ların (≥5 halka), düşük moleküler ağırlıklı (LMW) PAH'lara (≤4 halka) kıyasla önemli ölçüde belirgin (>%70) olduğu bildirilmiştir. PM_{2.5}'a bağlı toplam PAH konsantrasyonlarının, nüfus yoğunluğu, araç hacmi, bölgedeki kentleşme ve sanayileşme kapsamı, meteorolojik koşullar ve coğrafi konumlardaki değişiklikler gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak konumlara göre değişiklik gösterdiği bildirilmiştir. PMF analiziyle PAH kaynaklarının, benzin yanması (%65), dizel ve ağır petrol yanması (%19) ve doğalgaz ve kömür yakma (%15) olduğunu tespit etmişlerdir. PAH kaynaklarının yüzdelerinin mevsimsel olarak neredeyse eşit olması zayıf mevsimsel etkiyi desteklemiştir. Yaşam boyu akciğer kanseri riski (LLCR), tüm veri, SW muson verileri ve NE muson verileri için sırasıyla 5,0x10⁻⁵, 6,7x10⁻⁵ ve 3,7x10⁻⁵ olarak belirlenmiş ve toplam PAH'ların kanserojen riskinin kabul edilebilir bir risk seviyesinde (yılda 10⁻⁶-10⁻⁴) olduğu bildirilmiştir.

Kalisa ve diğerleri (2018) 2017 yılında Ruanda'da yaptıkları çalışmada, üç örnekleme bölgesinde solunabilir PAH'ların insan sağlık açısından zararlı olduklarını belirlemiştir. Çalışmada PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarının DSÖ'nün sınır değerlerini 4 kat aştığı gözlemlenmiştir. PM_{2.5} ve PM₁₀'da ∑15PAH ortalamasının kentsel yol kenarında kırsal ve kentsel arka plan alanına göre daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Çalışma günlerinden itibaren PM_{2.5}'a bağlı ortalama PAH konsantrasyonunun (37,9 ng/m³), çalışma dışı günlere (27,9 ng/m³) kıyasla önemli ölçüde daha yüksek olduğunu bildirilmiştir (p= 0,003). Üç örnekleme alanında PM_{2.5}

ve PM₁₀'da saptanan ortalama BaP konsantrasyonlarının (2,2 ng/m³, 9,4 ng/m³, 4,6 ng/m³), DSÖ sınır değerinden (1 ng/m³) daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Toplam kanser riskini, kentsel yol kenarı sahasında (6,4x10⁻³), kentsel arka plandaki (3x10⁻⁴) ve kırsal alanlardakinden (5,1x10⁻⁴) çok daha yüksek bulmuşlardır. PM'ye bağlı PAH'ları soluma maruziyetinden kaynaklanan yaşam boyu kanser risklerinin USEPA sınır değerini (10⁻⁶) ve DSÖ sınır değerini (1 × 10⁻⁴'ten daha büyük kanserojen risk) aştığı bildirilmiştir.

Wang ve diğ. (2014), 2011-2012 tarihleri arasında Çin'in Zhengzhou kentinde iki farklı lokasyonda (endüstriyel (E) ve kentsel (K)) yaptıkları örneklemede PM_{2.5}'e bağlı 16 PAH bileşimini incelemişlerdir. Her iki örnekleme alanı konsantrasyonlarının (E: 172 ± 121 ve K: 160 ± 72 µg/m³), ABD'deki Ulusal Ortam Hava Kalitesi yıllık sınır değerini (15 µg/m³), DSÖ tarafından belirlenen yıllık sınır değeri (10 µg/m³) ve Çin'de önerilen standartları (sırasıyla günlük 75 µg/m³ ve yıllık 35 µg/m³) aştığını belirlemişlerdir. Her iki örnekleme alanında da baskın türlerin Flt, BbF, BkF, Pyr ve Chy olduğu belirtilmiştir. PM_{2.5} ve PAH bileşikleri aynı mevsimsel eğilimi (kış>sonbahar> ilkbahar> yaz) göstermiştir. Her iki bölge için yıllık ortalama BaP konsantrasyonunun (7,0 ng/m³) DSÖ yıllık ortalama BaP sınır değerinin 7 katı olduğunu bulmuşlardır. USEPA tarafından PAH'ların kanserojen sınıflandırmasına göre, yedi kanserojen PAH'ın (CANPAH (BaA, BbF, BkF, BaP, Chy, DahA ve IcP)) sırasıyla endüstriyel ve kentsel alanlarda toplam PAH konsantrasyonlarının %70±11 ve 65±11'ini oluşturduğu belirtilmiştir. PM_{2.5} için elde edilen yıllık ortalama Σ16PAH_{TEQ} ile endüstri (22,8 ng/m³) ve kentsel bölgelerde (13,5 ng/m³) toksik maruziyet koşullarının göz ardı edilemeyeceği belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, ana kaynağın Zhengzhou'da kullanılan araç sayısının bir göstergesi olan (2 milyon araç) BkF, Bghi, IcP, BaP, BbF, DahA, BaA ve Chy ile ilişkili araç emisyonları (%46) olduğu belirtilmiştir.

Wang ve diğ. (2016), 2014-2015 tarihleri arasında Çin'in Şangay eyaletinde iki örnekleme bölgesinde (kentsel ve kırsal) dört mevsimde PM_{2.5}'e bağlı EPA'ya göre öncelikli 16 PAH bileşimini incelemişlerdir. Yıllık PM_{2.5} ve 16 PAH konsantrasyonları sırasıyla 53 µg/m³ (kırsalda 56 µg/m³ ve kentsel alanda 48 µg/m³) ve 6,9 ng/m³ (kırsalda 7,2 ng/m³ ve kentsel alanda 6,5 ng/m³) olarak bulmuşlar ve en yüksek konsantrasyonların kış aylarında gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Faz

bölünmesine, soğuk havalarda ısınma gibi belirli kaynaklardaki artışa, azalmış fotokimyasal bozulmaya ve soğuk havalardaki daha fazla durgun koşullara bağlı olarak kirleticilerin sıcaklık ile negatif korelasyona sahip olduğu bildirilmiştir. PMF analiziyle, PM_{2.5}'e bağlı PAH'ların ana kaynağının kömür yakma (Phe, Ant, Flu, Pyr, BaA ve Chy, %34,9) olduğunu tespit etmişlerdir. Rüzgâr hızının >2m/s'den <2m/s'ye değiştiğinde, kömür yakmanın katkısının %46,3'ten %33,1'e düştüğünü, trafik katkı oranının %17,4'ten %28,7'ye yükseldiğini belirlemişlerdir. Bu durum, daha kötü dağılım koşulları ve daha düşük rüzgâr hızının yerel olarak yayılan kirletici maddelerin birikmesine yol açtığı durgun hava koşullarında yerel kaynakların daha büyük katkıları olabileceğini göstermiştir. PAH için, en düşük yerel taşınım seviyelerinin yaz aylarında (%11,4-%25,5), en yüksek taşınım seviyelerinin ise ilkbahar ve sonbaharda (%43,6-%54,1) görüldüğü bildirmiştir.

Kalisa ve diğ. (2019), Kanazawa (Japonya) ve Auckland (Yeni Zelanda)'da kentsel ve kırsal alanlarda bir yıllık bir sürede (2016-2017) PM_{2.5} numuneleri toplamışlardır. Kanazawa'da kentsel alanda PM_{2.5}'teki ΣPAH'ların ortalaması 0,53 ng/m³ ve Auckland kırsal alanında 0,24 ng/m³ olarak bulmuşlardır. Auckland'daki PAH'lardan ve NPAH'lardan hesaplanan yaşam boyu toplam kanser riskinin ($1,32 \times 10^{-6}$), ABD EPA sınır değerini (10^{-6}) biraz aştığını belirlemişlerdir. Kanazawa ve Auckland'da belirlenen ortalama BaP konsantrasyonlarının (0,04 ve 0,03 ng/m³), DSÖ sınır değerinden (1 ng/m³) daha düşük ve Yeni Zelanda örnekleme alanlarında tespit edilen yıllık ortalama BaP konsantrasyonlarının (0,02 ve 0,01 ng/m³) DSÖ ve Yeni Zelanda (0,3 ng/m³) yıllık sınır değerlerinden düşük olduğunu görmüşlerdir. PCA analiziyle, araç emisyonlarının kentsel alanda PAH'ların ana kaynağı olduğu (%19,48) ve kırsal alanlardaki PAH'ların baskın kaynaklarının ise kömür yakma ve evsel odun yakma (% 63,82) olduğunu tespit etmişlerdir.

Sulong ve diğ. (2019), Kuala Lumpur'da (Malezya) muson mevsimlerinde ve pus dönemlerinde PM_{2.5}'e bağlı 16 PAH'ların dağılımını, kaynaklarını ve sağlık risklerini araştırmışlardır. PM_{2.5}'teki PAH'ların yıllık ortalaması $2,04 \pm 0,28$ ng/m³ olarak bulmuşlar ve yüksek moleküler ağırlıklı (HMW) PAH'ların, düşük moleküler ağırlıklı (LMW) PAH'lara kıyasla pus olayı dahil tüm mevsimlerde baskın olduğunu belirlemişlerdir. Tek yönlü ANOVA analizi ile, PAH konsantrasyonlarının önemli mevsimsel eğilimler gösterdiğini ortaya çıkarmışlardır (p <0.05). Tanı Oranı (DR)

analiziyle, PM_{2.5}'teki PAH'ların ana kaynağının petrojenik olduğu belirlenmiştir. PMF analiziyle, PM_{2.5}'e bağlı PAH'ların dört olası kaynağını belirlemiştir: motor yanması (%29,1), doğalgaz ve kömür yakma (%28,3), biyokütle yakma (%22,3) ve dizel ve ağır petrol yanması (%20,3). LADD ve ILCR seviyelerinin en yüksekte en düşüğe doğru; yetişkin > yürümeye başlayan çocuk > ergen > çocuklar > bebek şeklinde bulunmuştur. 70 yıllık maruziyet için, ILCR'nin 2,40E-07 olduğunu belirlemiştir ve USEPA tarafından önerilen kabul edilebilir 1,0E-06 - 1,0E-4 seviyelerinden daha düşük olduğu için önemsiz olarak kabul etmiştir.

Ma ve diğ. (2016), Hong Kong Baptist Üniversitesi Ho Sin Hang Kampüsü'nde PM_{2.5} örnekleri toplamıştır. Σ₂₁PAH'ın ortalama konsantrasyonunu 4,81 ng/m³ bulmuştur. Bu değerler daha önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında PAH kirlilik seviyelerinin son yıllarda Hong Kong'da azaldığını göstermiştir. Bölgesel günlerde, yerel kaynaklara ek olarak, kuzey rüzgârı Hong Kong'u İnci Nehri Deltası (PRD) bölgesinden antropojenik emisyonların alıcı bölgesi haline getirerek, Σ₂₁PAH ortalama konsantrasyonunu 6,61 ng/m³ seviyesine çıkarmıştır. PMF analiziyle, dört kaynak belirlemiştir: deniz araçları, araç emisyonları, biyokütle yakma ve karışık kömür yakma kaynağı. BaP_{eq}'in medyan konsantrasyonlarına baktıklarında yerel günlere (0,06 ng/m³) göre bölgesel (0,25 ng/m³) veya uzun bölgesel taşımacılık (LRT) (0,19 ng/m³) sırasında daha yüksek toksisite tespit etmiştir. BaP_{eq} bazlı PM_{2.5} toksisitesine en yüksek katkının karışık kömür yakma kaynaklı (% 51,5, 0,12 ng/m³) olduğu belirtilmiştir.

Lin ve diğ. (2015) tarafından, Mart 2012 - Mart 2013 tarihleri arasında Pekin Üniversitesi (Pekin, Çin) kampüsündeki kentsel izleme istasyonunda PM_{2.5}'e bağlı PAH örnekleme gerçekleştirilmiş ve PAH'ların kütle yüzdesi, ısınma mevsiminde (%3,05), ısıtmasız mevsime kıyasla (% 0,33) (p < 0,01, Mann-Whitney testi) önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. PMF analizi ile ısınmanın olmadığı mevsimde, PAH'ların ana kaynağının trafik emisyonları (%91,2), ısınma mevsiminde kömür yanması (%51,6) olduğunu tespit etmiştir. Isınma mevsiminde PM_{2.5}'teki PAH'lardan kaynaklanan toksisitenin (0,38 ng BaP_{eq}/µg PM_{2.5}), ısınmanın olmadığı mevsimden (0,055 ng BaP_{eq}/µg PM_{2.5}) 6,9 kat daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Murillo ve diğ. (2017), Ocak-Kasım 2013 tarihleri arasında Kosta Rika Metropolitan Bölgesinde 14 örnekleme alanından (ticari, endüstriyel ve kentsel) topladıkları örneklerde PM_{2.5}'e bağlı 15 PAH bileşiğinin kaynaklarını, zamansal ve mekânsal değişimlerini incelemişlerdir. PM_{2.5} konsantrasyonlarını, ABD Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standardının yıllık hedefinden (15 µg/m³) daha yüksek bulmuşlar ve günlük konsantrasyonların, 24 saat sınırını (35 µg/m³) sırasıyla % 31 ve %25 oranlarında aştığını belirlemişleridir. Baskın PAH'ların, BaA, IcP, DahA ve Acy olarak olduğu bildirilmiştir. Endüstriyel ve yüksek trafiğe sahip ticari alanlardaki 15 PAH'ın konsantrasyonları, diğer alanların konsantrasyonlarından %385-680 daha yüksek bulunmuştur. Bazı bireysel PAH'ların (Ant, Pyr, IcP, BbF hariç), yağışlı mevsimde (Mayıs-Kasım) kurak mevsimden (Ocak-Nisan) daha yüksek konsantrasyonlarla mevsimsel eğilimler gösterdiği belirlenmiştir (p <0.001). Tüm örnekleme alanlarında kurak mevsimde düşük moleküler ağırlıklı (LMW) PAH'ların kütle yüzdesinin önemli ölçüde azaldığı, yüksek moleküler ağırlıklı (HMW) PAH'ların kütle yüzdesinin, partiküllerde tutulmasını sağlayan düşük buhar basıncı nedeniyle arttığı bildirilmiştir. Motorlu araçların bölgedeki toplam emisyonların % 62-74'ünü oluşturduğu belirlenmiştir.

Akhbarizadeh ve diğ. (2021), Basra Körfezi'nin kuzeyinde yer alan İran'ın Buşehr limanının kentsel bir bölgesinde gerçekleştirdikleri örneklemede PM_{2.5}'e bağlı PAH'ların kaynakları ve sağlık risklerini incelemişlerdir. Toplam PAH'ların, ortalama konsantrasyonunu 18,9 ± 23,8 ng/m³ olarak hesaplamışlar ve baskın PAH bileşiği olan Nap'ın, inhalasyonla insan vücudunda önemli rahatsızlıklara neden olabileceği belirtmişlerdir. PAH tanısal oranlarına göre, baskın kaynağın petrojenik kaynak (petrol, fosil yakıt, biyokütle ve atık yakma) olduğunu belirlemişlerdir. Benzer şekilde PMF kaynak analizi ile, 2-3 halka PAH'larla ilişkili petrojenik kaynakların (%42'lik oranla) ana kaynak olduğunu bulmuşlardır. Kışın hesaplanan B[a]P_{TEQ} değerinin (2,7 ng/m³) Avrupa sınır değerinden yüksek olması (1 ng/m³) Buşehr'in havasının kışın olduğundan daha toksik olduğunu göstermiştir. Kış mevsimi için hesapladıkları ECR değeri (4,5x10⁻⁵) Buşehr kentinde PAH'ların inhalasyonuna bağlı akciğer kanseri riskinin önemini ortaya koymuştur. LADD en yüksek seviyelerinin kış aylarına denk geldiği ve etkilerinin sırasıyla bebek grubunda (0,0023), yürümeye başlayan çocuk (0,018), çocuklar (0,012), ergen (0,011) ve

yetişkin (0,007) şeklinde olduğu belirtilmiştir. ILCR değerlerini kış aylarında diğer mevsimlere göre çok daha yüksek bulmuşlar ve en yüksekten en düşüğe doğru yetişkin ($3,4 \times 10^{-3}$)> ergen ($1,9 \times 10^{-3}$)> çocuklar ($6,7 \times 10^{-4}$)> yürümeye başlayan çocuk ($8,7 \times 10^{-4}$)> bebek ($2,2 \times 10^{-4}$) sıralamasını izlediğini bildirmişlerdir.

Andreou ve Rapsomanikis (2009), Atina'da (Yunanistan) kentsel iki örnekleme alanında (Athinias Caddesi ve AEDA belediye binasında) iki dönemde (sıcak ve soğuk dönemler) topladıkları PM_{2.5} örneklerinde PAH'ları incelemişlerdir. Σ PAH konsantrasyonunu, 0,01- 119,90 ng/m³ aralığında belirlemişlerdir. Soğuk (Mart)-Sıcak (Ağustos) dönem Σ PAH konsantrasyonu oranını 25,37 olarak belirlemişler ve geç kış koşullarında, muhtemelen merkezi ısıtma için artan "fuel-oil" kullanımının ve trafikten kaynaklanan daha yüksek PAH emisyonlarının bir sonucu olduğunu düşünmüşlerdir. Ozon veya atmosferdeki ve filtrelerdeki NO₃ ve OH gibi diğer atmosferik oksidanlarla reaksiyona bağlı olarak PAH'ın atmosferik ayrışması yaz aylarında daha yüksek olup, daha düşük PAH konsantrasyonlarına yol açabileceği belirtilmiştir. Σ PAH konsantrasyonlarının % 83-95'inin yanma kaynaklı PAH'lar olduğunu ve % 49-66'lık bir kısmının olası insan kanserojenleri (BaA, BaP, BbF, BkF, Chy, DahA, IcP) olduğunu tespit etmişlerdir. Mart ayında hesaplanan BgP /BaP oranları Athinias St.'da (3.36) ve AEDA'da (3.92) trafiğin PAH emisyonlarına katkıda bulunan ana kaynak olduğunu göstermiştir.

2012 yılında Taiyuan (Çin) Shanxi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsünde PM_{2.5}'e bağlı 16 PAH bileşiğininin kaynak tanımlama çalışması Zhang ve diğ. (2016) tarafından yapılmıştır. Tanı oranı analizine göre, tüm dönemde 0,40-0,5 aralığındaki Fl/(Fl+Pyr) oranı biyokütle ve kömür yanma ve araç emisyon kaynaklarını, ısıtma mevsimlerinde (ilkbahar ve kış) 0,35'ten büyük BaA/(BaA+Chy) oranı taşıt ve kömür yanma kaynaklarını, ısınmanın olmadığı mevsimlerde (yaz ve sonbahar) 0,35'in önemli ölçüde üzerinde olan BaA/(BaA+Chy) oranı araç emisyon kaynağını ve özellikle kışın 0,1'den çok daha yüksek Ant/(Ant+Phe) oranı kömür yakmanın kışın önemli bir kaynak olduğunu göstermiştir. Benzo(a)piren eşdeğeri (BaP_{eq}) değerlerine ve bireysel kanser risk oranlarına dayalı olarak yapılan PAH'ların risk değerlendirme sonuçlarına göre, PAH'ların toksisitesinin Taiyuan'da kış (18,38 ng/m³, $2,0 \times 10^{-5}$) ve ilkbahar (11,73 ng/m³, $1,3 \times 10^{-5}$) aylarında yüksek tespit edilmiştir. Ayrıca tüm yaş grupları için çalışma dönemi boyunca soluma

maruziyetinin (R_i) neden olduğu artan yaşam boyu kanser riski (ILCR) değerlerinin ilkbahar ve kış aylarında yüksek olması (10^{-6} 'dan daha büyük değerler) $PM_{2.5}$ kirliliğinin insan sağlığı için potansiyel bir kanserojen risk oluşturabileceğini ortaya koymuştur.

Guo ve diğ. (2021), ısıtmanın olmadığı (Temmuz-Ağustos) ve ısıtma (Kasım-Aralık) dönemlerinde, Heilongjiang'da (Çin) kömür üretilen beş şehirde ve petrol üretilen bir şehirde $PM_{2.5}$ örneğinde, 12 PAH'ın kaynaklarını ve sağlık risklerini incelemişlerdir. Kömür yakma, araç emisyonları ve biyokütle yakma kaynakları ısıtma periyodu boyunca $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyonlarının %55,4-%66,9'üne katkıda bulunduğu, açık kaynaklar, kömür yanması ve araç emisyonu, ısıtmasız dönemde $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının %5,7-%66,5'sini oluşturduğu bildirilmiştir. Çalışma dönemi boyunca daha yüksek moleküler ağırlıklı PAH'lar (dört veya daha fazla benzen halkası; BaA, BbF ve BaP) için daha yüksek konsantrasyonlar belirlenmişler ve toplam PAH₁₂ konsantrasyonlarının ($74,6 \pm 17,2 \text{ ng/m}^3$), ısıtma döneminde önemli ölçüde daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir ($p < 0,05$). $PM_{2.5}$ 'e bağlı PAH₁₂ konsantrasyonlarının kömür üretilen şehirlerde daha yüksek ölçüldüğü bildirilmiştir. ILCR ısıtma döneminde kömür üretilen şehirler ve petrol üretilen şehirler için sırasıyla $2,65 \times 10^{-9}$ ve $4,60 \times 10^{-9}$ ve ısıtmanın olmadığı dönemde sırasıyla $1,17 \times 10^{-8}$ ve $3,34 \times 10^{-8}$ olarak hesaplamışlardır. Sadece biyo-erişilebilir kısım dikkate alındığında, kömür üreten şehirlerdeki ve petrol üreten şehirlerdeki ILCR, ısıtma dönemi için sırasıyla %87,2 ve %82,1 ve ısıtılmayan dönem için sırasıyla %89,0 ve %80,1 azalmıştır.

Türkiye'de yapılan bir çalışmada Ocak-Aralık 2017 yılında Zonguldak'ın endüstriyel bir bölgesinde $PM_{2.5}$ numunesi toplanmıştır. $PM_{2.5}$ 'a bağlı baskın PAH'ların Pyr, Flt, BaA, Chy, BbF ve BaP olduğu tespit edilmiştir. Toplam PAH konsantrasyonlarının yazın $22,9 \text{ ng/m}^3$ 'e ve kışın $464,0 \text{ ng/m}^3$ 'e kadar çıktığı belirlenmiştir. $PM_{2.5}$ 'e bağlı toplam PAH ortalama yüzdeleri kışın $93,3 \pm 4,0$ ve yazın $84,0 \pm 7,3$ (%) olarak belirlenmiştir. Toplam PAH'ların kış-yaz oranları $PM_{2.5}$ için 46,2 olduğu belirtilmiştir. $PM_{2.5}$ için elde edilen yıllık ortalama Σ BaPE konsantrasyonu $14,09 \text{ ng/m}^3$ olarak belirlenmiş ve BaP'ın sağlık riskinin önemli olduğu bildirilmiştir. Tanı oranı analizi ile, $IcP/(IcP+BgP)$, $BaA/(BaA+Chy)$ ve BaP/BgP oranlarının (0,57, 0,52, 1,42) kömür yanması, $Flt/(Flt+Pyr)$ oranının (0,50) odun ve kömürün yanması,

Ant/(Ant+Phe) oranının (0,25) yanma süreçlerinin katkılarına gösterdiği belirtilmiştir. Yaptıkları PCA analizine göre, PM_{2.5}'e bağlı PAH'ların ana kaynakları kömür yanması (sırasıyla %80,8) ve araç emisyonları (%8,6) olduğu tespit etmişlerdir (Akyüz ve Çabuk, 2008).

Odabaşı ve diğ. (2015), İzmir'de iki örnekleme alanında (kentsel ve endüstriyel) ince (dp <2,5 µm) partikül numunelerinde PAH'ları belirlemişlerdir. İnce PM yüzdesi sıcaklıkla ve rüzgâr hızıyla (bileşiklerin %52'si için p <0.01) azalmıştır. Endüstriyel ve kentsel alanlarda PM_{2.5}'e bağlı toplam PAH konsantrasyonları sırasıyla 16,5±10,8, 19,4±12,5 ng/m³ olarak belirlemişlerdir. Toplam PAH'ların %85'inden fazlası ince parçacıklarla ilişkilendirilmiştir. PAH'ların ince fraksiyonunun genellikle moleküler ağırlıkları ile arttığını belirlemişlerdir. Flu'nun ince fraksiyonu her iki bölge için %50 iken, BgP'nin ince fraksiyonları sırasıyla endüstriyel ve kentsel bölgeler için %90 ve %97 olarak belirlenmiştir. PM_{2.5}'e bağlı toplam PAH'ların orta ile yüksek moleküler ağırlıklı bileşiklerinin (fluoranten, benzo[ghi]perilen) baskın olduğu bildirilmiştir.

2.2. Dış Ortamda PM_{2.5}'e Bağlı Eser Element Çalışmaları

Chen ve diğ. (2021), Yunlin (Tayvan) ve Changhua (Tayvan) kırsal alanlarından seçtikleri 6 örnekleme noktasından PM_{2.5}'e bağlı 17 eser elementin sağlık risklerini değerlendirmişlerdir. Toplam kanser riskini, kabul edilebilir riskin 3 katı (3,07x10⁻⁶) bulurken, kanserojen olmayan riskin ise kabul edilebilir aralık içinde (0,262) olduğunu tespit etmişlerdir. En önemli kanserojen riskli elementlerin As ve Cr, kanserojen olmayan riskli elementlerin ise Ni, V ve Mn olduğu belirtilmiştir. Sağlık risklerine başlıca katkıda bulunan kaynakların, yönetim stratejileri gerektiren belediye katı atık yakma tesisleri (0,510), kömür kazanları (1,432) ve yağ kazanları (0,754) olduğunu belirlemişlerdir. Kanserojen olmayan riski, kuzeydoğu musonunda güneybatı musondan yaklaşık 1,8 kat daha yüksek bulmuşlardır. Muson dönemlerinin kirlilik taşımamını etkileyebileceği ve PM_{2.5} konsantrasyonu ve sağlık riski üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir.

Hsu ve diğ. (2016), 2013-2014 yılları arasında Changhua, Tayvan'da ham petrol rafineri tesisleri ve sanayi bölgelerine yakın bir kırsal yerleşim bölgesinde PM_{2.5}'e

bağlı 26 eser elementin kaynaklarını ve sağlık risklerini değerlendirmişlerdir. PM_{2.5}'teki eser elementlerden Al'ın yüksek konsantrasyonda (1010 ng/m³) bulunan element olduğu bunu Ca, Mg, Fe ve Zn (100-1000 ng/m³)'nin izlediği belirtilmiştir. Yıllık olarak, eser elementlerin PM_{2.5} kütle konsantrasyonunun %11,5'ine katkıda bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Mevsimsel olarak, PM_{2.5}'teki çoğu eser element için ortalama konsantrasyonları, Al, Ca, V, Cr, Ni, Se ve Mo hariç, ilkbahar ve yaz aylarında daha yüksek bulmuşlardır. Seçilen eser elementlerin EF seviyesi tüm mevsimlerde benzer şekilde değişmiştir. Her mevsimde Mo, Sb, Zn, Cd, Mg, Cr, As, Cu, Pb ve Ni daha yüksek EF değerlerine (EF>5) sahipken, V, Ca, Co daha düşük EF değerlerine (1-5 arasında) sahip olduğunu belirlemişlerdir. EF değerlerinden kaynak tanımlamasına göre kömür yanması (Pb, As, Sb, Cr), trafik emisyonu (Cu, Cd, Sb, Mo), petrol yanmasının (Ni, V) PM_{2.5}'teki eser elementlere önemli katkıları olduğu sonucuna varmışlardır. PMF analiziyle, kömür yanması (Pb, Cd, As) ve yeniden asılı yol tozu ile fren aşınması (Sb, Mn, Zn, Fe), trafik emisyonu (Mo, Ca, Co, Mn, Fe), ikincil alüminyum izabesi (Al, Cr, V, Sr) ve yağ yanması (Ni) ile yeniden süspansedilmiş toz (Ba) ana kaynaklar olarak tespit edilmiştir. PM_{2.5}'te Ni, As ve ayarlanmış Cr (VI), diğer toksik metallere göre daha yüksek konsantrasyonlara ve/veya yüksek birim riskine sahip oldukları için en yüksek ECR'lerle (sırasıyla $0,8 \times 10^{-6}$, $7,6 \times 10^{-6}$, $15,3 \times 10^{-6}$) sonuçlandırıldığı belirtilmiştir. DSÖ'nün Hava Kalitesi Kılavuzu'nda belirtilen As, Ni ve ayarlanmış Cr (VI) sınır değerlerinin (PM_{2.5} için $4,3 \times 10^{-3}$, $2,4 \times 10^{-4}$, $1,2 \times 10^{-2}$) aşıldığı, halk sağlığı üzerindeki zararlı etkilere neden olabileceği bildirilmiştir.

Szigeti ve diğ. (2013), Haziran 2010-Mayıs 2011 tarihleri aralığında Széna Meydanı, Budapeşte (Macaristan) ve Maslak, İstanbul'da (Türkiye) kentsel alanlarda topladıkları örneklerde PM_{2.5}'e bağlı 21 eser elementin mikrodalga destekli aqua regia ekstraksiyonunu ve sonikasyon destekli su ekstraksiyonunu incelemişlerdir. İstanbul'daki tüm element konsantrasyonlarını, Budapeşte'den 1,2-20 kat daha yüksek bulmuşlardır. Mn, Zn, Co, Ni ve V konsantrasyonları İstanbul'da Budapeşte'den 2,2-19,6 kat daha yüksek bulunmuştur. Zn ve Tl, aqua regia ekstraksiyonuna göre en çok su ile ekstrakte edilebilen elementler olarak bulunmuştur.

Navarra'da (Kuzey İspanya) kırsal, kentsel ve kentsel-trafik alanlarında PM_{2.5}'e bağlı eser elementlerin kaynak dağılımları Aldabe ve diğ. (2011) tarafından araştırılmıştır. PM_{2.5}'teki toplam eser elementlerin %90-96'sını P, Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr, Sn, Ba ve Pb'nin oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Üç örnekleme alanı için Ti, Mn, Cu, Sb, Sn ve Pb'nin trafik örnekleme alanında, sırasıyla kentsel örnekleme alanına ve kırsal örnekleme alanına göre daha yüksek konsantrasyonlarda gözlemlendiği belirtilmiştir. As, Cd, Ni ve Pb için elde edilen ortalama konsantrasyonların, Avrupa Direktifleri (EC) (Ni: 20 ng/m³, As: 6 ng/m³, Cd: 5 ng/m³) ve DSÖ (Ni: 1 ng/m³, As: 1,3 ng/m³, Cd: 0,1 ng/m³, Pb: 0,6 ng/m³) tarafından belirlenen sınır değerlerin altında olduğu bildirilmiştir. PMF modeli ile, kentsel ve kentsel-trafik alanında kabuksal, ikincil sülfat (%33-37), ikincil nitrat (%14-17), trafik ve deniz tuzu partikülleri olmak üzere 5 ana kaynağı tanımlamışlardır. Trafik faaliyetleri, lastiklerin aşınması ve yıpranması, fren aşınması ve yağ yanması gibi olaylarının kentsel ve kentsel-trafik alanında Fe (%45) ve Mn, Zn, Cu, Sn ve Sb (%61, %40, %30, %41 ve %39) gibi eser elementlerin yüksek seviyelerine neden olması trafik kaynağının göstergesi olarak belirtilmiştir.

Buşehr'de (İran) PM_{2.5}'e bağlı ağır metallerin (HM'ler) konsantrasyonları, ekolojik ve sağlık riski değerlendirmesi ilk kez Faraji Ghasemi ve diğ. (2020) tarafından yapılmıştır. Eser elementlerin ortalama konsantrasyonlarının Fe (1,34 µg/m³)> Ni (0,03 µg/m³)> Pb (0,02 µg/m³); Cr (0,02 µg/m³)> Cd (0,01 µg/m³); V (0,01 µg/m³); Co (0,01 µg/m³) sıralamasını izlediği belirtilmiştir. Ortalama eser element konsantrasyonlarının mevsimsel değişimini yaz> kış> ilkbahar şeklinde tespit etmişlerdir. Potansiyel ekolojik risk (E_jⁱ) değerlendirmesine göre Ni (35,75), Cr (7,45) ve V (6,49) düşük (E_jⁱ<40), Pb (93,05) orta (80≤E_jⁱ<160) ve Cd (16.555,07) çok yüksek (E_jⁱ≥ 320) riskli olarak belirlemişlerdir. Potansiyel ekolojik risk indeksine (RI) (16.697,82) göre, numunelerin çok yüksek ekolojik riske sahip olduğunu bulmuşlardır (RI≥600). Çocuklarda ve yetişkinlerde tehlike oranının (HQ_{inh}<1) ve tehlike indeksinin (HI≤1) 1'in altında olması Buşehr kentinde soluma yoluyla PM_{2.5}'teki ağır metallere maruz kalmasının güvenli aralıkta olduğunu göstermiştir. Hem çocuk gruplarında hem de yetişkinlerde Cr'nin RI değerinin (2,76E-03 ve 1,24E-03) 1×10⁻⁴'ten yüksek olması, insanlarda kanser geliştirme riskinin yüksek

olduğunu göstermiştir. Her iki grup içinde Cd, Ni ve Pb için RI değerlerinin 1×10^{-4} - 1×10^{-6} arasında olması insan sağlığı için kabul edilebilir risk olarak kabul edilmiştir.

Talbi ve diğ. (2018), Algiers'de (Cezayir) kentsel ve trafik örnekleme alanlarında eser element seviyelerini ve kaynaklarını incelemişlerdir. Toplam ağır metal ortalamasının, trafik alanında ($26,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kentsel alandan ($13,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 2 kat fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Fe'nin her iki örnekleme alanında yüksek konsantrasyonlarda bulunmasında Sahra tozunun etkisi olduğu bildirilmiştir. Ana kaynağın Pb, Cr, Cu ve Mn yükleri ile ilişkili yeniden süspansiyon haline getirilmiş yol tozu ve egzoz emisyonları olduğu belirtilmiştir.

Choung ve diğ. (2016), Kuzeybatı Cheongju'nun (Kore) Ochang kırsal bölgesinde yaptıkları çalışmada, sonbahar örneklerinde toplam Fe, Cu, Mn, Pb, Zn, Ni, Cr, Co, As, Cd, Sr, Rb, Sn ve Sb konsantrasyonlarının PM_{2.5}'in yaklaşık %50'sinin üzerinde oluşturduğunu ve ağır metal taşınmasına önemli ölçüde katkıda bulunduğu tespit etmişlerdir. Komşu ülkelerdeki sanayileşme ve kentleşme süreçlerinin PM_{2.5}'in atmosferik konsantrasyonlarını kademeli olarak artırılabilirliğinden, bol miktarda PM_{2.5} parçacıklarının toprak ortamına ulaşarak çalışma bölgesinde toprak asitlenmesini artırabileceği tespit edilmiştir. Bu durumda, toksik ağır metallerin artan çözünürlüğünü ve hareketliliğini kolaylaştırarak ekolojik sistemde çevresel tehlikelere neden olabileceği bildirilmiştir.

Dieme ve diğ. (2012), Dakar'daki (Senegal) kentsel ve kırsal alanlarda PM_{2.5}'e bağlı inorganik bileşikler arasında, Fe, Al, Na, Mg, Ca ve Ti'nin baskın olduğunu belirlemişlerdir. Kentsel alanlarda ($7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $9,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kırsal alana ($2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) göre daha yüksek konsantrasyonlar tespit etmişlerdir. Senegal'de kurşunlu benzin kullanımının 2006'da yasaklanmasına rağmen PM'deki kurşun varlığını, eski tekniklerin kullanıldığı araç akülerinin yerel geri dönüşüm faaliyetleri ile açıklanmıştır.

Navarra'da (Kuzey İspanya) üç farklı lokasyonda (kırsal, kentsel ve kentsel-trafik) Aldabe ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada, PM_{2.5} örneklerinde, baskın elementlerin %90-96 katkı ile P, Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr, Sn, Ba ve Pb olduğu tespit edilmiştir. Ti, Mn, Cu, Sb, Sn ve Pb elementleri kentsel örnekleme alanlarında kırsal örnekleme alanlarına göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu

belirtilmiştir. PMF modeliyle, kentsel ve kentsel-trafik alanlarında eser elementlerle ilişkili, kabuksal (Ca ve Mg), trafik (Fe, Mn, Zn, Cu, Sn ve Sb) ve deniz tuzu partikül (Cl, Na ve Mg) kaynaklarını belirlemiştir. Kabuk kaynağının, büyük bir kısmının Kuzey Afrika'dan uzun menzilli toz taşınmasına bağlı olabileceği bildirilmiştir. Kırsal alanda Al, Ca, Ti ve Mg gibi toprak elementlerinin $5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ katkısının mineral tozunun %60'ının bölge dışındaki kaynaklardan taşındığını gösterdiği belirtilmiştir.

Amil ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada, Klang Valley (Malezya) kentsel-endüstriyel örnekleme alanında topladıkları $\text{PM}_{2.5}$ numunelerinde eser element kaynaklarının mevsimsel değişimlerini incelemiştir. Mevsimsel sonuçlar, çeşitli elementlerde (Cu, Rb, V, Ni) küçük bir fark ortaya çıkarmıştır. Güneybatı musonu sırasında trafikle ilişkili olduğu bilinen Cu, antropojenik kaynaktan oluşurken, diğer mevsimler boyunca kabuksal kaynaklardan oluştuğunu belirlemiştir.

Ledoux ve diğ. (2017), Mart-Nisan 2011 tarihleri arasında Saint Omer'de (Kuzey Fransa) kentsel alanda topladıkları numunelerde $\text{PM}_{2.5}$ 'e bağlı eser elementlerin yerel ve bölgesel kaynaklarını araştırmışlardır. As, Cu, Cr, Sn'nin maksimum konsantrasyonlarının yerel bir cam üretim fabrikasının rüzgâr yönünde kaydedilmiş ve bu elementlerin ana kaynağı olduğu belirtilmiştir. Ag, Fe, Cd, Mn, Rb ve Pb'nin ise örnekleme sahasından 35 km uzakta bulunan entegre çelik fabrikasının etkisiyle ilgili olduğu bildirilmiştir. Çalışma sahasından 5 km uzaklıkta bulunan yakındaki cam üretim fabrikasının etkisinin, çalışma sahasına 35 km mesafede bulunan entegre çelik fabrikası kaynağından daha düşük katkı sağladığı belirtilmiştir.

Li ve diğ. (2016), Güneydoğu Çin'in Nanjing'in eyaletinde kırsal ve kentsel alanda (Gulou) topladıkları numuneleri analiz etmişlerdir. PMF analiziyle, ikincil nitrat (NO_3^- , Cu, Zn, Pb, Ni, Cd), yol tozu (Al, Ba, Sr, Co, Pb, Cu, V, Zn, Ti), deniz tuzu ve gemi emisyonları (Na^+ , V, Mg^{+2}), kömür yakma (Cl^- , As), ikincil sülfat (SO_4^{-2} ve NH_4^+) ve demir ve çelik endüstrisi (Fe, K^+ , Mn, Cr, Ni, Ti, Zn) olmak üzere altı kaynak bulmuşlardır. Ayrıca, neredeyse tüm elementlerin en yüksek ortalama konsantrasyonları kışın ve çoğu elementin en düşük ortalama konsantrasyonları yazın tespit etmişlerdir. As yıllık konsantrasyonlarının, $6 \text{ ng}/\text{m}^3$ olan NAAQS sınırını, kışın

gözlenen ortalama Cd ve Ni konsantrasyonlarının, sırasıyla 5 ng/m³ olan NAAQS sınırını ve 25 ng/m³ olan DSÖ sınırını aştığı bildirilmiştir.

2003-2007 yılları arasında Algeciras Körfezi (Güney İspanya) çevresindeki dört örnekleme noktasında yaptıkları çalışmada Pandolfi ve diğ. (2011), nakliye emisyon kaynağının PM_{2.5}'e bağlı eser elementlere etkilerini araştırmışlardır. Nakliye emisyonları, PM_{2.5} için 0,8 La/Ce oranı ve 3 civarında V/Ni oranı ile karakterize edilmiştir. Yüksek La/Ce değerleri (1-5), rafineri zeolitik akışkan katalitik konvertör tesisinden kaynaklanan emisyonlara atfedilirken ve düşük ortalama V/Ni değerleri (yaklaşık 1) paslanmaz çelik tesisi emisyonlarına atfedilmiştir. Algeciras Körfezi'ndeki nakliyatın doğrudan katkısının 1,2–2,3 µg PM_{2.5}/m³ (%5–10) olduğunu tahmin etmişlerdir. Deniz taşımacılığının toplam katkısının (birincil emisyonlar + ikincil sülfat aerosol oluşumu) 4,1 µg PM_{2.5}/m³ (%17) olduğu bildirilmiştir. Nakliyatın, anlık endüstriyel emisyonlarla aynı büyüklükte veya daha yüksek emisyonlarla hava kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip bir kirletici kaynağı olduğu bildirilmiştir.

Rivas ve diğ. (2014), Barselona'da 36 okulda ve Sant Cugat del Vallès'da 3 okulda iç ortam ve dış ortam PM_{2.5} numunelerinde çocukların iç ve dış ortamda (okul oyun alanları) eser elementlere maruziyetini incelemişlerdir. Kumla kaplı oyun alanları olan okullardaki mineral bileşenler dış ortamda 16 µg/m³ ve iç ortamda 13 µg/m³ olarak bulunmuşken, asfalt oyun alanlarına sahip olan okullarda bu seviyelerin dış ortamda 4 µg/m³'e ve iç ortamda 8 µg/m³'e düştüğünü tespit etmişlerdir. Fren balatasının aşınmasına bağlı Sb ve Cu seviyelerini dış ortamlarda iç ortamlara göre sırasıyla 1,3 ve 1,1 kat daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Oyun alanlarında iç ortamlara göre daha yüksek seviyelerde ağır petrol yanması ve metalürjik faaliyetlerin (Zn, As, Cd, Cr, Co, Se, V, Ni ve Pb) etkilerini gözlemlemişlerdir. Sınıflarda dışarıya göre belirgin şekilde daha yüksek PM_{2.5} seviyelerinin bulunması, PM_{2.5} seviyelerini etkileyen önemli bir iç mekân kaynağı olduğunu düşündürmüş ve dış ortamdaki iç ortama önemli sızma olduğu bildirilmiştir.

Sulong ve diğ. (2017), Kuala Lumpur'da (Malezya) kentsel bir alanda pus öncesi, pus ve pus sonrası dönemler sırasında topladıkları numunelerde PM_{2.5}'e bağlı eser elementlerin kaynak dağılımını ve sağlık risklerini araştırmışlardır. Başlıca eser

elementlerin, sırasıyla pus öncesi, pus ve pus sonrası dönemlerde kaydedilen toplam elementlerin yaklaşık %93, %91 ve %92'sini oluşturan K, Al, Ca, Mg ve Fe olduğunu belirtmişlerdir. Pus sırasında önemli bir artış gösteren K elementi hariç diğer elementlerin hafif bir artış gösterdiği ve Zn, Cu, Ba ve Sr elementlerinin ise pus olmayan döneme kıyasla pus olan dönemde daha düşük konsantrasyonlar gösterdiği belirtilmiştir. PMF analizi ile, baskın kaynakların SIA ve biyokütle yakma (%38,5) ve trafik emisyonu (%22,4) olduğunu bulmuşlardır. Puslu dönemlerde baskın kaynakların SIA ve biyokütle yakma olduğu ve pus öncesi ve sonrası dönemlerinde baskın kaynakların, sırasıyla SIA, yol tozu ve mineral tozu olduğu bildirilmiştir. Yaptıkları kanserojen sağlık riski değerlendirmesi, puslu ve pusun olmadığı dönemde maruziyet sırasında tüm yaş grupları için kanserojen riskinin kabul edilebilir sınır içinde olduğunu ortaya koymuştur (1×10^{-6} - 1×10^{-4}). Tahmini sağlık riskinin yetişkin> yürümeye başlayan çocuk> ergen> çocuklar> bebek sıralamasını izlediği belirtilmiştir. Pus dönemi sırasında en yüksek kanserojen olmayan sağlık riski bebek grubunda gözlemlenirken (tehlike indeksi (HI) = 1,06), en yüksek kanserojen sağlık riskinin yetişkin grupta gözlemlendiği bildirilmiştir ($2,27 \times 10^{-5}$).

Soleimani ve diğ. (2018) yaptıkları çalışmada, İran'ın İsfahan kentinde kentsel ve endüstriyel bölgelerde bulunan 7 istasyonda PM_{2.5}'teki eser element kaynak tanımlamasını yapmışlardır. Atmosferdeki farklı potansiyel eser element kaynaklarının Cd, Cr, Mn, Cu, Ni ile ilişkilendirilen fosil yakıt yanması ve araç lastiklerinin aşınması (nakliye, Cr) (%49,61), endüstriyel faaliyetler (örneğin demir ve çelik endüstrileri) (%28,97) ve toz fırtınaları (%21,41) olduğu tespit etmişlerdir. Madencilik faaliyetleri ve toz fırtınalarından etkilenen kırsal örnekleme alanında maksimum Cd ($11,55 \text{ ng/m}^3$), As ($38,54 \text{ ng/m}^3$), Pb ($62,36 \text{ ng/m}^3$) ve Mn ($43,72 \text{ ng/m}^3$) konsantrasyonları belirlenmiştir. Trafik ve endüstriyel faaliyetlerden etkilenen istasyonlarda Ni ($76,17 \text{ ng/m}^3$), Cu ($166,82 \text{ ng/m}^3$) ve Cr ($152,67 \text{ ng/m}^3$) maksimum konsantrasyonlarının görüldüğü bildirilmiştir.

González ve diğ. (2017), Meksika'daki Monterrey Metropolitan Bölgesi'nde (MAM) X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ile gerçekleştirdikleri PM yüzey analiziyle, baskın olan metallerin Al, Ca ve Na olduğunu, ardından Mg, Zn ve Cu olduğunu tespit etmişlerdir. Toksikolojik açıdan önemli olan Pb, As, Fe ve Ni gibi elementlerin PM'nin yüzeyinde XPS tarafından tespit edilmemesinin, karbon gibi elementlerin

parçacıkların yüzeyinde birikmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkan maskeleme etkisine bağlanabileceği ve bu teknik kullanılarak tespit edilmesi zor olabileceği bildirilmiştir.

Türkiye’de Onat ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul’da karayoluna yakın örnekleme alanında, PM_{2.5}’e bağlı eser elementler incelenmiştir. Baskın elementin PM_{2.5} kütlesinin %13,4’ünü oluşturan kabuk malzemesi olan Si elementi olduğu bildirilmiştir. PM_{2.5}’in %3,9’unun Al, Na, Ca ve Mg’den oluştuğu bulunmuştur. As (0,8 ng/m³), Cr (19,6 ng/m³), V (2,5 ng/m³) ve Mn (42,2 ng/m³) gibi kanserojen ve toksik elementlerin konsantrasyonlarının DSÖ (As: 0,0015 µg/m³, V: 1 µg/m³, Mn: 0,15 µg/m³) ve EPA (Cr: 1 µg/m³) sınır değerlerinden daha düşük olduğu belirtilmiştir. S, Cr, Zn, Cu ve K’nın yüksek yüklerine (%50) bağlı olarak ana kaynağın antropojenik faaliyetlerden, özellikle trafik (egzoz ve egzoz dışı) emisyonlardan kaynaklandığını bulmuşlardır. Diğer kaynakların ise As, V ve Co (%16,4-%39,8) yükleriyle ilişkili yağ yanması ve Mn’nin yüksek yüküyle ilgili doğrudan emisyon kaynakları olduğunu belirlemişlerdir.

Öztürk ve Keleş (2016), Aralık 2014-Şubat 2015 tarihleri arasında Bolu’da kentsel örnekleme noktasında kış döneminde topladıkları PM_{2.5} örneklerinde eser elementleri incelemişlerdir. Pb, V, As ve Mn konsantrasyonlarının DSÖ sınır değerlerinden (sırasıyla 500, 1000, 6,6 ve 150 ng/m³) önemli ölçüde düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. PM_{2.5} ile sıcaklık arasında negatif korelasyon belirlemişlerdir. Bu da düşük sıcaklıklarla artan evsel ısınmanın PM kütle konsantrasyonunu arttırdığı sonucunu ortaya koymuştur. Kabuk parametreleri ve sıcaklık arasında pozitif bir korelasyon belirlemişler, bunun da yine kuru toprağın yeniden süspansiyonuna bağlı partikülü artırdığını bildirilmişlerdir. Sıcaklık düştüğünde, ortam havasında antropojenik parametrelerin konsantrasyonlarının arttığı bildirilmiştir. Si, Al, Mg, Fe, Na ve Ti’nin toprak kökenlerini gösteren yaklaşık bir ZF değerlerine (1,0) sahip olduğu, K, V, Ba ve Mn’nin örnekleme sahası etrafındaki yerel toprak kompozisyonunun yanı sıra antropojenik kaynakların, PM’nin ölçülen kimyasal bileşimine katkıda bulunduğunu gösteren bir ZF değerine (1,0-10) sahip olduğu bildirilmiştir. Ca ve Cu <100 ZFc değerine sahip olduğunu belirlenmişler ve bu elementler için kütle boyut dağılımına bakıldığında 1 µm’den küçük çapa sahip partiküllerde Ca kütlesinde hafif bir baskınlık olduğu ve bu durumun kısmen yerel

çimento fabrikası ve kısmen şehir içinde yapılan inşaat tesislerine atfedildiği belirtilmiştir. Faktör analizine dayalı kaynak tahminiyle, PM_{2.5}'te ilk faktörü yüksek Pb, As, K, S, Zn ve orta derece Na yüküyle (> 0,60) kömür ve biyokütle yanma kaynağı (%53,3), ikinci faktörü yüksek Ca, Mn ve orta derece Na yüküyle (> 0.60) kabuk kaynağı (%20,5) ve üçüncü faktörü yüksek V yüküyle yağ yanma kaynağı olarak tanımlamışlardır. Örneklem dönemi boyunca 8 toz olayı gözlemlenmiş ve ilk 6 toz olayının muhtemelen atmosferdeki yerel tozun yeniden süspanse edilmesiyle ilişkili olduğu bildirilmiştir. 31 Ocak ve 1 Şubat'ta, yerel olarak lodos olarak bilinen kuvvetli güneybatı rüzgârları Türkiye'yi vurmuş ve iki Sahra tozu olayı gözlemlendiği belirtilmiştir. Tozlu günlerde ortalama Mg, Si ve Al konsantrasyonlarının, tozsuz günlerde tespit edilenlerden en az altı kat daha yüksek olduğu bildirilmiştir. İnce fraksiyonda, Mg, Si ve Al gibi kabuksal PM bileşenlerinde ve Ca, Ti ve Na'da 3 kat, Fe, V, Mn ve K'da 1,3-1,7 arasında artış tespit etmişlerdir.

Pekey ve diğ. (2010), Türkiye'nin sanayi bölgelerinden Kocaeli'de kentsel ve endüstriyel alanlardan seçtikleri 15 evde iç ve dış ortamda PM_{2.5} elemental kompozisyonunu ve mevsimsel değişimi değerlendirmişlerdir. Dış ortamdaki Al, Si, Ca, Ti, V ve Fe ortalama konsantrasyonlarının, iç ortam ortalama konsantrasyonlarından önemli ölçüde yüksek olduğunu belirlemişlerdir (t-testi, P <0.05). Dışarıdaki kirletici kaynakların iç mekân kirliliğine katkısının yaklaşık %70 olduğunu tespit edilmişlerdir. Kabuk elementlerinin çoğu ve Cr, Zn, As ve Pb gibi bazı antropojenik elementler de dahil olmak üzere, yazın iç mekân ve dış mekân element konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı korelasyonlar gözlemlendiği (P <0.05), kışın gözlenen korelasyonların nispeten düşük olduğu gözlemlendiği ve dış ortam kirleticilerinin iç ortam kirliliğine katkısının kışa göre yazın daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Yaz/kış (S/W) oranlarının 1'den yüksek olması kabuk elementlerinin konsantrasyonlarının yazın kışa göre daha yüksek olduğunu gösterdiği belirtilmiştir. S/W oranlarını, endüstriyel süreçlerden ve motorlu araçlardan yayılan antropojenik kirleticiler için 1'den düşük olarak belirlemişlerdir. Faktör analiziyle, kirli toprak, endüstri, motorlu araçlar ve fosil yakıt yanması kaynakları tanımlanmışken, iç ortamda fosil yakıt yanma kaynağı yerine sigara içicilik kaynağı tanımlanmışlardır. Sigara içilen evlerin iç mekân S ve K konsantrasyonlarının, sigara içilmeyen evlerin konsantrasyonlarından önemli ölçüde

daha yüksek olduğu belirlenmiş (eşleştirilmiş t-testi, $P < 0.05$) ve sigara içme ile ilgili elementler olarak tanımlandıkları belirtilmiştir. Şehrin küçük alanı nedeniyle yerleşim alanlarına yakın konumlanmış çeşitli süreçlere sahip çok sayıda sanayi tesisi bulunduğundan, endüstriyel emisyonların Kocaeli'de hem iç hem de dış kirlilik üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir.

23 Temmuz 2014-23 Temmuz 2015 tarihleri arasında Akdeniz kıyısında yer alan Antalya'nın kentsel bir alanında Tepe ve Doğan (2021) yaptıkları çalışmada, $PM_{2.5}$ örneklerinde eser elementleri tespit etmiştir. Baskın elementlerin Ca, Si ve S olduğunu bulmuşlardır. Kirleticilerin uzun menzilli taşınması sırasında ikincil sülfatın oluşumuyla, yaz mevsiminde S konsantrasyonlarının kış mevsimine göre daha yüksek gözlemlendiği bildirilmiştir. Kıyı bölgesinde örnekleme yapıldığından Na konsantrasyonlarının diğer bölgelere göre daha yüksek olması beklenmiş, ancak Na konsantrasyon değerlerinin beklenenden düşük olduğu tespit edilmiştir. ZF değerlerine göre K için toprağın yazın önemli kaynak olduğu ve kış mevsiminde yerel odun yanmasından kaynaklandığını tespit etmişlerdir. As'ın tüm ZF değerleri 10'dan yüksek bulunmuş ve kabuk dışı kaynakların bölgede her zaman aktif olduğu belirtilmiştir.

3. MATERYAL METOT

3.1. Örnekleme Alanı

Türkiye'nin sanayi ve ticaret şehri olan Kocaeli ili İzmit ilçesi çalışma bölgesi olarak belirlenmiştir. Kocaeli ili, 29° 22'-30° 21' doğu boylamı ile 40° 31'-41° 13' kuzey enlemi arasında yer almaktadır. Güneyinde Bursa, Yalova, İstanbul, İzmit Körfezi, batısında Marmara Denizi, kuzeyinde Karadeniz ve doğusunda Sakarya ili yer almaktadır. Kocaeli ilinde dağlar toplam alanın %18,8'ini oluşturmaktadır. Kocaeli topraklarının İzmit Körfezi kuzeyindeki büyük bölümü, güneyden kuzeye doğru eğimli ve az engebeli bir yayladır. Bu yayla, Karadeniz'e doğru akan suların vadileriyle yarılmış, yer yer tepelerle kabaran bir görünüme sahiptir. Bu yaylanın yüksek kesimi güneyde İzmit Körfezi dolaylarındadır. İzmit'in kuzeyinde hiçbir tepenin denizden yüksekliği, 350 metreyi aşmamaktadır. İzmit Ovası çukur alandır. Kocaeli ilinin İzmit Körfezi güneyinde kalan kesimi ise dağlıktır. Sakarya Nehri'nin batı yakasından başlayarak Pamukova ve İznik Gölü'nün kuzeyinde Bozburun'a kadar uzanan Samanlı Dağları İzmit, Sapanca ve Adapazarı çöküntü alanına hâkim bir konumdadır. Bu dağlar, batı-doğu doğrultusunda uzanır. 130 km uzunlukta ve 30 km genişliğindedir. Kocaeli'de arazi genel olarak fazla eğimlidir; %0-5 eğime sahip olan düzlükler az yer tutar. İzmit Körfezi ve Sapanca Gölü arasında geniş yer kaplayan düzlük alanda yer yer bataklıklara rastlanır. Günümüzde yerleşim alanı olarak kullanılan dereler ile bölünmüş düzlük alanların oluşumu tektonik olaylarla ilgili olduğu için buralardan ani meyil değişiklikleriyle tepelere çıkılır. İzmit Körfezi'nin kuzeyinde Üçtepelere, güneyinde Yukarı Değirmendere'ye dik %40'ı geçen meyillerle çıkılır. Körfez kıyıları boyunca kentin yerleştiği alan, geniş düzlüklerden mahrum, dar ve kıyıya paralel uzanan bir banttır. Topoğrafya şartları şehri birbirine benzemeyen iki büyük kısma ayırmaktadır: Birinci kısım meyilli yamaçlar üzerinde, dar ve yokuşlu sokakların bulunduğu eski mahallelerin olduğu alanlar, ikinci kısım ise düzlük alana yayılmış, kara ve demiryolunun içinden geçtiği bölge. Ancak özellikle 1999 depreminden sonra kentin gelişim ivmesinin planlama çalışmaları ile değişmesi ve kuzeye yönlendirilmesi nedeni ile 2000'li yıllardan sonra

zeminin sağlam olduğu, yerleşime uygun eğim yüzdesine sahip gelişme bölgeleri bir üçüncü bölge olarak karşımıza çıkmaktadır. Planlama değişikliğine konu bölge, Devlet Demiryolu ile kıyı kenar çizgisi arasında oldukça düşük eğimli bir yapıya sahiptir.

Kocaeli, en küçük 8. il olmasına rağmen en yoğun nüfusa sahip 2. il olması, Avrupa ve Asya'yı birbirine bağlayan kara ve deniz yollarının üzerinde olması ve ülke imalat sanayinde %13'lük paya sahip olması nedeniyle ciddi çevre sorunlarıyla yüzleşmesi muhtemeldir. Sektörel bazda değerlendirildiğinde, elektrikli makineler, makine imalat, otomotiv ana ve yan sanayi, kimya, plastik ve kauçuk, demir-çelik, metal ürünleri gibi sektörlerin ön plana çıktığı görülmektedir. Kimya sanayinde Türkiye'nin en büyük sanayi kuruluşu olan TÜPRAŞ Petrol Rafinerisi Kocaeli'de faaliyet göstermektedir. Çalışma alanı olan İzmit ilçesi Kocaeli ilinin merkezinde yer almakta olup, jeolojik ve coğrafi yapı açısından 40°-41° kuzey enlemleri ile 29°-31° doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlçe 363,416 kişilik nüfusa ve 18,71 km²'lik belediye sınırları, 39,33 km²'lik mücavir alan olmak üzere toplam 58,04 km² yüzölçümüne sahiptir. Asya ve Avrupa'yı birbirine bağlayan Marmara Denizi'nin ve Marmara Bölgesi'nin doğusunda yer alan bir şehirdir. Kara, demir, deniz ve hava yolu ulaşmaları ile Türkiye'nin en önemli geçiş noktalarından biridir. Kendiyle aynı ismi taşıyan körfezin doğu yakasında yer alan İzmit, bir kıyı şehridir. İlçe daha çok yerleşim bölgesi olsa da otomotiv, sunta, atık yakma tesisi, lastik fabrikaları, TEM ve E-5 otopanlarından kaynaklı araç emisyonları ve İzmit'e yakın çevresinde bulunan rafineri, kimyevi endüstriler, küçük sanayi, liman gibi önemli emisyon kaynaklarına oldukça yakındır. Ayrıca Asım Kibar Organize Sanayi Bölgesi ve Alikahya Organize Sanayi Bölgesi bulunmaktadır. İzmit iklimi, Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasındadır. İlçede yazlar sıcak ve az yağışlı, kışlar yağışlı, zaman zaman karlı ve soğuk geçmektedir. Kocaeli ilinde yıllık ortalama sıcaklık 14,8 °C, yıllık ortalama güneşlenme süresi 67,6 sa, yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 131,5 gün ve yıllık ortalama yağış miktarı 816,4 mm'dir (URL-7).

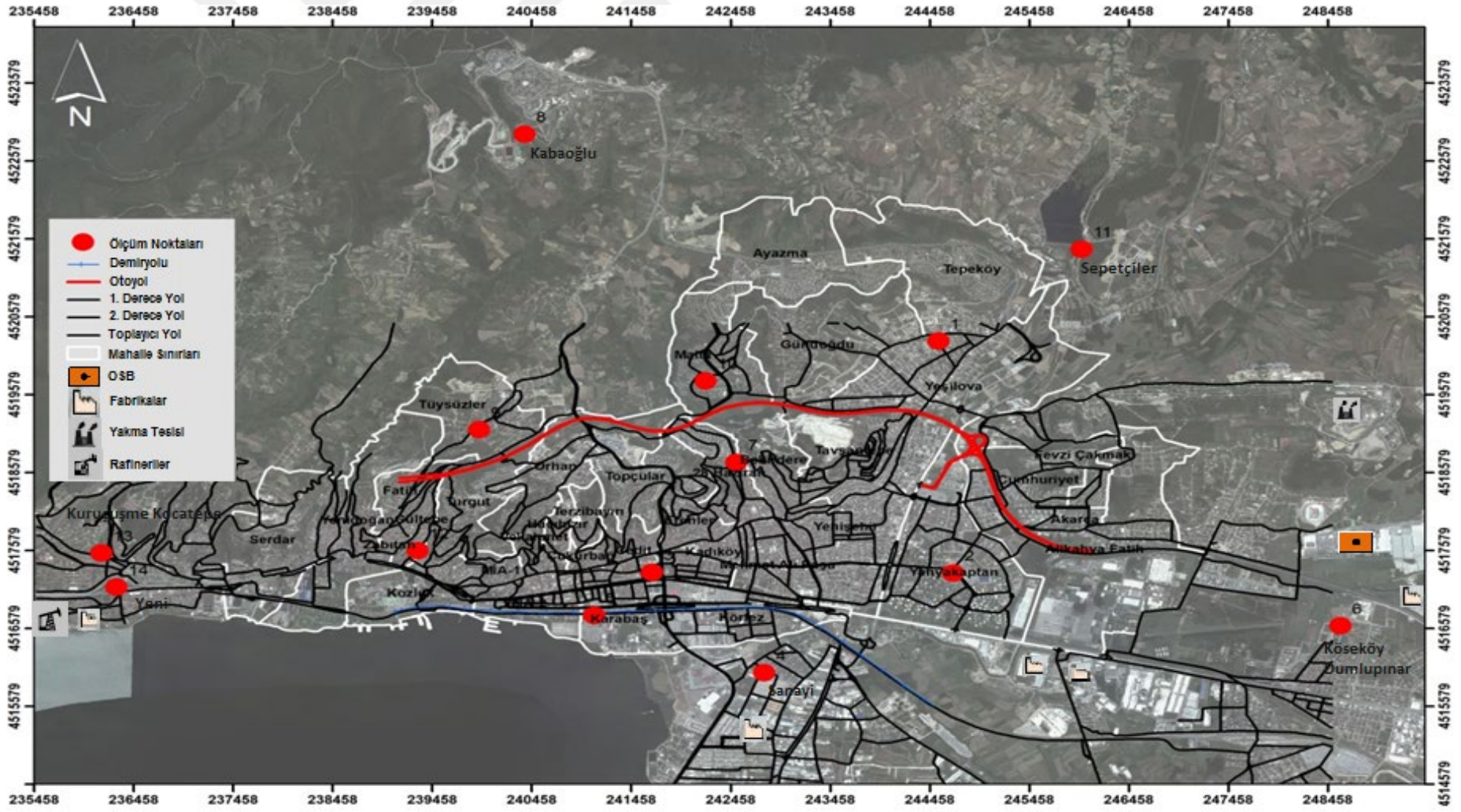
Hava kirliliği, su veya katı atık kirliliği gibi sadece kirliliğin kaynaklandığı çevreyi etkilemesinin yanı sıra meteoroloji ve kirleticinin kimyasal özelliklerine bağlı olarak uzun mesafelere taşınabilmektedir. Bu sebeple İzmit ilçesi için hava kirliliği

değerlendirilmesi yaparken sadece İzmit ilçe sınırlarında bulunan kaynaklar değil Kocaeli ilinde bulunan kirletici kaynakları göz önüne alınmıştır.

Dış ortam örnekleri için yerleşim yoğunluğu, endüstriyel bölgelere yakınlık ve trafik yoğunluğu dikkate alınarak İzmit İlçesi'nde 14 ayrı örnekleme noktası belirlenmiştir. Örnekleme noktaları ve özellikleri Tablo 3.1'de, konumları ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Örnekleme noktaları ve bilgileri

	Örnekleme Noktaları	Nokta Açıklaması	Nokta Özelliği
1	Yeşilova Mahallesi	Park ve Bahçeler Müdürlüğü	Kentsel
2	Yahyakaptan Mahallesi	İrem Rehabilitasyon Merkezi	Kentsel
3	Cedit Mahallesi	Anıtpark	Trafik
4	Sanayi Mahallesi	Çarşı Yapı Sitesi	Kentsel
5	Karabaş Mahallesi	Kocaeli Büyükşehir Belediye Binası	Trafik
6	Köseköy Dumlupınar Mahallesi	Marmara Koleji	Kentsel
7	28 Haziran Mahallesi	Ulubatlı Hasan Ortaokulu	Kentsel
8	Kabaoğlu Mahallesi	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Kırsal
9	Tüysüzler Mahallesi	Bina Bahçesi	Kentsel
10	Malta Mahallesi	Kuvayi Milliye İlkokulu	Kentsel
11	Sepetçiler Mahallesi	Fen İşleri Müdürlüğü	Kentsel
12	Gültepe Mahallesi	İnkılap Ortaokulu	Kentsel
13	Kuruçeşme Kocatepe Mahallesi	Kocatepe Ortaokulu	Kentsel
14	Yeni Mahallesi	Karayolları Binası	Trafik



Şekil 3.1. Örnekleme noktalarının konumları

Yeşilova Mahallesi, Kocaeli il merkezinin kuzey doğusunda yer alıp, D-605 Yeni Kandıra Karayolu ve TEM otoyollarının sınırlarda bulunduğu bölgededir. Örnekleme bölgesi, İzmit Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü alanında kamyonların yoğun çalıştığı ve toprak tozunun yaz döneminde yoğun olduğu bir alandır.

Yahyakaptan Mahallesi, Kocaeli il merkezinin doğusunda İstanbul-Ankara D-100 Karayolu, D-605 Yeni Kandıra Karayolu ile TEM otoyolunun arasında yer almaktadır. Düzenli bir yerleşim sahiptir ve toplu konutlar ve villalardan oluşmaktadır. Mahallede, bir AVM ve İzmit Otogarı bulunmaktadır. Isıtma genel olarak merkezi ısıtma ile gerçekleştirilmektedir.

Cedit Mahallesi, Kocaeli il merkezinin kuzeybatısında İstanbul-Ankara D-100 Karayolu ile TEM otoyolunun arasında yer almaktadır. Güneyinde Turan Güneş Caddesi, batısında Topçular Sokağı, doğusunda Gazanfer Bilge Bulvarı, kuzeyinde ise Akçakent, Erenler-Cedit ve Umutkent toplu konutları yer almaktadır. Cedit Mahallesi, içinden dereyatağı geçen, oldukça eğimli, heyelan riski taşıyan, çarpık kentleşmenin olduğu 126,221 m²'lik bir alandır. Mahallede 1 ilkokul, 1 cami, 14 ticaret, 4 konut+ticaret, 484 konut vardır. %95,7'lik bir oranla alanda en çok var olan fonksiyon konuttur. Yapılan tespitlere göre; 1 katlı 140, 2 katlı 175, 3 katlı 108, 4 katlı 54, 5 katlı 22, 6 katlı 7 yapı olmak üzere toplam 506 yapı bulunmaktadır. Isıtma amaçlı doğalgaz kullanımının yanında, altyapı problemleri nedeniyle kömür kullanımı da oldukça fazladır. Mahalle, sınırında yer alan Devlet Hastanesi, AVM, Perşembe günleri kurulan semt pazarı ve rakımı 22 m olan Santral Yokuşu nedeni ile trafik emisyonlarına maruz kalmaktadır.

Sanayi Mahallesi, Kocaeli il merkezinin güneyinde yer almaktadır. Doğusunda Yalova-İzmit D-130 Karayolu ve batısında Ömer Türkçakal Bulvarı bulunmaktadır. Sanayi Mahallesinde, 2 AVM, 1 tanesi oto sanayi sitesi olmak üzere 3 Sanayi Sitesi ve bir yapı sitesi mevcuttur. Türkiye'nin en büyük ve başarılı sanayi sitelerinden biri olan Sefa Sirmen Sanayi Sitesi 411,936 m² alan üzerine kurulu olup, bünyesindeki çoğu firma yurt dışına büyük ölçüde ihracat yapmaktadır. Sitede üç değişik tipte 905 atölye, 221 adet acenta satış işyeri, 1 adet merkez idare binası, 17 adet çayocağı, 6 adet Büfe, Taksi durağı, Berber, Restaurant, Cami ve müstemilatı, Kanalizasyon pompa istasyonu, PTT, Eczane gibi tesisler vardır. Mahallede yerleşim

gecekonduklardan oluşmaktadır ve ısınma amacıyla kömür tüketimi fazladır. Benzer şekilde sanayi sitelerinde doğalgaz mevcut olup, isteyen işyerleri ısıtma ve üretimde kullanılmaktadır. Fakat yine de işyerlerinde yoğun bir şekilde ısınma amacıyla atıklar ve kömür yakılmaktadır.

Karabaş Mahallesi, Kocaeli il merkezinde yer alıp, İzmit Körfezine kıyısı bulunmaktadır. İstanbul-Ankara D-100 Karayolu mahalleyi ikiye ayırmaktadır. Mahallede, İzmit Fuarı, 1 AVM, Büyükşehir Belediye binası, Adliye ve Kültür Sitesi yer almaktadır. Yerleşim toplu konutlardan oluşmaktadır. Isınma amacıyla daha çok doğalgaz kullanılmaktadır.

Köseköy Dumlupınar Mahallesi, İzmit ilçe sınırında yer almakta olup, İzmit kentine etkisi amacıyla seçilmiştir. Mahalle, İzmit ilçesinin doğusunda İstanbul-Ankara D-100 Karayolu ile TEM otoyolunun arasında kalmaktadır. Kuzeyinde Asım Kibar OSB, kuzeydoğusunda galvaniz ve sunta-mdf fabrikaları, Batı ve güneyinde lastik üretim fabrikaları ve güneydoğusunda Köseköy Küçük Sanayi Sitesi yer almaktadır. Mahalle, toplu konut, gecekondu ve villalar olmak üzere karışık bir yerleşime sahiptir. Örnekleme bölgesi villaların bulunduğu sitede yer alıp, burada şöminelerde odun tüketimi fazladır.

28 Haziran Mahallesi, eğimli bir arazide bulunmaktadır. Mahallenin, bir bölümü gecekondu bir bölümü ise Kent Konut toplu konutlarından oluşmaktadır. Isınma amacıyla odun ve kömür ve doğalgaz kullanılmaktadır.

Kabaoğlu Mahallesi, Kocaeli il merkezinin kuzeyindedir. Kuzeyinden Kuzey Marmara otoyolu ve güneyinden TEM otoyolu geçmektedir. Örnekleme Kocaeli Üniversitesi kampüsünde gerçekleştirildi. Yakınında Kocaeli Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi ve birçok yurt yer almaktadır. Örnekleme dönemlerinde de hastane ek binaları ve yurt yapım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Örnekleme bölgesi köylere çok yakındır ve bu köylerde yazın anız yangınları çok fazladır.

Tüysüzler Mahallesi, Kocaeli il merkezinin kuzeybatısında ve TEM otoyolunun kuzeyindedir. Mahalle eğimli bir alandadır ve mahallede villalar ve toplu konutlar yer almaktadır.

Malta Mahallesi, Kocaeli il merkezinin ve TEM otoyolunun kuzeyindedir. Mahalle eğimli bir alandır. Mahalle, toplu konutlardan oluşmaktadır.

Sepetçiler Mahallesi, Kocaeli il merkezinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Bölgede çok fazla yerleşim olmayıp, olanlar ise gecekondular yerleşkesidir. Bu bölgede örnekleme, İzmit Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü binasında gerçekleştirildi. Bölgede daha çok fazla ağır taşıt trafiği olup, yol çevresinin bakımsız olması nedeni ile yol tozu çok fazladır.

Gültepe Mahallesi, Kocaeli il merkezinin batısında İstanbul-Ankara D-100 Karayolu ile TEM otoyolunun arasında yer almaktadır. Mahallenin, güneydoğusunda halk otobüslerinin batı terminali ve güneybatısında ise İzmit Seka Devlet Hastanesi bulunmaktadır. Mahalle eğimli bir bölge olup, yerleşim toplu konut ve gecekondulardan oluşmaktadır. Isınma amacıyla kömür tüketiminin oldukça fazla olduğu noktalardandır.

Kuruçeşme Kocatepe Mahallesi, Kocaeli il merkezinin batısında yer almaktadır. TEM otoyolu mahalleyi iki bölgeye ayırmaktadır. Mahallenin güneyinde İstanbul-Ankara D-100 Karayolu İzmit Batı gişeleri bulunmaktadır. Mahalle eğimlidir ve yerleşim gecekondulardan oluşmaktadır. Isınma amacıyla kömür tüketiminin oldukça fazladır.

Yeni Mahallesi, Kocaeli il merkezinin batısındadır. Örnekleme trafik yükünü temsil etmesi için İstanbul-Ankara D-100 Karayolu İzmit Batı gişelerinde bulunan Karayolları Hizmet binasının bahçesinde gerçekleştirildi. Örnekleme bölgesinin güneyinde bölgeye oldukça yakın bir piston fabrikası vardır. Bölgede yerleşim toplu konutlardan oluşmaktadır.

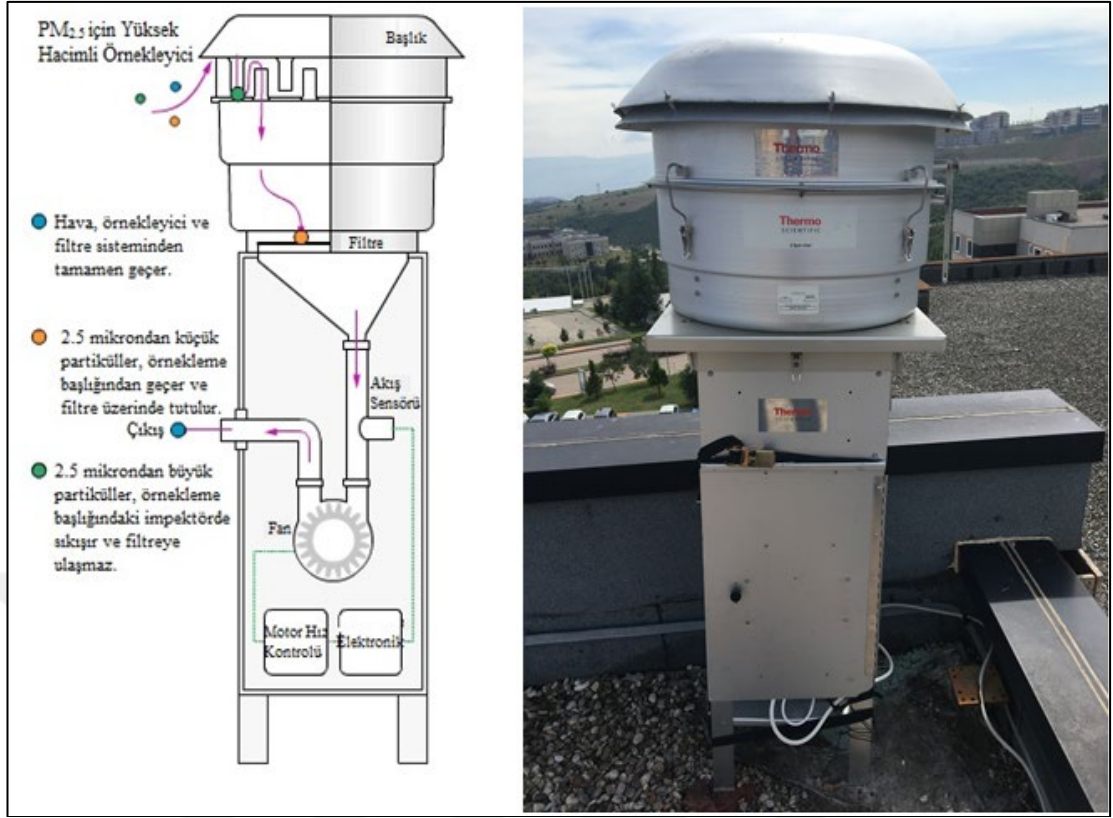
3.2. PM_{2.5} Örnekleme ve Konsantrasyon Hesaplanması

Örneklemede kontaminasyonu en aza indirmek için tüm filtreler dikkatlice kullanıldı. Filtrelere dokunmak için pudrasız eldivenler kullanılmıştır. Tüm filtreler, örneklemeden önce incelenmiş kusurlu filtreler örneklemede kullanılmamıştır. Görsel incelemeye geçen quartz filtreler (203 mm x 254 mm, PALL TissuQuartz) örneklemeden önce kül fırınında 5 saat boyunca 500 °C'de şartlandırıldıktan sonra,

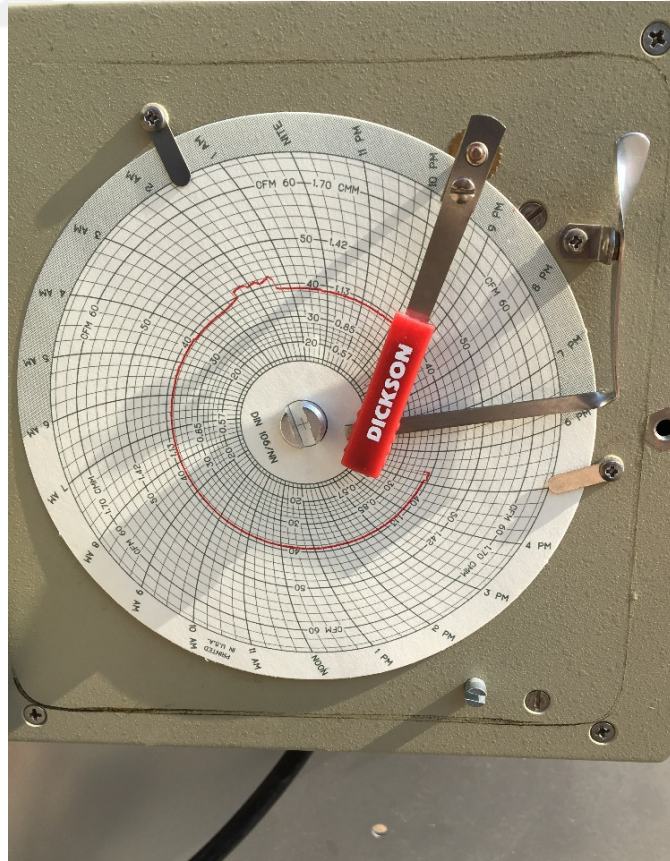
24 ± 5 °C ve %50 ± 5 nem olan iklimlendirilmiş odada 24 saat boyunca desikatör içinde sabit tartıma gelmesi için bekletilmiştir. Filtreler örneklemeden önce kaba filtreye sarılıp hava geçirmeyen zip poşetler içerisine alınmıştır. Örneklemenin yapılacağı gün kalibrasyonu kontrol edilmiş 5 basamaklı hassas terazide (Sartorius SECURA224-1S) filtrelerin ilk tartımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Örneklemede PM_{2.5} Yüksek Hacimli Hava Örnekleme (Thermo Scientific) kullanılmıştır (Şekil 3.3). Cihaz 1,13 m³/dk'lık akış debisi ayarlanmıştır. Akışın kontrolü için her örnekleme öncesi cihaza akış kartı yerleştirilmiştir ve örnekleme bittiğinde kontrol edilmiştir (Şekil 3.4). Örnekleme, ilk tartımı gerçekleştirilen boş filtre ile sabah 08:00 civarında başlatıldı ve ertesi gün saat 08:00'de bitirilmiştir. Örnekleme durdurulup, içerisindeki filtre çıkartılmıştır ve zip poşetine yerleştirilmiştir. Örnekleme alanlarında, filtreler cihazlara yerleştirilirken ve çıkartılırken daima pudrasız eldiven kullanılmıştır. Örnekleme süresi, EPA (1983)'nin önerdiği şekilde 24 ± 1 saat ile sınırlandırılmıştır. Örnekleme noktaları, filtre numaraları, örnekleme tarihleri ve saatleri, örnekleme öncesi ve sonrası filtre kütle ağırlıkları, örnek alma periyodundaki meteorolojik koşulları (24 saat), akış kartındaki filtreden geçen toplam hava hacmi ve 24 saat içinde meydana gelen kayda değer olayları (elektrik kesintileri, cihaz arızası vb.) içeren bir örnekleme formu da doldurulmuştur.



Şekil 3.2. Örnekleme filtre tartımı



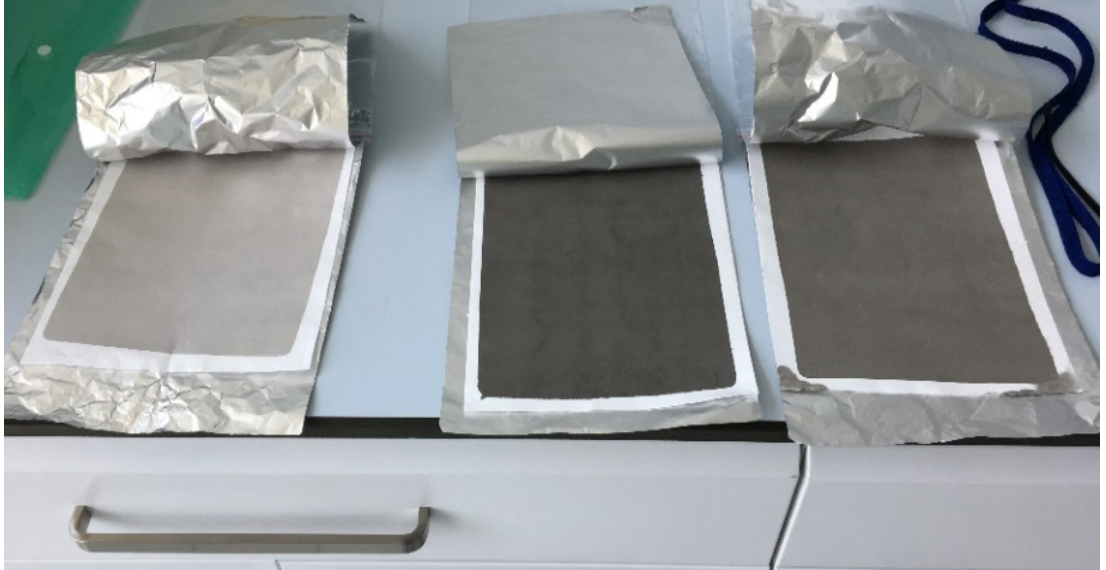
Şekil 3.3. Örneklemede kullanılan Yüksek Hacimli Hava Örnekleycisi



Şekil 3.4. Örnekleyci hava akış kontrol diyagramı

Örnekleme yaz dönemi 04.07.2018 – 09.09.2018 ve kış dönemi 28.11.2018-15.01.2019 tarihleri aralığında 2 örnekleme döneminde gerçekleştirilmiştir. Her örnekleme noktası için hafta içi 2 örnek hafta sonu 1 örnek olmak üzere toplam 3 örnek toplanmıştır. Yaz örnekleme dönemi boyunca toplam 44 örnek (hafta içi 28 örnek ve hafta sonu 14 örnek, 1 arazi şahidi ve 1 laboratuvar şahidi) toplanmıştır. Kış örnekleme dönemi boyunca toplam 46 örnek (hafta içi 28 örnek ve hafta sonu 14 örnek, 1 arazi şahidi ve 3 laboratuvar şahidi) toplanmıştır. Örnekleme periyodları ve filtrelerden geçen hava hacmi bilgileri yaz ve kış örnekleme dönemleri için sırasıyla EK-A ve EK-B’de verilmiştir.

Örnekleme tamamlanan filtreler aynı koşullar altında laboratuvara götürülmüştür. Örnekleme öncesi ve sonrası filtrelerin aynı şartlar altında değerlendirilmesi için aynı koşullar altında şartlandırılmış ve son tartımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Tartımı tamamlanan filtreler poşetinden çıkartılmadan -20 °C’de analiz gününe kadar muhafaza edilmiştir (Callén ve diğ., 2014; Kalisa ve diğ., 2019; Ma ve diğ., 2020; Zhang ve diğ., 2016).



Şekil 3.5. Son tartıma hazırlanan filtreler

PM_{2.5} kütle konsantrasyonları, örnekleme başlamadan önce ilk tartımı ve bittikten sonra son tartımı gerçekleştirilen filtre ağırlıklarından hesaplanmıştır. İlk ve son şartlandırma arasındaki kütle farkı örnekleme süresince sistemden geçen hava hacmine bölünerek PM_{2.5} konsantrasyonları Denklem (3.1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_{PM_{2.5}} = \frac{(m_s - m_i)}{V} \quad (3.1)$$

Burada:

$C_{PM_{2.5}}$: $PM_{2.5}$ 'in atmosferik kütle konsantrasyonu ($\mu g/m^3$)

m_s : Filtrenin örnekleme sonrası son tartımı (μg)

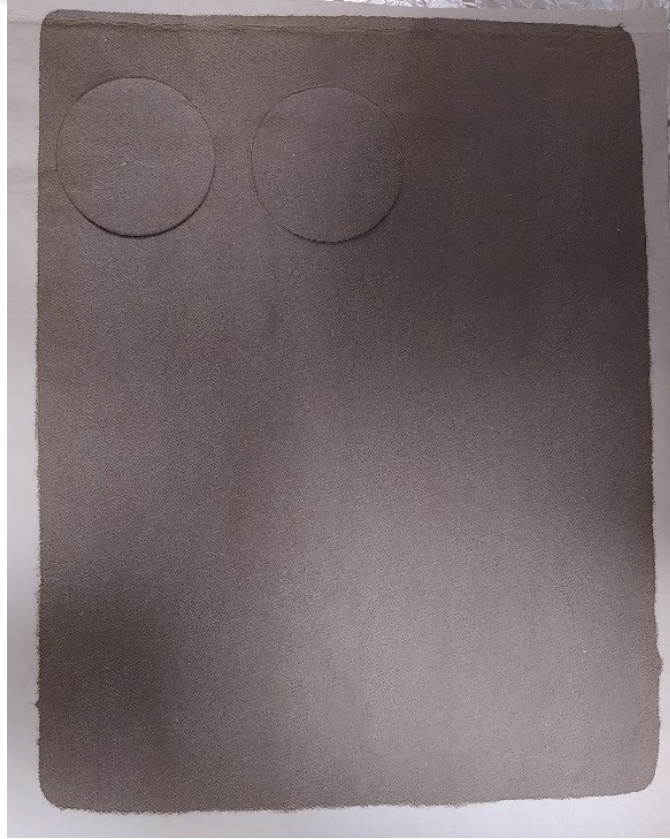
m_i : Filtrenin örnekleme öncesi ilk tartımı (μg)

V : 24 saat boyunca vakumlanan hava hacmi (m^3) (akış kartı ile düzeltilmesi yapılmış)

3.3. $PM_{2.5}$ Analizleri

i. Ön Hazırlık

Analizleri için -20 °C'de bekletilen filtreler çıkartılarak 47 mm filtre kesme aparatı ile kesilmiştir (Şekil 3.6). Her filtre parçası ayrı ayrı tartıldı ve kesilen 2 parça eser element analizi için paketlenerek ODTÜ Merkezi Laboratuvarına gönderilmiştir. PAH analizi için kesilen 2 parça filtre tartılarak analiz için hazırlanmıştır. Analizde kullanılan filtrelerin kütleleri EK-A ve EK-B'de verilmiştir.



Şekil 3.6. Analizde kullanılan filtreler

ii. Kullanılan Kimyasal ve Laboratuvar Malzemeleri

Analiz işlemlerinde kimyasallar, laboratuvar malzemeleri ve cihazlar kullanılmıştır. Laboratuvarında kullanılan cam malzemelerin temizliğinde sıcak su, organik malzeme içermeyen laboratuvar deterjanı (ALCONOX, Liquinox) ve ultrasaf su (elektrik direnci <math>< 18,18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}</math>, 25 °C) kullanılmıştır. Cam malzemeler yıkandıktan sonra teknik hekzan (Tekkim, Ekstra Pure) ile tekrar yıkanarak etüvde 250 °C’de 2 saat kurutulmuş ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Kullanılan n-hekzan %98 (SupraSolv), aseton %99,8 (SupraSolv) ve etil asetat %99,8 (Suprasolv) Merck firmasından temin edilmiştir. Ayrıca kullanılan azot gazı %99,99 saflıktadır.

Kullanılan Sartorius Secura 224-1S marka hassas terazi, Hettich Eba 21 marka santrifuj cihazı, ISOLAB marka ultrasonik banyo, Heidolph Laborota 4000 döner buharlaştırıcı, BluLab BKF kül fırını ve Nüve FN 400 marka etüv kullanılmıştır.

Kalibrasyonlar ve geri kazanım için kullanılan standartlar Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kalibrasyon ve geri kazanım standartları

Kimyasal	Bileşiklerin İsimleri	Konsantrasyon	Firma
Kalibrasyon Standartları			
PAH	Nap, Acy, Ace, Fl, Ant, Phe, Flt, Pyr, BaA, Chy, BbF, BkF, BaP, DahA, Ind, BgP	100 µg /mL	Absolute Standards (EPA Method 525,2 PAH Standard, 16 components, 100 µg/mL, in acetone 1mL)
Geri Kazanım Standartları			
PAH	Asenaften-d10, Fenantren-d10, Krisen-d12, Perilen-d12	50 µg/mL	Cambridge Isotope Laboratories (CIL) Inc.

3.4. PAH Analizleri

i. Örneklerin Ekstraksiyonu ve Önzenginleştirilmesi

PAH analizi için 2 parça 47 mm'lik filtreler önceden temizlenmiş cam tüplere yerleştirilmiştir. Kalite kontrol için geri kazanım standartları enjekte edilmiştir. Üzerine 30 mL aseton:n-hekzan (1:1) çözeltisi ilave edildi ve ardından cam tüpün ağzı teflon bant ile kapatılarak 1 gece karanlıkta oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra 1 saat ultrasonik banyoda (ısıtma özelliği kapalı) sonikasyona tabi tutulmuştur.

Örnekler 5 dakika bekletildikten sonra 3500 rpm'de 15 dk boyunca santrifüj edilmiş ve oluşan ekstraksiyon sıvısı kapaklı amber cam şişeye aktarıldıktan sonra cam tüplere tekrar 5 mL n-hekzan eklenerek santrifüj edilip ekstraksiyon sıvısı tekrar alınmıştır.

Santrifüj işlemi sonunda elde edilen ekstraksiyon sıvısı hacmi yaklaşık 5 ml'ye düşürülmek üzere döner buharlaştırıcı cihazında 40 °C sıcaklık ve 0,07 MPa basınçta ön zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hacmi 5 mL'ye düşen ekstraksiyon sıvısına 10 mL n-hekzan eklenerek hacmi tekrar 5 mL'ye düşürülmüştür. Bu işlem sonunda örnek hekzan içerisine geçmektedir. 5 mL'lik amber şişelere alınarak fraksiyonlarına ayırma işlemine kadar 4 °C'de muhafaza edilmiştir.

ii. Temizleme (Clean-up) İşlemleri

Örneklerde hedef kirleticilerin ölçülmesi sırasında girişim yapabilecek diğer kirleticilerin giderilmesi için kolon temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Alümina ve florisil organik kirleticileri, sodyum sülfat örneklerdeki su ve nemi tutmak için kullanılmıştır. Ekstraksiyon sıvısından PAH kirleticilerini ayırmak için kullanılacak kolonda alttan yukarı doğru sırasıyla cam yünü (0,1 gr), florisil (1 gr), alümina (1 gr) ve susuz sodyum sülfat (1 gr) yerleştirilmiştir.

iii. Kolonda Yer Alacak Kimyasalların Hazırlanması

Kolon hazırlanması aşamasında kullanılan malzemelerin hazırlanması ve kimyasalların aktivasyonu için yapılmış olan hazırlıklar aşağıda verilmiştir.

Cam malzemelerin temizlenmesi: Kullanılan cam malzemeler sıcak su ve organik molekül içermeyen laboratuvar deterjanı ile yıkanarak durulanmıştır. Ultra saf su ile tekrar durulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Durulama işlemlerinden sonra cam malzemeler teknik hekzan ile tekrar yıkanmış ve etüvde 250 °C sıcaklıkta 2 saat kurutuldu ve deneyde kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Cam yünü hazırlanması: Behere alınan cam yününün üzerini geçecek şekilde yüksek saflıkta hekzan ilave edilmiştir. Çeker ocakta hekzan buharlaşana kadar bekletilmiştir. Hekzanı buharlaştırılan cam yünü hava ile teması engellenmesi için kapaklı amber şişeye alınmıştır.

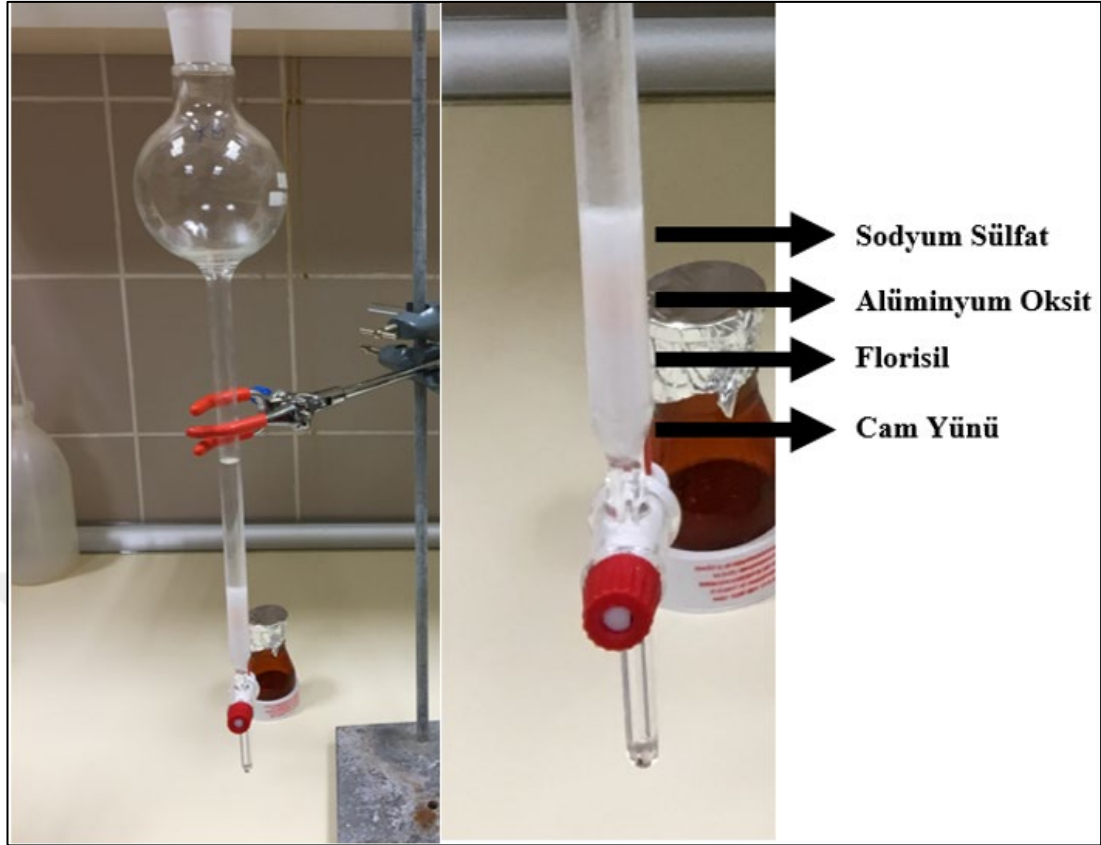
Florisil hazırlanması: Temizleme işlemlerinde kullanılacak olan florisil miktarı hesaplanarak tartılmıştır ve temiz bir kaba alınmıştır. 20 saat boyunca 450 °C kül fırınında şartlandırılmıştır. Kül fırınından alınan florisilin nem dengesinin sağlanması için desikatörde bekletilmiştir. Desikatörden alınan florisil %5 oranında deaktive edilmiştir. Topaklanma olmaması için iyice çalkalandı ve 1 saat karanlıkta bekletilmiştir.

Alümina hazırlanması: Temizleme işlemlerinde kullanılacak olan alümina miktarı hesaplanıp tartıldıktan sonra temiz bir kaba alınarak 20 saat boyunca 450 °C'de kül fırınında bekletilerek aktive edilmiştir. Nem dengesinin sağlanması için desikatörde bekletilmiştir. Ardından alümina %1,5 oranında deaktive edilmiştir ve topaklanma olmaması için iyice çalkalanarak 1 saat karanlıkta bekletilmiştir.

Susuz sodyum sülfat hazırlanması: Temizleme işlemlerinde kullanılacak olan sodyum sülfat miktarı hesaplanıp tartıldıktan sonra bir kaba alınarak hekzan ile yıkanmış ve kurutulmuştur. Ardından 20 saat boyunca 450 °C'de kül fırınında bekletilerek aktive edilmiş ve desikatörde bekletilmiştir.

Temizleme kolonunun hazırlanması: Analizlerde 15 cm boyunda ve 1 cm çapında teflon musluklu cam kolon kullanılmıştır.

Kolon hazırlığında hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 3.7'de de görüldüğü gibi kolon hazırlanmasında sırasıyla aşağıdan yukarıya 0,1 gr cam yünü, 1 gr florisil, 1 gr alümina (alüminyum oksit) ve 1 gr sodyum sülfat tartıldı kolona aktarılmıştır.



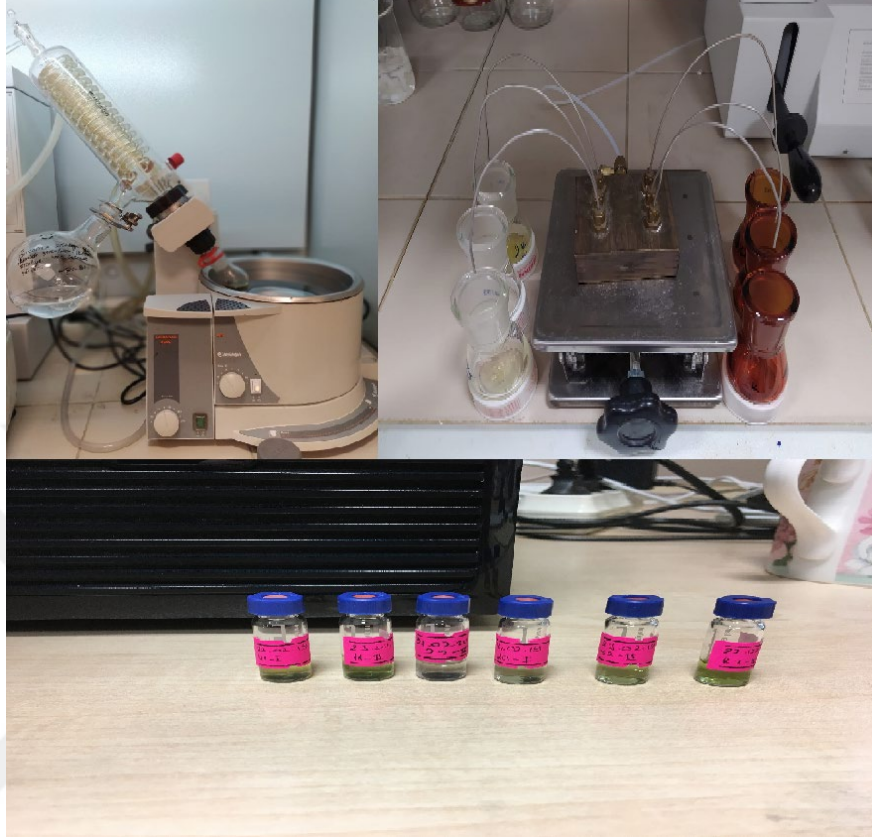
Şekil 3.7. Hazırlanmış olan temizleme kolonu

iv. Temizleme ve Son Zenginleştirme

PAH ayırma işlemleri için kullanılacak kolon önce 15 mL hekzan ile yıkanmıştır. Sonrasında hacmi yaklaşık 5 mL'ye düşürülmüş örnek ilave edilmiştir. Ardından 25 mL hekzan kolondan geçirilmiştir ve 40 mL etil asetat:hekzan (1:1) ilave edilerek ikinci fraksiyona PAH kirleticileri alınmıştır.

Kolondan geçirilen fraksiyon 1 ve fraksiyon 2 ısıtma özelliği kapalı döner buharlaştırıcı cihazında hacmi yaklaşık 5 ml'ye düşürülmüştür. Hacmi 5 mL'ye düşürülen örnekler saf azot gazı altında 3 defa hekzan ilavesi yapılarak solvent değişimi yapılmıştır. Son hacim 1 mL kalana kadar zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon, hacim azaltma ve fraksiyonlarına ayırma işlemlerinin sonunda kromatografik okumaya hazır hale getirilen örnekler 2 mL'lik vialler içerisine koyularak analiz edilinceye kadar -20 °C'de dondurucuda saklanmıştır. PAH kirleticileri hem fraksiyon 1 hem de fraksiyon 2 ile birlikte kolondan ayrıldığı için PAH analizi öncesi fraksiyon 1 (500 µl) ve fraksiyon 2 (500

μ l) eşit hacimde alınarak viallerde karıştırılmıştır. Şekil 3.8’de gerçekleştirilen işlemlere ait fotoğraflar verilmiştir.



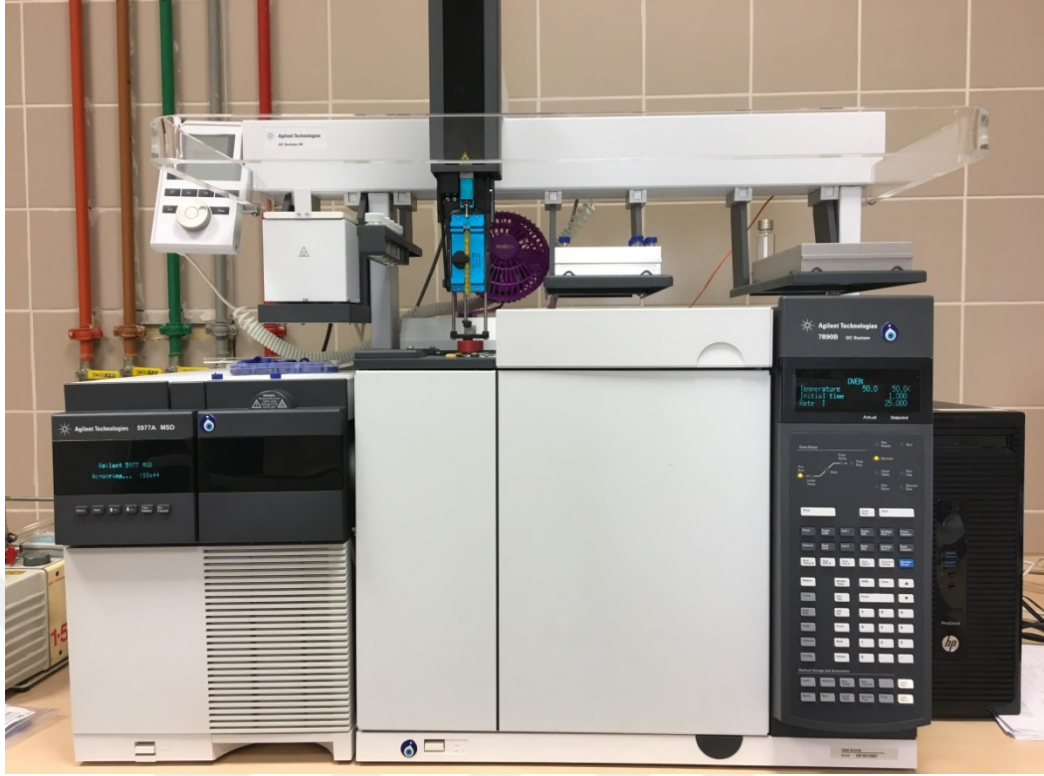
Şekil 3.8. Zenginleştirme ve GC-MS analiz hazırlıkları

v. Örneklerin Analizi

PAH analizleri Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’ndeki Agilent 7890B GC ve 5977A MSD marka gaz kromatografisi-kütle spektrometresi cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.9).

GC-MS’in kalibrasyonu için 16 adet PAH izomerleri 6 farklı konsantrasyonda kalibrasyon yapılmıştır. Nap, Acy, Ace, Fle, Phe, Ant, Flt, Pyr, BaA, Chy, BbF, BkF, BaP, Ind, DahA, BgP kalibrasyon eğrilerinde korelasyon katsayıları (R^2) bulunmuştur.

PAH örneklerinin belirlenmesinde kullanılan fırın sıcaklığı 50 °C’de 1 dakika bekleme, 25 °C/dak’lık artışla 200 °C’ye ve 8 °C/dak’lık artışla 310 °C’ye çıkıp 11 dakika bekletilmiştir. Enjeksiyon port sıcaklığı 300 °C’dir.

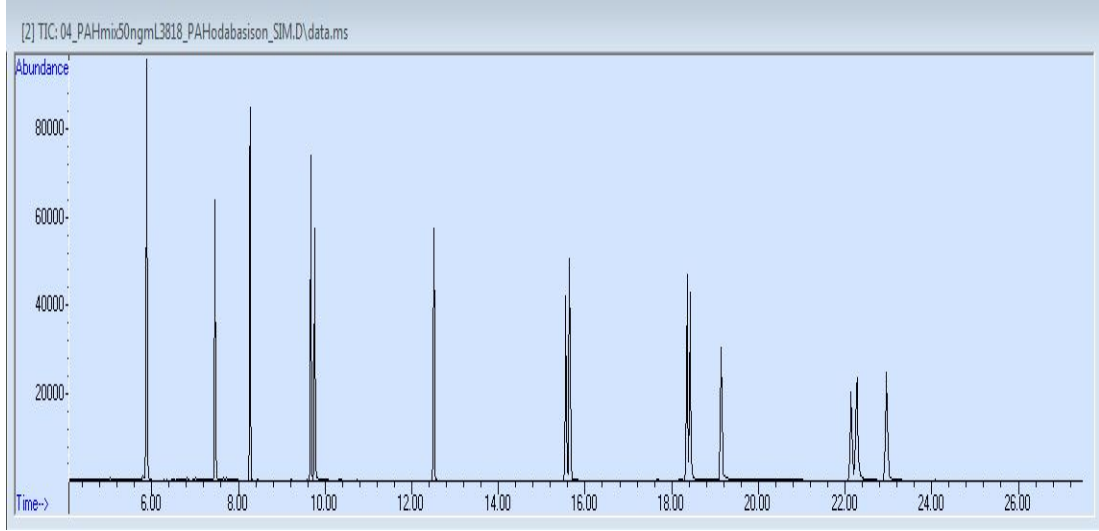


Şekil 3.9. Analizde kullanılan Agilent 7890B GC ve 5977A MSD GC-MS cihazı

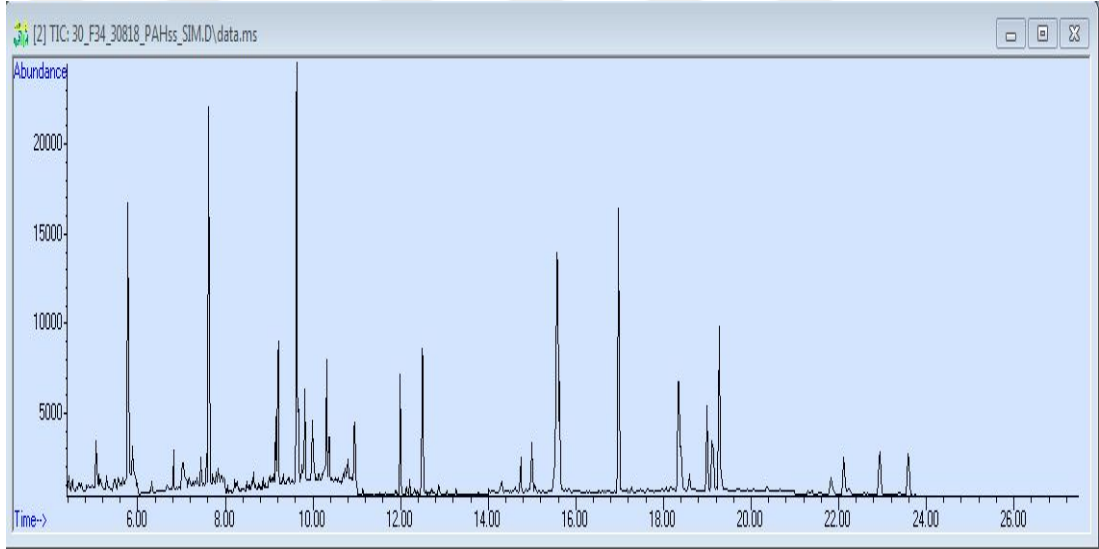
vi. Kalite Güvence/Kalite Kontrol

Tüm işlemler sonunda analizlerin doğruluğunun kontrol edilebilmesi, örnekleme işlemleri sırasında veya laboratuvarda kullanılan malzemelerden meydana gelebilecek herhangi bir kirliliğin girişim yapıp yapmadığını kontrol etmek adına Kalite Güvence/Kalite Kontrol (KG/KK) prosedürü takip edilmiştir.

Çalışmada kullanılan PAH standartlarına ait kromatogramlar Şekil 3.10'da ve örneklere ait kromatogram ise Şekil 3.11'de gösterilmiştir. KK/KG açısından toplamda her kolon setinde (24 örnek + 2 şahit) 1 adet solvent şahit (laboratuvar şahidi) ve 1 adet arazi şahidi örnekler de aynı işleme tabi tutulmuştur. Şahit düzeltmesi için arazi şahitlerinde belirlenen kirletici konsantrasyonları örneklerdeki kirleticilerin konsantrasyonlarından çıkartılmıştır. Laboratuvarda kullanılan solventlerden ve malzemelerden bir kirliliğin gelip gelmediğinin tespiti için kullanılan laboratuvar şahitlerinede numunelerle aynı prosedür uygulanmıştır. Yapılan yıkama ve kurutma prosedürlerine dikkat edildiği için neredeyse hiçbir kirleticiye rastlanmamıştır. Yine de herhangi bir yanlışlığa neden olmaması için şahit düzeltmesinde hem arazi şahidi hem de laboratuvar şahidi düzeltmesi yapılmıştır.



Şekil 3.10. GC-MS analizinde PAH standart kromotogramları



Şekil 3.11. GC-MS analizinde örnek kromotogramı

Geri kazanım verimini bulmak için tüm numunelere ekstraksiyondan önce geri kazanım standartları eklenmiştir. Geri kazanım standartlarının geri kazanım verimleri $\%83,32 \pm 17,1$ (asenaften-d10), $\%89,29 \pm 19,51$ (fenantren-d10), $\%96,11 \pm 25,31$ (krisen-d12) ve $\%103,17 \pm 23,18$ (perilen-d12) şeklinde bulunmuştur. Tespit limiti (LOD), arazi filtresinin on analizinin standart sapmasının üç katı olarak hesaplanır iken, tayin sınırı (LOQ) standart sapmanın on katı olarak hesaplanır (Amil ve diğ., 2016; Demir ve diğ., 2019; Karadeniz ve Yenisoy Karakaş, 2015; Kılıç ve diğ., 2015; Pekey ve diğ., 2010; Sulong ve diğ., 2017; Yenisoy Karakaş, 2012). İzomerlerin m/z iyonları, tutma süreleri, korelasyon katsayıları, tespit limitleri ve tayin sınırları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. GC-MS PAH izomerleri için kalibrasyon parametreleri

	m/z	Tutma süresi	Kalibrasyon Katsayıları (R ²)	LOD (ng/m ³)	LOQ (ng/m ³)
Naftalin (Nap)	128, 127, 129	5,13	0,9995	0,0001	0,0001
Asenaftelen (Acy)	152,153, 151	6,77	0,9984	0,0003	0,0005
Asenaften (Ace)	153, 152, 151	6,95	0,9988	0,0003	0,0003
Flouren (Flu)	166, 165	7,40	0,9999	0,0009	0,0015
Fenantren (Phe)	178, 176, 179	8,71	0,9983	0,0004	0,0005
Antrasen (Ant)	178, 176, 179	8,78	0,9999	0,0013	0,0012
Floranten (Flt)	202, 200, 203	10,80	1	0,0004	0,0005
Piren (Pyr)	202, 200, 203	11,27	0,9999	0,0004	0,0005
Benzo[a]antrasen (BaA)	228, 226, 229	14,19	0,9982	0,0007	0,0008
Krisen (Chy)	228, 226, 229	14,24	0,9987	0,0004	0,0006
Benzo[b]floranten (BbF)	252, 250, 253	16,89	0,9986	0,0007	0,0009
Benzo[k]floranten (BkF)	252, 250, 253	16,97	0,9986	0,0002	0,0007
Benzo[a]piren (BaP)	252, 253, 250	17,67	0,9962	0,0006	0,0007
İndeno[1,2,3-cd]piren (IcP)	276, 277	20,19	0,9976	0,0005	0,0006
Dibenzo[a,h]antrasen (DahA)	278, 279	20,29	0,9949	0,0021	0,0015
Benzo[g,h,i]perilen (BgP)	276, 277	20,70	0,9993	0,0006	0,0007

3.5. Eser Element Analizi

Örneklemeden elde edilen her filtreden 2 örnek, 4 parça arazi şahidi ve 4 parça laboratuvar şahidi mikrodalga ekstraksiyon ve kantitatif analiz için Orta Doğu Teknik Üniversite Merkezi Laboratuvarına gönderilmiştir. Eser elementler, HNO₃-HF karışımı ile bir mikrodalga ekstraktörde örnek çözündürüldükten sonra Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı'nda Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile ölçülmüştür.

Cihaz Li, Be, Na, Al, Mg, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, As, Se, Rb, Y, Mo, Rh, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Eu, Tb, Ho, Lu, Ta, Pt, Tl, Pb, P, K ve Bi dahil olmak üzere 40 elementin ölçümü için kalibre edilmiştir.

i. Örnek Çözündürme

PTFE (politetrafloroetilen) kabı içeren mikrodalga fırını (Anton Paar Multiwave 3000 Mikrodalga Parçalama Sistemi (Rotor tipi 8SXF100)), ICP-MS analizi ile toplanan numuneleri çözündürmek için kullanılmıştır. Çözündürme işlemi için önce filtreler PTFE kaplara konulmuş ve 6 mL ultra saf HNO₃ (Merck-suprapure) ve 2 mL

HF (Merck-suprapure) eklenmiştir. Mikrodalga fırını 10 adet PTFE kap içerdiğinden, her seferinde 9 numune ve bir şahit numunesi analiz edilebilmiştir. Bu çalışmada polikarbonatın çözündürülmesi için kullanılan program 4 adımdan oluşmakta ve tamamlanması 35 dakika sürmektedir. Mikrodalga fırınında kullanılan çözündürme programının özellikleri Tablo 3.4’de verilmiştir. Çözündürmede kullanılan mikrodalga parçalama sistemi ise Şekil 3.12. Anton Paar Multiwave 3000 Mikrodalga Parçalama Sistemi Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Mikrodalga parçalama sistem programı

Basamak	Güç/Sıcaklık	Ramp	Hold	Fan
1	200	10	5	1
2	500	5	5	1
3	800	5	10	1
4			15	2



Şekil 3.12. Anton Paar Multiwave 3000 Mikrodalga Parçalama Sistemi

35 dakika sonra mikrodalga rotoru 10 kapla birlikte alınmış ve oda sıcaklığına kadar soğuması için en az 45 dakika su banyosunda bekletilmiştir. Bu işlemin yapılma nedeni mikrodalga çözündürme işleminden hemen sonra kapların açılması bazı

türlerin ve asitlerin kaybına neden olabilmekte, ayrıca yüksek basınç ve sıcaklıktan dolayı patlama ihtimali oluşturmasıdır. Soğutma süresinin ardından çeker ocak altında kaplar açıldı ve karışım PTFE beherlere aktarılmıştır. Çözündürme işleminden sonra HF'nin uzaklaştırılması gerekmektedir. ICP spektrometresine enjekte edilen küçük bir HF miktarı bile ICP torcunun silika bazlı örnekleme tüpünü ve Ni koni arayüzünü aşındırabilmektedir. HF'yi buharlaştırmak için, beherleri numuneden gelen beyaz duman sarıya dönene ve kapta çözeltinin sadece bir damlası kalana kadar çeker ocak altında 80 °C'lik sıcak plaka üzerine yerleştirilmiştir. Bu noktada beher kabına 5 ml saf HNO₃ ilave edildi ve buharlaştırma işlemi tekrarlanmıştır. İkinci buharlaştırma aşamasından sonra, PTFE kaplar sıcak plakadan çıkarılmıştır ve oda sıcaklığına kadar soğuması için kapakları kapalı odada bekletilmiştir. Daha sonra beher içindeki tortu, %1 ultra saf HNO₃ çözeltisi ile 50 ml'ye seyreltilmiştir. Son olarak, çözeltiler 15 ml'lik tüplere boşaltıldı ve ICP-MS analizlerine kadar 4 °C'de saklanmıştır. Şahit numunelerinde aynı prosedür uygulanmıştır.

ii. ICP-MS Analizi

Elementel karakterizasyon için, mikrodalga yöntemi ile parçalanmış filtrelere ICP/MS (ICP-MS, Perkin Elmer NexION 350D) kantitatif analizi yapılmıştır. ICP-MS sistemi, örneklerin yüksek sıcaklıktaki bir plazmaya genellikle Ar gazı gönderilerek moleküler bağların kırılarak, atomların iyonlaştırıldığı tekniğe dayanmaktadır. Kütle aralığı (m/z) 5-270 amu ve gözlenebilme sınırı ng/m³ düzeyindedir. ICP-MS cihazının teknik özellikleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. ICP-MS çalışma parametreleri

Parametreler	
Radyo frekans gücü	1300 W
Plazma gaz akış hızı	18 L/dk
Yardımcı gaz akış hızı	1,2 L/dk
Nebulizatör gaz akış hızı	0,9 L/dk
Örnek alım hızı	1 ml/dk
Yineleme Sayısı	3
Püskürtme Odası	Siklonik
Nebulizatör	Cam Meinhard konsantrik

iii. Kalite Güvence/Kalite Kontrol

Partikül çalışmalarında, laboratuvar şahidi ve arazi şahidi kullanılmaktadır. Eser elementlerin ölçülen konsantrasyonlarına laboratuvar prosedürlerinin ve kullanılan materyalin katkısını belirlemek için laboratuvar şahitleri hazırlanmış ve analiz edilmiştir. Arazi şahitleri, numunelere uygulanan tüm arazi ve laboratuvar işlemlerinden olası kontaminasyonu içeren ana şahitlerdir. 10 filtre içeren her çözündürme setinde, her 9 numune ile birlikte 1 laboratuvar şahidi çözündürülmüştür. Şahitlerin hazırlanması ve parçalanması, numune filtreleri ile tamamen aynı şekilde yapılmıştır. Laboratuvar şahitleri 10 kez ICF cihazı ile sayılmış ve bu sayımlardan elde edilen standart sapma değerleri 3 ile çarpılarak her bir eser element için sapma sınırları belirlenmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. PM_{2.5}'teki eser elementlerin tespit limitleri

Türler	Tespit Limiti (LOD), ng/m³	Türler	Tespit Limiti (LOD), ng/m³
Li	0,030	Ti	0,166
Be	0,002	Mo	0,029
Mg	6,799	Ge	0,002
Al	5,032	Ta	0,027
Ni	0,317	Y	0,003
Cu	1,972	La	0,004
Zn	8,264	Ce	0,011
As	0,052	Eu	0,002
Ba	0,180	Tb	0,001
Pb	0,383	Ho	0,001
V	0,248	Lu	0,001
Cr	0,272	Rh	0,003
Mn	0,239	Sn	0,013
Co	0,005	Sb	0,022
Se	0,416	Pt	0,001
Rb	0,012	Na	0,184
Cd	0,027	K	0,325
Bi	0,006	Ca	5,307
Tl	0,002	Fe	5,745
Cs	0,002	P	2,666

3.6. Kaynak Belirleme

3.6.1. PAH'ların kaynak tahmini

Kaynak tanımları, çevredeki PAH seviyelerini düşürmek için bazı etkili kontrol önlemleri almak için çok önemlidir (Akyüz ve Çabuk, 2008). Çok değişkenli reseptör modelleri, özellikle çevresel çalışmalarda kirleticilerin kaynak dağılımı çalışmalarında çok yararlı araçlardır. İstatistiksel yaklaşımlara dayalı reseptör modelleri, farklı ortamlarda (hava, toprak, sedimanlar) PAH kaynaklarını belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar arasında, en çok kullanılanları şunlardır (Callén ve diğ., 2014):

- Pozitif Matris Faktörizasyonu (PMF)
- UNMIX
- Faktör Analizi (FA)
- Temel Bileşen Analizi (PCA).

Bunlar haricinden oranlara dayalı olarak moleküler tanı oranları (Diagnostik oran-MDR) ile de kaynak tahminleri gerçekleştirilebilir (Wang ve diğ., 2016). Her modelin kendi avantajları ve dezavantajları vardır. CMB modeli, belirli bir alan için kaynak imzalarının önceden bilinmesini gerektirirken, diğerleri kaynak profil bilgilerinin mevcut olmadığı kentsel alanlarda partikül madde kirliliğinin kaynaklarını tahmin etmek için uygulanabilir. Faktör analizi yönteminin temel dezavantajları, çok sayıda örneğin toplanması ve ölçülmesidir ve her bir ana kaynak türü için istatistiksel olarak bağımsız kaynak izleyiciler gereklidir (Akyüz ve Çabuk, 2008). Bu çok değişkenli reseptör modelleme teknikleri arasında en çok tercih edilen ve güvenilen PMF'dir.

Bu çalışmada, kaynak tanımlamaları MDR ve PCA reseptör modeli kullanılmıştır.

i. Moleküler Tanı Oranları (Diagnostik Oran - MDR)

Ölçülen atmosferik PAH konsantrasyonlarını kullanarak PAH'ların kaynaklarını belirlemenin güvenilir ve en basit yolu, moleküler tanı oranları (diagnostik oran - MDR) metodudur. Spesifik PAH bileşiklerinin birbirlerine veya toplam PAH'a oranı belirli bir kaynağın göstergesi olarak kullanılır. Kullanımı için gerekli olan

hesaplamaların diğer modelleme hesaplarından daha az ve basit olması ve yorumlanmasının daha basit olması bu yöntemin avantajlarından (Khan ve diğ., 2015; Sulong ve diğ., 2019).

Çok güvenilir izleyiciler olarak görev yapmasalarda, bazı spesifik PAH bileşikleri veya bir grup PAH belirli kaynakları gösterebilir. Yüksek moleküler ağırlıklı PAH'lar oldukça kararlı olduğundan güvenle kullanılabilirken, daha az kararlı ve atmosferik süreçlere daha duyarlı olan düşük molekül ağırlıklı PAH'ların MDR'de kullanımı sorun oluşturabilir (Khan ve diğ., 2015). Literatürde, farklı emisyon kaynağı kategorileri için belirsizlikler ve tutarsızlıkların olabileceği bilinmektedir (Gaga ve diğ., 2012). MDR literatür araştırmasının eksikliği ve fark edilmeyen toplam PAH konsantrasyonu belirsizliğe katkıda bulunabilir (Sulong ve diğ., 2019). Ortam havasından toplanan PAH profilleri, diğer kimyasal maddelerle (ozon ve nitrojen oksitler) ve meteorolojik koşullarla reaksiyona girdiğinde MDR oranlarında farklılaşma olabileceğinden, dikkatli kullanılmalıdır (Chen ve diğ., 2016).

MDR oranlarındaki dezavantajları ortadan kaldırmak için reseptör modellerle birlikte kullanılması birçok çalışmada önerilmiştir (Alves ve diğ., 2017; Khan ve diğ., 2015; Sulong ve diğ., 2019). MDR oranları ile kaynak tanımlamaları reseptör modellerde girdi olarak kullanılan kaynak sayılarını ve kaynak profillerini oluşturacak ve katkı sağlayacaktır.

ii. Temel Bileşen Analizi

Temel Bileşen Analizi (PCA) çalışmaları ilk kez 1901 yılında Karl Pearson tarafından başlatılmıştır ve Hotelling tarafından 1933 yılında geliştirilmiştir (Yazar ve diğ., 2009). Veri kümelerindeki değişkenler giderek artmakta ve bu değişkenlerin yorumlanabilmesi zorlaşmaktadır. Çok değişkenli reseptör modeli olan PCA'nın amacı, bu verilerdeki toplam varyansı açıklayan değişkenleri azaltarak benzer özelliklere sahip değişkenleri faktörlere ayırıp, faktör sayısını, her bir kaynağın tür profilini ve her bir numuneye her faktörün katkıda bulunduğu kütle miktarını belirlemektir (Hanedar ve diğ., 2014; Park ve diğ., 2011). Bu faktörlerin her biri bir emisyon kaynağı veya karışık kaynak olarak tanımlanabilir (Akyüz ve Çabuk, 2008). Faktör yükleri, her bir kirletici türünün her bir bileşenle korelasyonunu gösterir ve kaynak emisyon kompozisyonu ile ilişkiliyken, faktör seviyeleri kaynak katkılarıyla

ilişkilidir (Akyüz ve Çabuk, 2010). İlk faktör, verilerdeki en büyük varyansı açıklar ve sonraki faktörlerin her biri, veri değişkenliğinin daha küçük bir bölümünü oluşturur (Talbi ve diğ., 2018; Yazar ve diğ., 2009).

Alıcı modelleri için temel varsayım olarak, belirli bir numune için alıcıdaki bir kirletici konsantrasyonu, emisyon profilinin ürünlerinin ve kaynakların katkısının doğrusal toplamıdır; numuneler, farklı kaynaklardan gelen kimyasallarla iyi karıştırılır ve kimyasallar, emisyon kaynağından alıcı alana nakil sırasında nispeten karardır. PCA, çevre biliminde en yaygın kullanılan araçtır ve bilgilerin doğruluğunu olabildiğince korurken değişken sayısını azaltır (Park ve diğ., 2011). PM_{2.5}'teki potansiyel PAH ve eser element kaynaklarının katkılarını, her bir kaynağın faktör yükü ve tür profilini belirlemek için de literatürdeki birçok çalışmada PCA kullanılmıştır (Akyüz ve Çabuk, 2008; Faraji Ghasemi ve diğ., 2020; González ve diğ., 2017; Hanedar ve diğ., 2014; Kalisa ve diğ., 2019, 2018; Liu ve diğ., 2017; Onat ve diğ., 2013; Park ve diğ., 2011; Sarkar ve Khillare, 2013; Soleimani ve diğ., 2018; Talbi ve diğ., 2018; Wang ve diğ., 2014).

Çalışmada PCA'yı çalıştırmadan önce, eksik veriler ilgili kirleticilerin LOD'sinin yarısı ile değiştirilmelidir (Guo ve diğ., 2004; Hanedar ve diğ., 2014; B. Pekey ve diğ., 2010). Faktörleri seçmek için 1'den büyük özdeğer ve en düşük anlamlılık düzeyi olarak bir faktör içinde 0,5'lik bir faktör puanı seçilebilir (Park ve diğ., 2011; B. Pekey ve diğ., 2010; Sarkar ve Khillare, 2013).

3.6.2. Eser elementlerin kaynak tahmini

i. Zenginleşme Faktörü (ZF)

Belirli bir elementin bir referans elemente göre normalleştirilmesine dayanan zenginleştirme faktörleri (ZF), antropojenik kaynak ve doğal kaynak arasında ayırım yapmak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Betha ve diğ., 2012; Y. Li ve diğ., 2016). PM_{2.5}'e bağlı elementlerin kabuksal zenginleştirme faktörleri Denklem (3.2) kullanılarak hesaplanır (Barbieri, 2016; Das ve diğ., 2015; Dongarrà ve diğ., 2010; Li ve diğ., 2016; Öztürk ve Keleş, 2016; Pant ve diğ., 2015; Tepe ve Doğan, 2021).

$$ZF_c = \frac{\left(\frac{C_x}{C_R}\right)_{\text{örnek}}}{\left(\frac{C_x}{C_R}\right)_{\text{referans}}} \quad (3.2)$$

Burada, C_x 'ler örnekteki x elementinin ve referans materyaldeki x elementinin konsantrasyonları iken, C_R 'ler, örnekteki ve referans materyaldeki referans elementin konsantrasyonudur.

Antropojenik faktörlerden etkilenmemesi dışında, bir referans unsurun seçimi için hala net bir kural yoktur. Birçok çalışmada kullanılan referans elementler Al, Fe, Mn, Si, Ti ve Rb'dir (Amil ve diğ., 2016; Barbieri, 2016). Ayrıca Marx ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada La elementini referans element olarak kullanmışlardır. Bu elementler arasında Al ve Fe, referans olarak en çok kullanılan elementlerdir (Das ve diğ., 2015; Hsu ve diğ., 2016). Bu çalışmada Al, çoğu antropojenik kirletici maddeye karşı kararlılığı nedeniyle referans unsur olarak seçilmiştir (Zhang ve diğ., 2013). Ayrıca bazı örnekleme noktaları, trafiğin ve endüstriyel kaynakların potansiyel bir Fe kaynağı olabileceği yolların ve endüstrilerin yakınında bulunduğundan, referans element olarak Al seçilmiştir. Benzer şekilde Türkiye'de ve diğer ülkelerde yapılan çalışmalarda Al elementi referans element olarak kullanılmıştır (Das ve diğ., 2015; Dongarrà ve diğ., 2010; Gao ve diğ., 2014; Herrera Murillo ve diğ., 2012; Hsu ve diğ., 2016; Ledoux ve diğ., 2017; Öztürk ve Keleş, 2016; Pant ve diğ., 2015; Tecer ve diğ., 2012; Tepe ve Doğan, 2021).

Hesaplamalar sonucunda zenginleştirme derecelerine göre;

$ZF < 10$ ise, element zenginleşmemiştir ve doğal kaynaklar baskındır.

$10 < ZF < 100$ ise, elementler için orta derece zenginleşme söz konusudur ve kaynak hem antropojenik hem de doğal kaynaklı olabilir.

$ZF > 100$ ise, elementler aşırı zenginleşmiştir ve antropojenik kaynak baskındır (Li ve diğ., 2016; Pekey, 2006).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. PM_{2.5} Kütle Konsantrasyonları

4.1.1. PM_{2.5} kütle konsantrasyonları, zamansal ve mekânsal değişimi

Çalışmada 14 noktada 04.07.2018 - 09.09.2018 tarihleri arasında gerçekleştirilen yaz örneklemeinde 42 örnek, 28.11.2018 - 15.01.2019 tarihleri arasında gerçekleştirilen kış örneklemeinde 42 örnek toplanmıştır. Her bir örnekleme noktasında 2 defa hafta içi örnekleme 1 defa da hafta sonu örnekleme yapılmış ve noktadaki kirletici konsantrasyonu bu üç örnekleme sonucunun ortalaması olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak çalışma boyunca 14 noktada yaz ve kış dönemlerinde toplam 84 örnek toplanmıştır. Yaz, kış ve her iki mevsim ortalama PM_{2.5} kütle konsantrasyonları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 incelendiğinde çalışma dönemi boyunca elde edilen PM_{2.5} kütle konsantrasyonu ortalama değeri $33,78 \pm 22,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($14,78 - 103,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) olarak hesaplanmıştır. Bu değer 2008/50/EC sayılı Avrupa Direktifi ile insan sağlığının korunması için belirlenen yıllık PM_{2.5} sınır değeri olan $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ daha yüksek bulunmuştur (OJ-L 152/1, 2008). Noktasal olarak bakıldığında yıllık ortalama PM_{2.5} konsantrasyonları Cedit ($103,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Sanayi ($50,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Karabaş ($41,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Köseköy Dumlupınar ($36,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Kuruçeşme Kocatepe ($32,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Tüysüzler ($27,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Yeni ($27,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Yahyakaptan ($27,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Gültepe ($25,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$) örnekleme noktalarında sınır değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Ülkemizde HKDYY’de PM₁₀ için yıllık ortalama sınır değeri $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak tanımlanmıştır ancak ölçüm sonuçlarımızı HKDYY’de PM_{2.5} için sınır değeri bulunmamaktadır.

Tablo 4.1’de verilen yaz ve kış dönemi ortalama PM_{2.5} kütle konsantrasyonları ise sırasıyla $22,1 \pm 5,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $45,44 \pm 41,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Yaz dönemi en yüksek PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarını Cedit ($30,95 \pm 1,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Köseköy Dumlupınar ($30,91 \pm 6,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$) örnekleme noktalarında görülmüştür.

Tablo 4.1. Yaz ve kış dönemi için PM_{2.5} kütle konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) istatistik değerleri

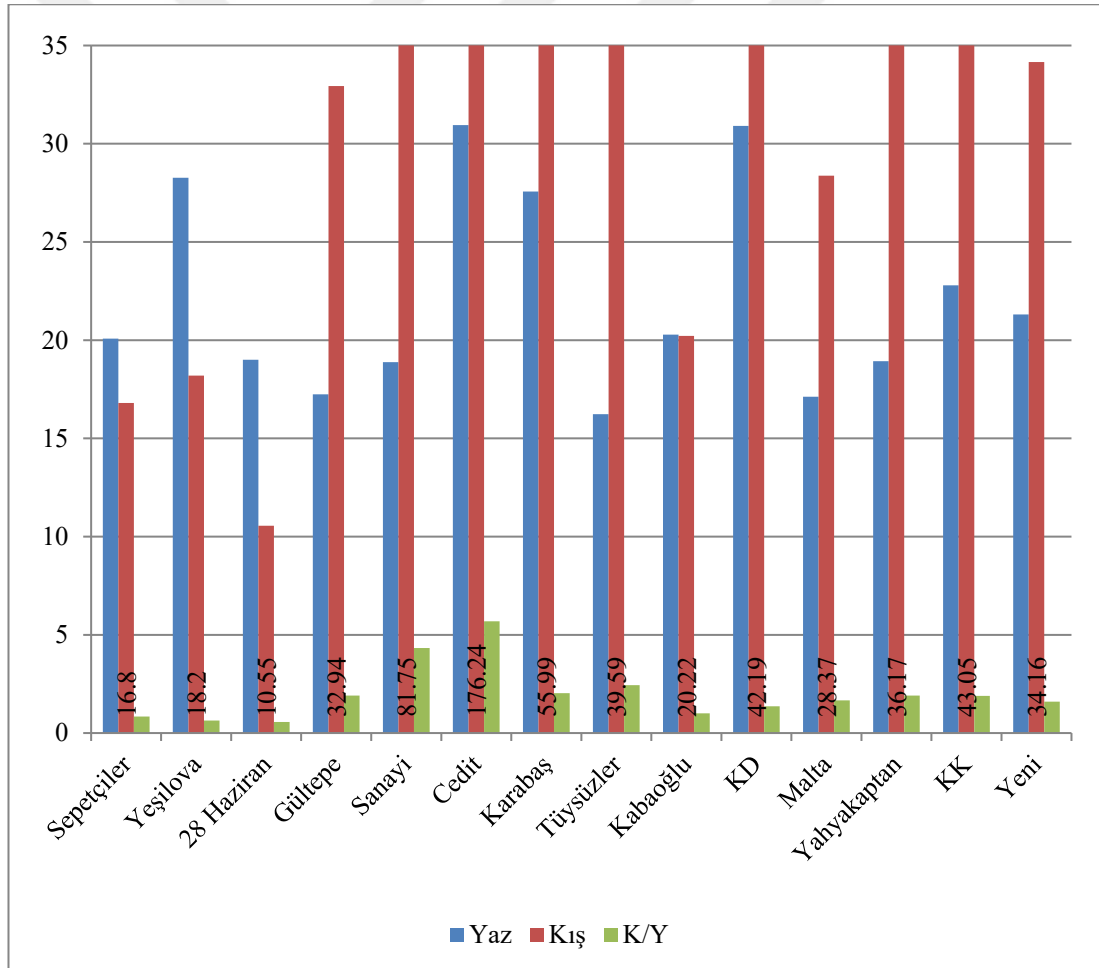
	Çalışma Dönemi			Yaz			Kış		
	Ortalama	En düşük- En yüksek	Medyan±Std Sapma	Ortalama	En düşük- En yüksek	Medyan±Std Sapma	Ortalama	En düşük- En yüksek	Medyan±Std Sapma
Sepetçiler	18,44	12,51-23,77	18,91±3,71	20,08	17,64-23,77	19,57±3,14	16,8	12,51-20,33	18,25±4,05
Yeşilova	23,24	12,56-29,71	27,08±5,92	28,27	26,6-29,71	28,44±1,35	18,2	12,56-22,15	20,69±5,16
28 Haziran	14,78	8,67-22,22	12,69±5,44	19	13,13-22,22	20,47±4,82	10,55	8,67-12,26	11,07±1,82
Gültepe	25,09	9,67-41,68	25,5±11,12	17,24	9,67-24,7	15,83±7,56	32,94	26,3-41,68	29,53±8,11
Sanayi	50,32	10,12-155,28	35,04±53,6	18,88	10,12-26,6	18,17±8,24	81,75	43,48-155,28	61,2±60,09
Cedit	103,6	29,39-225,79	33,1±86,16	30,95	29,39-33,1	30,45±1,79	176,24	115,08- 225,79	197,77±57,56
Karabaş	41,78	14,53-99,22	28,6±30,5	27,57	25,82-29,1	28,1±1,68	55,99	14,53-99,22	45,92±42,81
Tüysüzler	27,91	13,68-65,9	17,24±20,23	16,23	13,68-18,57	15,92±2,45	39,59	15,55-65,9	32,53±25,62
Kabaoğlu	20,25	10,18-35,5	16±9,31	20,28	12,05-27,66	16,96±6,64	20,22	10,18-35,5	12,98±13,88
Köseköy Dumlupınar	36,55	23,29-44,68	38,91±8,5	30,91	23,29-38,91	27,32±6,74	42,19	40,19-44,68	41,56±2,3
Malta	22,74	14,09-38,64	19,57±8,88	17,12	14,09-19,58	17,07±2,75	28,37	19,55-38,64	26,56±9,65
Yahyakaptan	27,55	15,31-43,12	24,04±11,01	18,93	15,31-22,36	18,39±3,54	36,17	25,72-43,12	37,57±8,89
Kuruçeşme Kocatepe	32,92	16,81-54,81	26,82±15,7	22,79	16,81-28,51	23,11±5,86	43,05	25,12-54,81	50,75±16,1
Yeni	27,73	17,63-45,91	30,07±10,6	21,31	17,63-24,98	22,05±3,7	34,16	35,16-45,91	36,42±5,88
Tüm noktalar	33,78	14,78-103,6	27,64±22,22	22,11	16,23-30,95	20,18-5,15	45,44	10,55-176,24	35,16-41,76

Kış döneminde ise en yüksek PM_{2.5} kütle konsantrasyonları Cedit (176,24 ± 57,56 µg/m³) ve Sanayi (81,75 ± 60,09 µg/m³) örnekleme noktalarında görülmüştür. Şekil 4.1’de verilen K/Y oranlarına bakıldığı zaman bu çalışma için K/Y oranı 0,56-5,69 aralığında hesaplanmıştır ve yaz ve kış dönemleri arasında belirgin bir şekilde mevsimsel değişim olduğu gözlemlenmiştir. Kış dönemi konsantrasyonları yaz dönemi konsantrasyonlarına göre Gültepe, Sanayi, Cedit, Karabaş, Tüysüzler, Köseköy Dumlupınar, Malta, Yahyakaptan, Kuruçeşme Kocatepe ve Yeni örnekleme noktalarında 1,36-5,69 kat daha yüksek hesaplanmıştır. Kış mevsiminde yaz mevsimine göre karışım yüksekliğinin düşmesi ve ısınma amaçlı odun/ kömür yakılmasından dolayı genel olarak daha yüksek kirletici konsantrasyonları ölçülmektedir (Yang ve diğ., 2020).

Sanayi örnekleme noktasına çok yakın iki küçük sanayi sitesi bulunmaktadır ve burada ki dükkanlarda ısınmak için odun/kömür yakılmaktadır. Yazıcı ve diğ. (2010)’nin 2004 - 2009 yılları arasında yaptıkları çalışmada odun/kömür ile ısınmadan doğal gaz ile ısınmaya geçişle partikül madde konsantrasyonlarında, her kış sezonunda bir önceki sezona göre %37’lik bir azalma olmuştur. Benzer durum Kocaeli iline bakıldığında da geçerli olduğu görülmektedir. İl’de 2013 yılından 2019 yılına konutlarda doğal gaz abonesi %26,43 artarken, PM konsantrasyonunda aynı dönemlerde %36,17 azalma görülmektedir (EPDK, 2013; EPDK, 2019; CŞB, 2013; CŞB, 2019). İzmit ilçesinde doğal gaz kullanımını artmış olsada, altyapı problemi nedeniyle bazı mahallelerde ısınma amaçlı odun/kömür kullanımı devam etmektedir. Bu mahallelerden biri olan Cedit Mahallesi’nde de odun/kömür ile ısınma oldukça yaygındır. Dünya genelinde ısınma amaçlı fosil yakıt kullanımının PM_{2.5} konsantrasyonunun %62’sinden sorumlu olduğu bildirilmiştir (Dursun ve diğ., 2017).

Yeşilova örnekleme noktasında ise K/Y oranı 0,64 olarak hesaplanmıştır. Bu örnekleme noktası İzmit Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü bahçesi olup, örnekleme cihazı toprak zemin üzerinde bırakılmak zorunda kalınmıştır. Örneklemeden önce toprak ıslatılmış olsa da, sıcaklığında etkisiyle kuruyan toprak yüzeyinden tozun yeniden havalanması konsantrasyonlarda artışa neden olmuş olabilir. Benzer şekilde yaz örnekleme döneminde 28 Haziran örnekleme noktasında inşaat yıkım faaliyeti ve Kabaoğlu örnekleme noktasında inşaat yapım faaliyetinden çıkan tozlar konsantrasyonlarda artışın nedeni olabilir. Kuala Lumpur kent

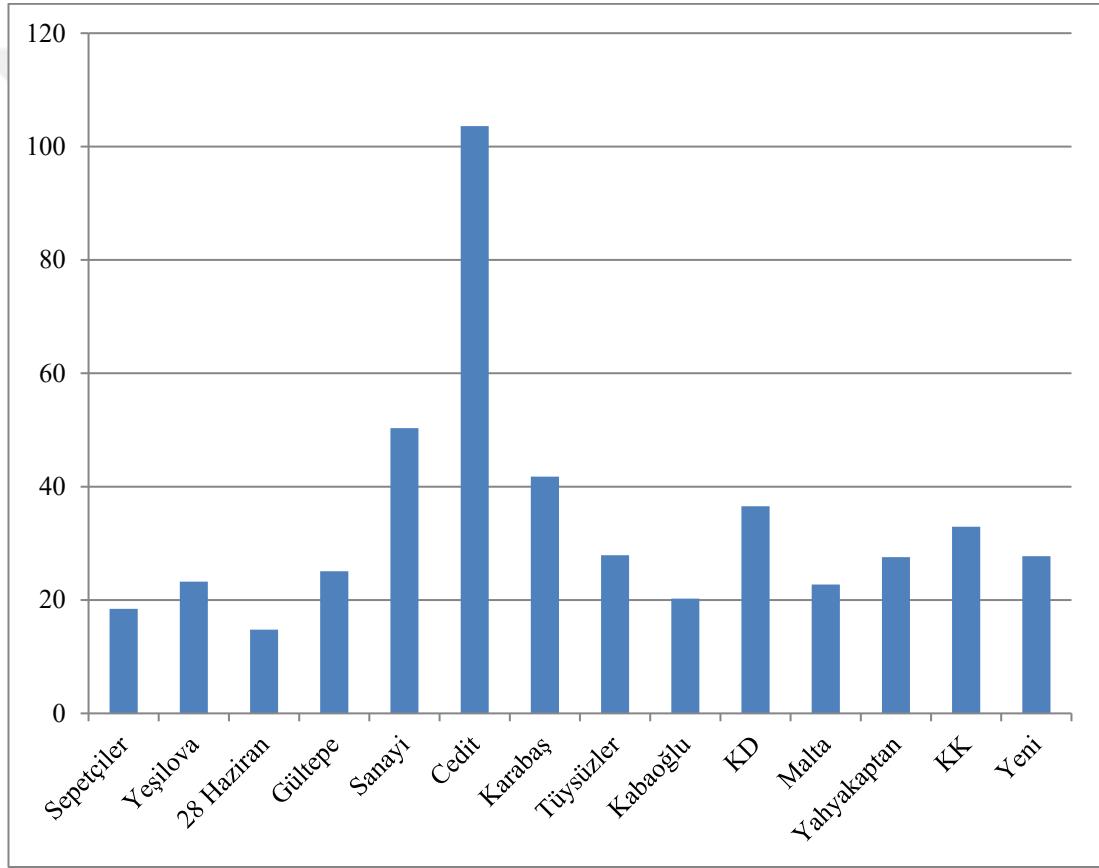
örnekleme noktasında yapılan bir çalışmada yenileme ve inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan mineral veya toprak tozunun yeniden havalanması PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarında artışa neden olmuştur (Sulong ve diğ., 2017). Sepetçiler örnekleme noktasında ise yoğun kamyon trafiğine bağlı olarak yol tozunun yeniden havalanması ile PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarında artış yaşandığı düşünülmüştür. Ayrıca rüzgâr hızının düşük olması yeniden havalandırılan çöken tozun taşınmadan kaynağa kalmasını sağlayarak kirliliğin artmasına neden olmuş olabilir (Akyüz ve Çabuk, 2008; İmal ve diğ., 2013; Kalisa ve diğ., 2019). Sepetçiler ve Kabaoğlu örnekleme noktaları kırsal alanlara yakın olup, yaz aylarında tarımsal faaliyetlerin sonucu olarak anız vb. atıkların yakılması burada ölçülen K/Y oranının düşmesinin sebebi olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 4.1. PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve K/Y oranları

İzmit kent örnekleme alanında ortalama PM_{2.5} konsantrasyonlarının mekânsal dağılım haritası Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi en yüksek

konsantrasyonlar Cedit ($103,6 \pm 86,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Sanayi ($50,32 \pm 53,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) örnekleme noktasında gözlemlenirken, en düşük konsantrasyonlar 28 Haziran ($14,78 \pm 5,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Sepetçiler ($18,44 \pm 3,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$) örnekleme noktasında tespit edilmiştir. Yol örneklemesini temsil eden ve otaban gişesinin hemen yanında olan Yeni örnekleme noktasında ise $27,73 \pm 10,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Cedit örnekleme alanı trafiğin yoğun olduğu yol kenarında olup, özellikle sabah ve akşam saatlerinde iş çıkışlarında yoğun kirliliğin gözlenebileceği bir alandır. Sanayi örnekleme noktasının ise kentsel kirliliğin yanında, ~1 km uzağında yer alan Sanayi sitelerinden etkilendiği düşünülmektedir.



Şekil 4.2. PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarının mekânsal değişimi

4.1.2. PM_{2.5} kütle konsantrasyonlarının literatür çalışmaları ile karşılaştırılması

Bu çalışmada İzmit ilçesinde ölçülen PM_{2.5} seviyelerini dünyanın farklı yerlerinde yapılan çalışmaların seviyeleri ile karşılaştırmak için yapılan çalışmaların PM_{2.5} konsantrasyon sonuçları ve bu çalışmanın PM_{2.5} konsantrasyon değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Türkiye ve dünyanın farklı ülkelerinde PM_{2.5} ölçüm sonuçları (µg/m³)

Lokasyon	Kirlilik Kaynağı	n	PM _{2.5} ortalama	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Kaynak
Türkiye								
Kocaeli, İzmit, 14. Örneklem Alanı	Kentsel, kırsal, trafik	93	33,8		22,2		45,4	Bu Çalışma
İzmir, Tınaztepe	Kırsal	94	24,1		26,5		19,9	(Yatkın ve Bayram, 2008)
İzmir, Yeşildere	Kentsel	50	64,4		52,5		78,6	(Bayraktar ve diğ., 2010)
Erzurum, Karayolları Bölge Müdürlüğü	Kentsel	218	12,67					(Özdemir ve diğ., 2010)
İstanbul, Beşiktaş	Trafik		31,25					(Pekey ve diğ., 2010)
Kocaeli, 15. Örneklem Alanı	Kentsel, Endüstriyel				23,5		21,8	(Kendall ve diğ., 2011)
Bursa, Nilüfer	Kentsel Arka Plan		53					(Gaga ve diğ., 2012)
Eskişehir, E-1	Kentsel				18,6		30,4	(Onat ve diğ., 2013)
Eskişehir, E-2	Kentsel, Trafik				31,8		59,7	(Szigeti ve diğ., 2013)
Eskişehir, E-3	Kırsal				21,1		42,4	(Kara ve diğ., 2015)
Eskişehir, E-4	Kırsal				24,0		50,5	(Pekey ve diğ., 2015)
İstanbul, Bakırköy	Kentsel	19	40,5					(Karakavuz ve diğ., 2017)
İstanbul, Maslak	Kentsel		40					(Tecer ve diğ., 2017)
İzmir, Aliğa, Bozköy	Kentsel, Endüstriyel	88	28,3	27,6	29,6	27,1	28,8	
Kocaeli, 28. Örneklem Alanı	Kentsel-Endüstriyel				22,0		22,2	
Zonguldak, BEÜ Farabi Kampüsü	Evsel		89,07					
Zonguldak-Ankara Karayolu	Trafik		79,69					
Zonguldak, Kilimli İlçesi	Endüstriyel		69,02					
Tekirdağ, Çerkezköy	Endüstriyel		21,74		20,21		23,5	
Tekirdağ, Çorlu	Kentsel		23,35		25,42		22,12	

Tablo 4.2 (Devam) Türkiye ve dünyanın farklı ülkelerinde PM_{2.5} ölçüm sonuçları (µg/m³)

Yalova, Armutlu	Kırsal		19,1	24	17	16	17	(Bozkurt, 2018)
Tekirdağ, Çerkezköy	Kentsel-Endüstriyel		26,5	25	18	29	34	
Kocaeli, Kandıra	Kırsal		19	21	19	21	14	
İstanbul, Ümraniye	Trafik		22,2	22	15	34	22	
İstanbul, Silivri	Yarı kırsal		21,1	22	17	23	22	
Edirne, Keşan	Kentsel		58	61	40	63	68	
Tekirdağ, Çerkezköy	Kentsel		22,81					(Gül, 2020)
Avrupa								
Almanya, Melpitz	Kentsel arka plan		17					(Spindler ve diğ., 2010)
Kuzey İspanya, Navarra, Iturrama	Kentsel	15	15,38					(Aldabe ve diğ., 2011)
Kuzey İspanya, Navarra, Plaza de la Cruz	Trafik	17	17,42					
Hollanda, Haarlemmerweg	Kentsel		17,8					(Boogaard ve diğ., 2011)
Yunanistan, Atina	Her şehir için bölgesel arka-plan, kentsel arka-plan, trafik kaynaklı noktaların ortalaması alınmıştır.	20	20,9					(Eeftens ve diğ., 2012)
Birleşik Krallık, Manchester		20	9,8					
İtalya, Roma		20	19,8					
Fransa, Paris		20	16					
Norveç, Oslo		20	8,6					
Almanya, Münih		20	14,3					
Birleşik Krallık, Londra		20	11,2					
Macaristan, Budapeşte, Széna Meydanı		Kentsel		23				
İspanya, Barselona	Kentsel, Liman		18				(Pérez ve diğ., 2016)	
Kuzey Fransa, Saint-Omer	Kentsel	103	32,5				(Ledoux ve diğ., 2017)	
İngiltere, Galler, Cardiff	Kentsel		14,1	14	14	13,1	14,9	(Mohammed ve diğ., 2017)
Güneydoğu İtalya, Lecce	Kırsal	90		22		24		(Perrone ve diğ., 2019)
Asya								
Lübnan, Beyrut	Kentsel		38,9					(Saliba ve diğ., 2010)
Hindistan, Ahmedabad	Kentsel	30	55,7					(Rengarajan ve diğ., 2011)

Tablo 4.2 (Devam) Türkiye ve dünyanın farklı ülkelerinde PM_{2.5} ölçüm sonuçları (µg/m³)

Tayland, Bangkok	Kentsel		23,2					(Wimolwatta napun ve diğ., 2011)
Tayland, Pathumthani	Kırsal	508	19,8					(Khodeir ve diğ., 2012)
Suudi Arabistan, Jeddah	Kentsel	84	28,4					(Choi ve diğ., 2013)
Kore, Seul, Incheon	Kentsel	115	42,56					(Huang ve diğ., 2015)
Güneybatı Çin, Çengdu		353	99,5	102,7	59,6	81,5	150,4	(Pipal ve Gursumeeran Satsangi, 2015)
Hindistan, Pune			104,57					(Tiwari ve diğ., 2015)
Hindistan, Delhi	Kentsel, Trafik		118,3	90	42,3	198,6	146,7	(Shahid ve diğ., 2016)
Pakistan, Karaçi	Kentsel		75					(Harrison ve diğ., 2017)
Suudi Arabistan, Cidde, 7 Örnekleme Alanı	Kentsel	327	20,7					(Xu ve diğ., 2017)
Çin, Wuhan	Kentsel		74	73	45	75	125	(Kim ve diğ., 2018)
	Kentsel arka plan		59	54	39	65	98	
Kore, Daebu Adası	Kırsal	83	26,2					(Yin ve diğ., 2019)
Çin, Şanghay	Kentsel		50					
Amerika								
Brezilya, São Paulo	Kentsel	340	28,1		23,1		35,5	(Miranda ve diğ., 2012)
Brezilya, Rio		427	17,2		15,8		23,0	
Brezilya, Belo Horizonte		371	14,7		14,5		18,5	
Brezilya, Curitiba		320	14,4		13,3		18,1	
Brezilya, Porto Alegre		342	13,4		13,9		19,3	
Brezilya, Recife		327	7,3		10,5		12,5	
Kanada, Yeni İskoçya, Halifax	Kentsel	45	4,5					(Gibson ve diğ., 2013)
Güneydoğu ABD, Louisiana, Baton Rouge, Leesville Avenue	Kentsel	656	9,34					(Han ve diğ., 2017)
Texas, Cameron Country, Brownsville	Kentsel	185	10,2					(Karnae ve John, 2019)
Afrika								
Nijerya, Ife, Obafemi Awolowo Üniversitesi	Kentsel	114	22,67					(Owoade ve diğ., 2016)

Bu çalışmada elde edilen kentsel PM_{2.5} ortalama konsantrasyonlarının, Saint-Omer'de (Kuzey Fransa) kentsel alanda yapılan çalışmaya yakın (32,5 µg/m³) (Ledoux ve diğ., 2017), diğer Avrupa ülkelerinde kentsel, kırsal, trafik kaynaklı alanlarda ölçülen konsantrasyonlardan daha yüksek olduğu görülmüştür (Aldabe ve diğ., 2011; Szigeti ve diğ., 2013; Boogaard ve diğ., 2011; Eeftens ve diğ., 2012; Mohammed ve diğ., 2017; Pérez ve diğ., 2016; Perrone ve diğ., 2019; Spindler ve diğ., 2010). Asya ülkelerinde kentsel kirlilik kaynaklı yapılan çalışmalara baktığımızda bu çalışmada elde edilen konsantrasyon birçoğundan daha düşük (Tiware ve diğ., 2015; Shahid ve diğ., 2016; Xu ve diğ., 2017; Rengarajan ve diğ., 2011; Saliba ve diğ., 2010; Choi ve diğ., 2013; Huang ve diğ., 2015; Pipal ve Gursumeeran Satsangi, 2015) bazı ülkelerin kentsel veya kırsal alan konsantrasyonlarına yakın olduğu görülmüştür (Wimolwattanapun vd., 2011; Khodeir vd., 2012; Harrison vd., 2017; Kim vd., 2018). Bu çalışmalardan mevsimsel ölçüm yapan ülkelerin yaz ve kış konsantrasyonlarına bakıldığında bu çalışmanın yaz ve kış konsantrasyonlarının da daha düşük olduğu görülmektedir (Tiware ve diğ., 2015; Xu ve diğ., 2017; Huang ve diğ., 2015). ABD'de yapılan çalışmaların bu çalışmada elde edilen PM_{2.5} konsantrasyonlarından çok daha düşük olduğu görülmektedir (Miranda ve diğ., 2012; Gibson ve diğ., 2013; Han ve diğ., 2017; Karnae ve John, 2019). Brezilya'da 6 örnekleme alanında yaz ve kış döneminden gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarından São Paulo'da yaz dönemi konsantrasyonu hariç, bu çalışmanın yaz ve kış örnekleme konsantrasyonlarından daha düşük bulunmuştur (Miranda ve diğ., 2012). Afrika Ülkesi Nijerya'da kentsel alanda yapılan çalışmanın konsantrasyonu bu çalışmada elde edilen PM_{2.5} ortalama konsantrasyonundan daha düşük olarak belirlenmiştir (Owoade ve diğ., 2016). Türkiye'de yapılan çalışmalara bakıldığında bu çalışmada elde edilen ortalama PM_{2.5} konsantrasyonunun birçoğundan daha yüksek (Bayraktar ve diğ., 2010; Bozkurt, 2018; Özdemir ve diğ., 2010; Kara ve diğ., 2015; Yatkin ve Bayram, 2008; Tecer ve diğ., 2017; Gül, 2020) ve bazılarında düşük olduğu görülmüştür (Bozkurt, 2018; Onat vd., 2013; Karakavuz ve diğ., 2017; Szigeti ve diğ., 2013; Kendall ve diğ., 2011; Yatkin ve Bayram, 2008). Bu çalışmada ölçülen yaz dönemi konsantrasyonu kentsel alanda yapılan çalışmaların yaz dönemi konsantrasyonlarının bazılarında yakın (Bozkurt, 2018; Gaga ve diğ., 2012; Pekey ve diğ., 2015) ve birçoğundan düşük belirlenmiştir (Kara ve diğ., 2015; Gaga ve diğ., 2012; Yatkin ve Bayram, 2008; Gül, 2020; Pekey

ve diğ., 2010). Literatürde yapılan çalışmalar kış dönemi yüksek konsantrasyon ölçülmesinin sebebi olarak ısınma amaçlı odun, kömür yakılması, artan trafik yükü ve enverziyon yüksekliğindeki düşüş olduğunu belirtmiştir (Yurdakul ve diğ., 2013, Huang ve diğ., 2015). Yaz mevsiminde kış mevsimine göre trafik daha fazladır. Mevsimlere göre trafik oranlarının yaz mevsiminde %32,99, kış mevsiminde ise %18,94 olduğu bilinmektedir. Yıllık toplam trafik değerlerine göre, Mart ayında trafik artmaya başlarken, Ağustos ayında en yüksek seviyelere ulaşmaktadır (KGM, 2009). Örnekleme bölgesinde Yahyakaptan, Köseköy Dumlupınar, Yeşilova, Malta, Yeni, Cedit, Karabaş, Tüysüzler, 28 Haziran mahallerinde daha çok doğal gaz ile ısınma yapılırken bu mahallelere yakın gecekondu bölgelerinde ve Sepetçiler, Kabaoğlu, Gültepe, Sanayi, Kuruçeşme Kocatepe mahallelerinde hala yoğun bir şekilde ısınma amaçlı odun kömür yakılmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada elde edilen kentsel kış dönemi konsantrasyonu diğer çalışmaların konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuş olabilir (Bozkurt, 2018; Kara ve diğ., 2015; Tecer ve diğ., 2017; Pekey ve diğ., 2010; Pekey ve diğ., 2015).

Kirlilik değerlendirmesi yapılırken yıl içerisinde sınır değerleri aşan gün sayısının belirlenmesi kirliliğin boyutunun anlaşılabilmesi için önemlidir. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde PM₁₀ için sınır değer tanımlanmış olsa da henüz PM_{2.5} için tanımlanmış bir sınır değer mevcut değildir. Bu çalışmada elde edilen PM_{2.5} konsantrasyonu, AB, USEPA ve WHO tarafından belirlenen yıllık PM_{2.5} sınır değerleri olan 25 µg/m³, 15 µg/m³, 10 µg/m³'den sırasıyla 1.4, 2.3, 3.4 kat daha yüksek tespit edilmiştir (WHO, 2005; USEPA, 2009; EEA, 2020). Çalışma dönemi boyunca günlük konsantrasyonlarına bakıldığında USEPA ve WHO günlük sınır değerleri sırasıyla %26 ve %52 oranında aşılmıştır. Yaz ve kış dönemi günlük konsantrasyonlarına bakıldığında USEPA ve WHO sınır değerlerinin sırasıyla yaz döneminde %2, %38, kış döneminde %52, %67 oranında aşıldığı belirlenmiştir.

4.2. PM_{2.5}'e Bağlı PAH Konsantrasyonları

Bu çalışmada yaz ve kış dönemi için 14 farklı örnekleme noktasında Yüksek Hacimli Hava Örnekleycileri kullanılarak aktif örnekleme gerçekleştirilmiştir. Örnekleme alanı kentsel bir bölgeyi temsil etsede, seçilen 14 örnekleme noktasının kentsel, kırsal, trafik ve endüstriyel kirliliğine yakın noktalar seçilmiştir. Çalışmada toplam

84 örnekleme yapılmış ve filtrede PM_{2.5}'a bağlı EPA'nın öncelikli PAH kirleticileri listesinde olan 16 PAH bileşiğinin konsantrasyonları ölçülmüştür.

Yaz ve kış dönemi boyunca 14 noktada toplanan PM_{2.5} örneklerinin ortalama PAH konsantrasyonlarının istatistiksel değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Analiz edilen örneklerin %60'ında 16 PAH kirleticisinin tamamı tespit edilmiştir. BaP için DSÖ'nün tavsiye ettiği sınır değeri 1 ng/m³'tür (WHO, 2000). Bu çalışmada, yıllık ortalama BaP konsantrasyonunun (1,014 ng/m³) DSÖ sınır değerini aştığı belirlenmiştir. Türkiye'de Ankara (Aslan Kılavuz ve diğ., 2017), Çin'de Zhengzhou (Wang ve diğ., 2014) ve Pekin'de (Lin ve diğ., 2015) kentsel alanlarda yapılan çalışmalarda da DSÖ sınır değeri aşılmıştır.

Örnekleme dönemine boyunca PAH bileşiklerinin konsantrasyonları 0,0002 ng/m³ (Phe) ile 5,590 ng/m³ (BbF) arasında değişirken, Σ₁₆PAH konsantrasyonu 8,598 ± 0,467 ng/m³ olarak bulunmuştur. En yüksek konsantrasyon yüksek molekül ağırlıklı (MA>252 g/mol) PAH bileşiği olan BbF'de olurken en düşük konsantrasyon düşük molekül ağırlıklı (MA<228 g/mol) PAH bileşiği olan Phe'de tespit edilmiştir. Yüksek molekül ağırlığına sahip PAH'lar genellikle partikül fazda absorblanma eğiliminde olup daha düşük ağırlığa sahip PAH'lar ise gaz fazında bulunmaktadır (Li, 2009).

Literatürde de benzer şekilde kentsel ortamlarda baskın PAH'lar BbF ve IcP gibi kanserojen PAH bileşikleri yüksek seviyede ölçülmüştür (Akyüz ve Çabuk, 2008). BbF'nin kaynağının, literatürdeki çalışmalarda araç emisyonları olduğu belirtilmiştir (Akyüz ve Çabuk, 2008; Callén ve diğ., 2014). Ayrıca, Murillo ve diğ. (2017) ve Sulong ve diğ. (2019) tarafından BbF'nin kaynağının dizel yakıt emisyonları olduğu belirtilirken, Zhang ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada BbF'nin kaynağının benzin emisyonları olduğunu bildirmiştir.

Örnekleme dönemi boyunca ortalama konsantrasyonlara bakıldığında sırasıyla BbF (1,647 ng/m³), BaP (1,014 ng/m³), Chy (0,883 ng/m³), BgP (0,857 ng/m³) ve Pyr (0,848 ng/m³) baskın PAH bileşikleri olmuştur. Bu beş PAH bileşiği %9,86-%19,16 aralığında ölçülen Σ₁₆PAH konsantrasyonuna katkı yapmıştır.

PAH'lar molekül ağırlıklarına göre düşük molekül ağırlıklı (2 ve 3 halkalı PAH'lar) ve yüksek molekül ağırlıklı (4, 5 ve 6 halkalı PAH'lar) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Molekül ağırlıklarına göre bakıldığında ise yüksek molekül ağırlıklı PAH bileşiklerinin %56 gibi bir oran ile daha baskın olduğu görülmüştür. Doğu Çin'in Ningbo kırsal bölgesinde gaz ve partikül fazındaki PAH'lar incelenmiş ve düşük molekül ağırlıklı Phe, Flu, Flt ve Pyr'nin, gaz fazında baskın PAH bileşikleri olduğu ve PM_{2.5}'e bağlı PAH'lar da ise baskın olarak BbF, IcP ve BgP, BaP ve BkF gibi yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin görüldüğü bildirilmiştir (Liu ve diğ., 2014). Benzer çalışmalar farklı şehirlerde yapılan ölçümler ile de gösterilmiştir (Alves ve diğ., 2017; Barrado ve diğ., 2012; Murillo ve diğ., 2017).

Tablo 4.3. Çalışma dönemi PM_{2.5}'teki PAH ortalama konsantrasyonları (ng/m³)

Bileşikler	n	Ortalama	Medyan	Std Sapma	En düşük	En yüksek
Nap	69	0,055	0,049	0,038	0,001	0,158
Acy	84	0,033	0,013	0,039	LOD	0,110
Ace	67	0,053	0,031	0,067	0,001	0,314
Flu	51	0,068	0,046	0,067	0,008	0,265
Phe	69	0,288	0,150	0,308	0,0002	1,074
Ant	69	0,065	0,053	0,045	0,006	0,150
Flt	80	0,738	0,222	0,931	0,004	2,681
Pyr	77	0,848	0,313	0,990	0,001	2,748
BaA	74	0,748	0,177	0,968	0,011	3,022
Chy	71	0,883	0,235	1,111	0,015	3,251
BbF	79	1,647	0,929	1,672	0,054	5,590
BkF	77	0,373	0,162	0,432	0,005	1,431
BaP	82	1,014	0,489	1,188	0,023	4,061
IcP	81	0,731	0,352	0,827	0,004	2,973
DahA	64	0,198	0,060	0,238	0,002	0,775
BgP	79	0,857	0,370	0,981	0,016	3,491
Σ ₁₆ PAH		8,598	0,552	0,467	0,000	1,647

4.2.1. Ölçülen PAH konsantrasyonlarının literatür çalışmaları ile karşılaştırması

Bu çalışmada elde edilen İzmit kentsel bölgesindeki PM_{2.5}'teki dönemsel PAH konsantrasyonları literatürdeki kentsel, kırsal ve endüstriyel alanda yapılan PM_{2.5}'teki PAH çalışma sonuçları ile karşılatırılmış ve Tablo 4.4'te sunulmuştur. Literatür karşılaştırması yapılırken, çalışmamızla benzer olarak Yüksek Hacimli Hava Örnekleyicisi kullanılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Türkiye'de PM_{2.5}'teki PAH çalışmalarının sınırlı olması ve/veya çalışmalarda farklı aktif örnekleyicilerin kullanılmış olması nedeniyle bu çalışmalarda Tablo 4.4'e dahil edilmiş ayrıca değerlendirilmemiştir.

Farklı ülkelerde yapılan çalışmalarda \sum_{16} PAH konsantrasyonları için en düşük değer (0,010 ng/m³) Yeni Zelanda'nın Tabora kırsal alanında yapılan çalışmada (Kalisa ve diğ., 2019) kaydedilirken, en yüksek konsantrasyon (431,00 ng/m³) Çin'in Zhengzhou eyaletinde endüstriyel çalışma alanında (Wang ve diğ., 2014) ölçülmüştür. Bu çalışmanın örnekleme dönemi toplam PAH konsantrasyonu 8,598 ng/m³ olup, İzmir'de yoğun trafik ve yerleşim alanlarınının yer aldığı kentsel örnekleme alanın çalışmanın (Odabasi ve diğ., 2015) verisine (8,30 ng/m³) oldukça yakın bulunmuştur. Ayrıca, aynı çalışmanın sanayi bölgesinde endüstriyel kirliliği yansıtan değerinden (16,50 ng/m³) oldukça düşük kalmıştır. Ankara'da kentsel (44,30 ng/m³) ve yarı kentsel (18,79 ng/m³) kirliliği temsilen yapılan çalışmanın \sum_{16} PAH konsantrasyon verileri, bu çalışmanın verilerinin oldukça üzerinde olduğu görülmüştür (Aslan Kılavuz ve diğ., 2017).

Avrupa ülkelerinde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, Zaragoza, İspanya'da kırsal örnekleme alanında Callén ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmanın verisinden (1,49 ng/m³) oldukça yüksektir.

Amerika'da Murillo ve diğ. (2017) tarafından Kosta Rika endüstriyel örnekleme verilerinden oldukça düşük (40,96 ng/m³) ve Kosta Rika kentsel örnekleme verilerine (7,19 ng/m³) benzerdir.

Ekonominin hızlı gelişimi ve nüfusun artışıyla birlikte, partikül kirliliği giderek ciddi bir çevre sorunu haline gelen Zhengzhou, Çin'de Wang ve diğ. (2014) kentsel ve endüstriyel örnekleme alanlarında yaptıkları çalışmada, bu çalışmanın verilerinden

13-21 kat daha yüksek değerler kaydedilmiştir. Bir başka Asya ülkesi olan Malezya'da kentsel (Sulong ve dię., 2019) ve yarı kentsel (Khan ve dię., 2015) alanlarda yapılan çalışmaların toplam PAH konsantrasyon verileri ise bu çalışmanın verilerinden çok daha dūřuktur. Basra Kőrfezi'nin kuzeyinde yer alan İnan'ın Busehr limanının kentsel bir bölgesinde yapılan PM_{2.5} alışmasında (Akhbarizadeh ve dię., 2021) yaklaşık 2 kat yüksek konsantrasyon (18,90 ng/m³) bildirilmiştir. Afrika kıtasında yapılan çalışmalara bakıldığında, Dakar, Senegal'de iki farklı trafik yüküne sahip alanlarda (Fann'da trafiğin çoęu Faidherbe'de bulunmayan otobüslerden oluşur) yapılan örneklemenin PAH verileri çalışmamız verilerinin çok daha altında konsantrasyonlar (2,81 ng/m³ ve 2,73 ng/m³) göstermiştir (Dieme ve dię., 2012).

Çalışmamızda, kiř Σ PAH konsantrasyonunun yaz dönemine oranı 7,46 olarak bulunmuştur. Bu oran, kömür madenciliği ve demir-elik endüstrisinin merkezi olan Zonguldak'ta Akyüz ve dię. (2008) tarafından kentsel örnekleme alanında yapılan çalışmanın verilerinden oldukça dūřuktur. Yunanistan Atina'da (Andreou ve Rapsomanikis, 2009), Çin'de Pekin (Lin ve dię., 2015) ve Tayvan'da (Zhang ve dię., 2016) ve Yeni Zelanda Tabora'da (Kalisa ve dię., 2019) yapılan çalışmaların yaz ve kiř dönemi oranları çalışmamızdan yüksek bulunmuştur. Ayrıca, Çin Zhengzhou'da (Wang ve dię., 2014) ve Japonya, Wajima'da (Kalisa ve dię., 2019) yapılan çalışmaların oranları ile benzerlik gösterirken, İspanya'nın Madrid (Barrado ve dię., 2012) ve Zaragoza (Callén ve dię., 2014), Çin'in şangay eyaletinde (Wang ve dię., 2016), Japonya'da Kanazawa'da ve Yeni Zelanda Auckland'da (Kalisa ve dię., 2019) daha dūřük oranlar tespit edilmiştir.

Bu çalışmada yaz, kiř ve çalışma dönemi örnekleme verilerine bakıldığında PM_{2.5}'te baskın PAH bileşiği BbF kirleticisi olmuştur. Tablo 4.4 incelendiğinde, İzmit kent atmosferinde baskın PAH bileşiği literatürde verilen kentsel (Ankara, Atina, Zhengzhou, Pekin, Kanazawa, Kuala Lumpur, Dakar) ve kırsal (Zaragoza, Ningbo) bölgelerdeki baskın bileşikle benzerlik göstermektedir (Andreou ve Rapsomanikis, 2009; Callén ve diğ., 2014; Dieme ve diğ., 2012; Kalisa ve diğ., 2019; Aslan Kılavuz ve diğ., 2017; Lin ve diğ., 1955; Liu ve diğ., 2014; Sulong ve diğ., 2019; Wang ve diğ., 2014).

Tablo 4.4. İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM_{2.5}'e bağlı PAH konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m³)

Örnekleme Bölgesi	Türkiye								Avrupa			
	İzmit, Kocaeli			Zonguldak		İzmir		Ankara, Çankaya, ODTÜ	Ankara, Yenimahalle, Ankara Üniversitesi	Atina, Yunanistan	Atina, Yunanistan	AEDA, Yunanistan
Örnekleme Alanı	Kentsel			Kentsel		Endüstriyel	Kentsel	Yarı-Kentsel	Kentsel	Kentsel		
n	42	42	84	93		17	16			58		
Örnekleme Dönemi	Yaz	Kış	Yıllık Ortalama	Yaz	Kış					Ağustos	Mart	Mart
Nap	0,049	0,061	0,055									
Acy	0,002	0,065	0,033			0,06	0,05					
Ace	0,034	0,068	0,053	0,10	0,70	0,04	0,05					
Flu	0,098	0,057	0,068	ND*	ND	0,10	0,10	1,014	2,782	0,01	0,01	0,03
Phe	0,043	0,515	0,288	0,30	7,60	0,50	0,50	1,535	1,559	0,09	0,31	1,00
Ant	0,041	0,088	0,065	0,30	2,70	0,09	0,05	1,28	1,924	0,02	0,04	0,18
Flt	0,023	1,452	0,738	0,30	21,20	0,80	0,40	2,101	3,454	0,14	1,16	2,75
Pyr	0,104	1,591	0,848	0,40	21,60	0,90	0,40	1,582	2,747	0,09	0,82	2,28
BaA	0,106	1,345	0,748	0,50	14,80	1,30	0,40	1,182	3,593	0,02	0,38	0,46
Chy	0,122	1,590	0,883	0,60	18,70	2,90	1,10	1,652	4,152	0,05	0,95	0,97
BbF	0,537	2,678	1,647	0,40	16,00	2,20	1,10	1,998	6,967	0,13	9,49	8,98
BkF	0,085	0,640	0,373	0,20	9,20	2,10	0,90	1,726	4,105	0,14	2,87	1,72
BaP	0,290	1,737	1,014	0,40	15,70	1,60	0,80	1,811	4,113	0,10	2,05	1,54
IcP	0,227	1,235	0,731	1,10	13,60	1,60	0,90	1,736	6,19	0,10	2,10	1,83
DahA	0,027	0,346	0,198	0,10	1,10	0,50	0,30	0,354	0,651	0,01	0,14	0,95
BgP	0,214	1,455	0,857	1,00	9,80	1,80	1,30	0,822	2,062	0,21	6,88	6,05
ΣPAH	2,001	14,923	8,598	3,30	152,60	16,50	8,30	18,79	44,30	1,11	27,20	28,74
Kaynak	Bu Çalışma			Akyüz ve Çabuk, 2008		Odabaşı ve diğ., 2015		Aslan Kılavuz ve diğ., 2017		Andreou ve Rapsomanikis, 2009		

Tablo 4.4 (Devam) İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM_{2.5}'e bağlı PAH konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m³)

	Avrupa					Amerika		Asya					
	Madrid, İspanya		Zaragoza, İspanya			Belén, Kosta Rika	San José, Kosta Rika	Zhengzhou, Çin					
Örnekleme Alanı	Yarı Kentsel		Kırsal			Endüstriyel	Ticari-Kentsel	Endüstriyel			Kentsel		
n	35		28	33	61	44	42	14	11	46	12	16	48
Örnekleme Dönemi	Yaz	Kış	İlkbahar-Yaz	Sonbahar-Kış	Yıllık Ortalama			Yaz	Kış	Yıllık Ortalama	Yaz	Kış	Yıllık Ortalama
Nap	0,01	0,02				0,55	0,42	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Acy						1,25	0,77	ND	0,40	0,20	ND	1,20	0,50
Ace	0,00	0,00						ND	ND	0,10	ND	0,30	0,20
Flu	0,02	0,03				0,70	0,26	ND	0,20	0,10	ND	0,60	0,10
Phe	0,10	0,17	0,04	0,10	0,07	0,30	0,23	0,50	22,30	6,90	0,30	13,20	4,50
Ant	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,50	22,50	7,20	0,60	12,90	4,50
Flt	0,18	0,24	0,10	0,30	0,21	0,09	0,07	2,80	68,70	23,50	1,90	39,60	14,90
Pyr	0,20	0,32	0,10	0,29	0,20	0,17	0,15	2,60	49,50	17,40	1,80	29,40	11,40
BaA	0,02	0,06	0,08	0,18	0,13	29,20	3,83	5,10	21,10	9,80	2,50	17,70	7,30
Chy	0,07	0,13	0,15	0,30	0,23	0,14	0,14	6,80	50,50	21,50	4,10	30,20	12,50
BbF	0,04	0,10	0,12	0,30	0,21	0,16	0,19	20,80	68,50	34,80	12,40	37,00	19,40
BkF			0,03	0,09	0,06	0,09	0,12	10,00	64,50	27,70	5,00	33,30	14,40
BaP			0,06	0,17	0,12	0,20	0,19	5,00	16,50	8,30	3,90	11,30	5,90
IcP						0,50	0,47	5,70	20,20	10,30	3,70	12,10	6,90
DahA			0,04	0,13	0,09	7,40	0,06	1,50	3,50	2,20	0,90	2,60	1,50
BgP			0,08	0,24	0,16	0,18	0,24	5,00	22,30	10,70	3,60	12,60	7,00
ΣPAH	0,65	1,07	0,81	2,11	1,49	40,96	7,19	61,00	431,00	176,00	38,00	254,00	111,00
Kaynak	Barrado ve diğ., 2012		Callén ve diğ., 2014			Herrera Murillo ve diğ., 2017		Wang ve diğ., 2014					

Tablo 4.4 (Devam) İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM_{2.5}'e bağlı PAH konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m³)

	Asya										
	Ningbo, Çin	Malezya	Malezya, Güneybatı	Malezya, Kuzeydoğu	Pekin, Çin			Kowloon Tong, Hong Kong			
Örnekleme Alanı	Kırsal	Yarı Kentsel			Kentsel						
n	36	34			66			56			
Örnekleme Dönemi					Isıtmanın Olmadığı Dönem	Isıtma Yapılan Dönem	Yıllık Ortalama	Yerel Günler	Uzun Bölgesel Günler	Bölgesel Günler	Yıllık Ortalama
Nap	0,03	0,09	0,10	0,08			0,22				
Acy	ND	0,03	0,04	0,03	0,011	0,065	0,41				
Ace	0,01	0,12	0,18	0,07	0,037	0,79	0,04				
Flu	0,02	0,06	0,09	0,04	0,081	1,18	0,62	0,48	0,19	0,39	0,40
Phe	0,40	0,04	0,06	0,02	0,74	14	7,26	1,75	0,76	1,57	1,51
Ant	0,18	0,04	0,06	0,02	0,07	1,7	0,87	0,01	0,00	0,01	0,01
Flt	1,11	0,09	0,16	0,04	1,63	41,5	21,3	0,22	0,28	0,51	0,32
Pyr	0,92	0,07	0,12	0,04	1,07	22,3	11,5	0,09	0,19	0,32	0,18
BaA	0,76	0,04	0,06	0,03	1,14	23,5	12,2	0,04	0,08	0,14	0,08
Chy	1,28	0,09	0,13	0,05	1,75	21,8	11,6	0,11	0,23	0,33	0,20
BbF	2,24	0,57	0,75	0,42	3,75	34	18,6	0,17	0,41	0,63	0,36
BkF	0,82	0,25	0,33	0,18	2,59**	17**	9,66**	0,07	0,16	0,26	0,15
BaP	0,95	0,30	0,37	0,23	1,99	14,6	8,19	0,06	0,14	0,21	0,12
IcP	1,98	0,36	0,51	0,22	3,09	18,1	10,5	0,17	0,42	0,68	0,38
DahA	0,64	0,16	0,22	0,11	0,25	2,01	1,12	0,01	0,02	0,03	0,02
BgP	1,55	0,54	0,81	0,31	2,77	12,2	7,4	0,12	0,24	0,45	0,24
ΣPAH	12,90	2,79	3,85	1,85	20,97	224,75	121,49	3,29	3,13	5,54	3,96
Kaynak	Liu ve diğ., 2014	Khan ve diğ., 2015			Lin ve diğ., 2015			Ma ve diğ., 2016			

Tablo 4.4 (Devam) İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM_{2.5}'e bağlı PAH konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m³)

Örnekleme Alanı	Asya												
	Şangay, Çin						Tayvan, Çin		Kanazawa, Japonya		Wajima, Japonya		Kuala Lumpur, Malezya
	Kentsel			Kırsal			Endüstriyel		Kentsel		Kırsal		Kentsel
n	29	17	95	32	32	135	16	18					108
Örnekleme Dönemi	Yaz	Kış	Yıllık Ortalama	Yaz	Kış	Yıllık Ortalama	Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış	
Nap	0,45	0,34	0,41	0,71	0,41	0,39	ND	ND					0,06
Acy	0,62	0,11	0,24	0,22	0,13	0,11	ND	ND					UD*
Ace	0,26	0,02	0,11	0,16	0,07	0,08	ND	1,26					UD
Flu	0,39	0,1	0,17	0,29	0,14	0,14	ND	ND					UD
Phe	0,75	1,14	0,74	0,47	0,71	0,62	0,25	27,65					0,12
Ant	0,13	0,2	0,11	0,14	0,3	0,15	ND	7,11					0,02
Flt	0,67	2,26	0,9	0,49	1,89	0,92	1,17	48,25	0,03	0,26	0,01	0,14	0,07
Pyr	0,74	1,82	0,77	0,31	1,74	0,79	1,41	56,68	0,02	0,13	0,01	0,07	0,12
BaA	0,16	1,34	0,36	0,07	1,18	0,41	1,50	13,50	0,01	0,04	0,00	0,02	0,03
Chy	0,31	1,39	0,51	0,19	1,25	0,57	0,79	16,92	0,01	0,07	0,01	0,04	0,08
BbF	0,28	1,83	0,64	0,36	2,14	1,03	0,54	1,33	0,03	0,11	0,01	0,08	0,43
0,61							4,51	0,01	0,05	0,00	0,03	0,22	
BaP	0,14	0,54	0,24	0,15	0,28	0,32	1,01	13,32	0,02	0,04	0,01	0,07	0,13
IcP	0,24	1,65	0,52	0,34	1,33	0,72	1,42	11,05	0,01	0,06	0,01	0,04	0,43
DahA	0,11	0,29	0,12	0,08	0,17	0,12	0,34	1,14					0,02
BgP	0,29	1,89	0,64	0,38	1,5	0,8	1,31	14,98	0,02	0,05	0,01	0,02	0,39
ΣPAH	5,54	14,92	6,49	4,37	13,22	7,18	10,36	215,93	0,16	0,80	0,06	0,53	2,00
Kaynak	Wang ve diğ., 2016						Zhang ve diğ., 2016		Kalisa ve diğ., 2019				Sulong ve diğ., 2019

Tablo 4.4 (Devam) İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM_{2.5}'e bağlı PAH konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m³)

	Asya		Afrika						Okyanusya			
	Buşehr, İran	Fann, Dakar, Senegal	Faidherbe, Dakar, Senegal	Rwanda						Auckland, Yeni Zelanda		Tabora, Yeni Zelanda
Örnekleme Alanı	Kentsel	Kentsel	Kentsel	Kentsel (Yol Kenarı)		Kentsel Arkaplan		Kırsal	Kentsel		Kırsal	
n	46			15	21	14	17	21				
Örnekleme Dönemi				Kuru	Islak	Kuru	Islak	Islak	Yaz	Kış	Yaz	Kış
Nap	5,20	0,06	<LQ	0,08	0,17	0,40	0,41	0,45				
Acy	0,20											
Ace	0,60			0,02	0,03	0,05	0,05	0,08				
Flu	0,45			0,13	0,11	0,24	0,24	0,14				
Phe	3,60	0,11	0,25	1,85	0,67	3,60	2,61	1,80				
Ant	0,07			0,03	0,02	0,09	0,11	0,02				
Flt	2,00	0,13	0,27	6,08	5,13	9,42	9,50	9,58	0,03	0,21	0,00	0,07
Pyr	3,80	0,16	0,46	0,57	0,22	0,68	0,65	0,23	0,02	0,04	0,00	0,02
BaA	0,22	0,26	<LQ	0,54	0,27	1,16	1,03	0,46	0,01	0,02	0,00	0,01
Chy	0,68	0,22	0,35	0,75	0,37	1,31	1,17	0,67	0,02	0,02	0,00	0,01
BbF	0,60	0,51	0,28	2,67	2,17	5,18	5,44	3,51	0,02	0,07	0,00	0,02
BkF	0,05	0,20	0,13	1,12	0,99	2,32	2,41	1,49	0,01	0,03	0,00	0,01
BaP	0,56	0,26	0,32	2,15	2,25	11,28	7,53	4,62	0,01	0,03	0,00	0,03
IcP	0,03	0,44	0,31	2,08	2,07	3,98	4,48	2,80	0,02	0,05	0,00	0,02
DahA	0,36			0,06	0,05	0,10	0,08	0,07				
BgP	0,21	0,46	0,37	4,80	4,98	15,12	14,77	7,22	0,04	0,05	0,00	0,02
ΣPAH	18,90	2,81	2,73	22,95	19,26	54,93	50,49	32,53	0,18	0,53	0,01	0,21
Kaynak	Akhbarizadeh ve diğ., 2021	Dieme ve diğ., 2012		Kalisa ve diğ., 2018					Kalisa ve diğ., 2019			

4.2.2. PAH'ların mevsimsel değişimleri

Bu çalışmada havadaki PM_{2.5}'teki PAH konsantrasyonlarının mevsimsel değişimlerini belirlemek için 12.07.2018 - 09.09.2018 tarih aralığı yaz mevsimini, 28.11.2018 - 27.01.2019 tarih aralığı ise kış mevsiminde örnekleme yapılmıştır. Örnekleme döneminde yaz dönemi için sıcaklık 19 C ile 28 C arasında, kış döneminde -3 C ile 10 C arasında değişmiştir. Örnekleme dönemi boyunca örnek yapılan Cedit, Kabaoğlu, Sanayi, Tüysüzler, Gültepe, Sepetçiler, Köseköy Dumlupınar, Kuruçeşme Kocatepe bölgelerinde ısınma amaçlı odun ve kömür, Karabaş, Malta, 28 Haziran, Yahyakaptan, Yeşilova, Yeni bölgelerinde ise doğal gaz kullanılmaktadır. İki rnekleme döneminin her biri için belirlenen ortalama konsantrasyonlar, medyan, standart sapma, minimum ve maksimum PAH konsantrasyonları yaz ve kış dönemi için sırasıyla Tablo 4.5'te verilmiştir.

PM_{2.5} fraksiyonunda belirlenen ortalama Σ_{16} PAH konsantrasyonları yaz döneminde $2,000 \pm 0,137 \text{ ng/m}^3$ ve kış döneminde $14,923 \pm 0,805 \text{ ng/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Tüm PAH bileşikleri kış örneklerinin en az %85'inde tespit edilirken, yaz dönemi örneklerinin sadece %23'nde belirlenmiştir. Ortalama konsantrasyonlara bakıldığında yaz dönemi en yüksekte en düşüğe sırasıyla BbF ($0,537 \text{ ng/m}^3$), BaP ($0,290 \text{ ng/m}^3$), IcP ($0,227 \text{ ng/m}^3$), BgP ($0,214 \text{ ng/m}^3$), Chy ($0,122 \text{ ng/m}^3$), BaA ($0,106 \text{ ng/m}^3$) ve Pyr ($0,104 \text{ ng/m}^3$) baskın PAH bileşikleridir. Kış dönemi baskın PAH bileşikleri sırasıyla BbF ($2,678 \text{ ng/m}^3$), BaP ($1,737 \text{ ng/m}^3$), Chy ($1,590 \text{ ng/m}^3$), Pyr ($1,591 \text{ ng/m}^3$), BgP ($1,455 \text{ ng/m}^3$), Flt ($1,452 \text{ ng/m}^3$), BaA ($1,345 \text{ ng/m}^3$) ve IcP ($1,235 \text{ ng/m}^3$) llmştir. Her iki dönemde de yanma (pirojenik) kaynaklı PAH'ların baskın olduğu belirlenmiştir. Kış döneminde yanma kaynaklı PAH'ların (Flt, Pyr, Chr, BbF, BkF, BaA, BaP, InP, BgP) toplam PAH'a oranı %92, yaz döneminde ise %85'ini oluşturmuştur. PAH'ların konsantrasyon seviyeleri, ısınma amaçlı odun/kömür yakılması nedeniyle kışın daha yüksek llmştir (Akyüz ve abuk, 2008; Calln ve diğ., 2014, Liu ve diğ., 2014). Ancak sadece ısınma amaçlı yanma emisyonaları kış ve yaz konsantrasyonları arasında bu kadar fark oluşturmamaktadır. Bunun yanında atmosferik sıcaklık düştüğünde yarı uçucu PAH'ların daha fazla PM_{2.5}'te yoğunlaşmasını sağlaması ve düşük atmosferik karışım ykseklieğinden dolayı daha düşük dağılım koşulları birincil kirleticilerin artışı, azalan güneş işiği yoğunluğu ve sık sıcaklık değişimleri gibi meteorolojik

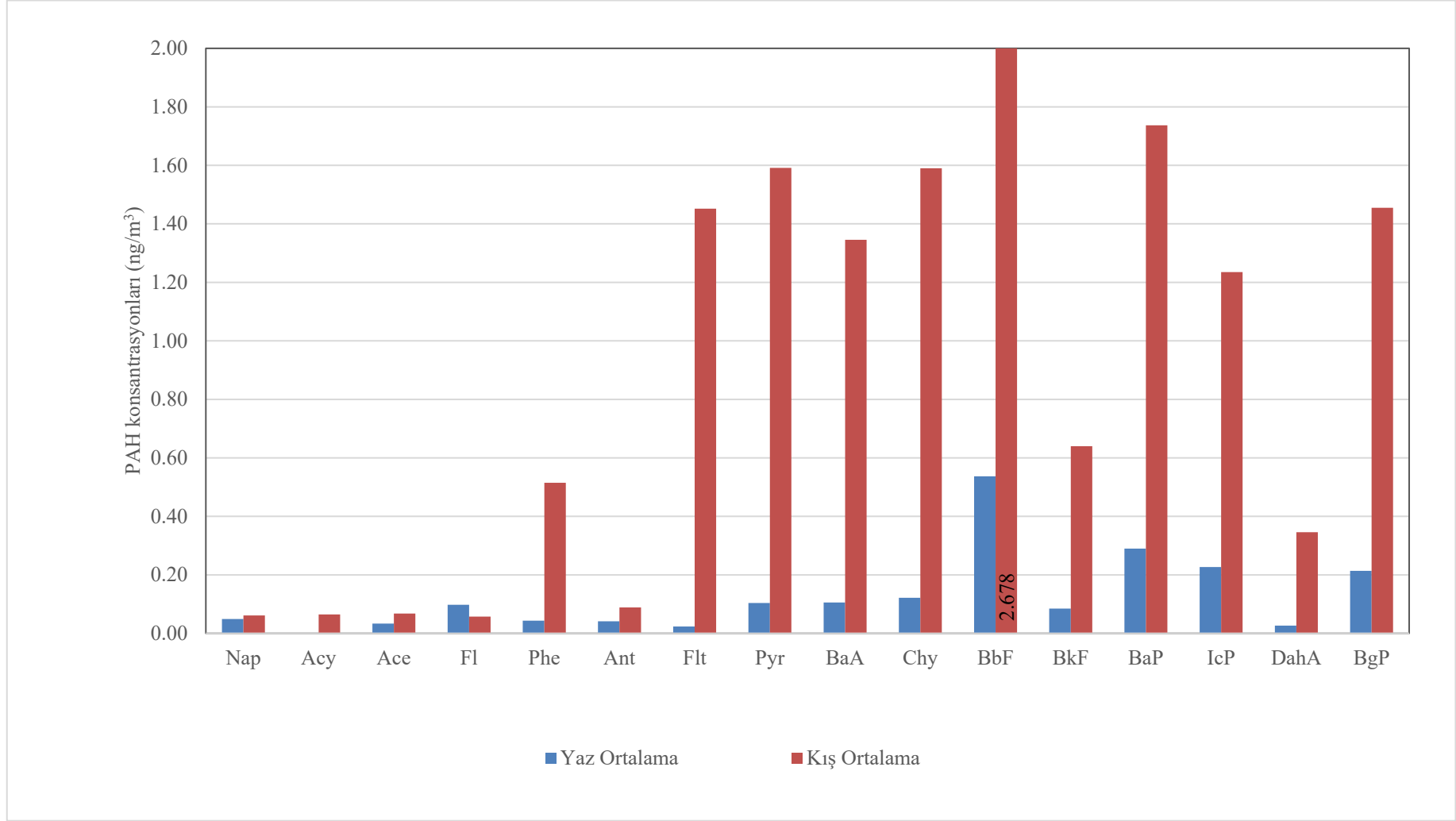
koşullar kışın yüksek konsantrasyonlara neden olan diğer faktörlerdir (Alves ve diğ., 2017; Callén ve diğ., 2014; Chen ve diğ., 2016; Liu ve diğ., 2014). Yaz mevsiminde ise yüksek sıcaklıklar ve güneş radyasyonu kimyasal ve fotokimyasal reaksiyonların artmasının bir sonucu olarak PAH'lar kolayca bozunabilir ve/veya uçucu hale gelebilir (Akhbarizadeh ve diğ., 2021; Akyüz ve Çabuk, 2010; Callén ve diğ., 2014).

Bu sebeple kentsel ve kırsal alanlarda bulunan PAH konsantrasyon seviyeleri ve türleri, genellikle kışın daha yüksek konsantrasyonlarla birlikte mevsimsel değişim gösterir (Barrado ve diğ., 2012). Yaz ve kış dönemi ortalama PAH konsantrasyonları Şekil 4.3'de sunulmuştur. Ayrıca çalışma dönemi baskın PAH'ların (BaP, BgP, BbF, Chy, Pyr) yaz ve kış dönemi mekânsal dağılım haritaları EK-C'de verilmiştir. Fluoren hariç tüm bileşikler kış mevsiminde yaz mevsimine göre 1 ile 62 kat arasında daha yüksek konsantrasyonda hesaplanmıştır. EK-C ve Şekil 4.3'e bakıldığında PAH kirleticilerinde belirgin bir şekilde mevsimsel değişim görülmektedir. Çalışmamızda kış döneminde yaz dönemine göre daha yüksek konsantrasyonlarla belirlenen mevsimsel değişim literatürdeki birçok çalışmayla benzer sonuç göstermektedir (Akhbarizadeh ve diğ., 2021; Akyüz ve Çabuk, 2010; Alves ve diğ., 2017; Barrado ve diğ., 2012; Chen ve diğ., 2016; Gaga ve diğ., 2012; Liu ve diğ., 2014).

Nap, Acy, Ace, Flu, Phe ve Ant gibi düşük molekül ağırlıklı PAH'ların K/Y oranları 0,58-32,50 arasında değişirken, Flt, Pyr, BaA, Chy, BbF, BkF, BaP, IcP, DahA, BgP gibi 4 ve daha fazla halkaya sahip yüksek molekül ağırlıklı PAH'ların K/Y oranları 4,99-63,13 gibi yüksek değerler hesaplanmıştır. Yüksek molekül ağırlıklı PAH'lar esas olarak benzinli ve dizel araç emisyonlarından orta molekül ağırlıklı PAH'lar ise kömür yanması emisyonlarından kaynaklanır (Zhang ve diğ., 2016). Yaz döneminde 4 ve daha yüksek halka sayısına sahip orta molekül ağırlıklı ve yüksek molekül ağırlıklı PAH'ların toplam PAH'lara oranı %76,67 iken, kış döneminde bu oran %94,27'e çıktı. Yaz aylarında düşük buhar basınçlı PAH'ların toplam PAH'lara katkısı %47'ye çıkabilir. Yarı uçuculuk nedeniyle, iki ile üç aromatik halkalı PAH'lar gaz fazında baskın iken, dört veya daha fazla aromatik halkalı PAH'lar partikül fazında baskındır (Wang ve diğ., 2014).

Tablo 4.5. Yaz ve kış dönemi PM_{2.5}'teki PAH konsantrasyonları ve Kış/Yaz oranı (ng/m³)

Bileşikler	n	Ortalama	Medyan±Std Sapma	En düşük-En yüksek	n	Ortalama	Medyan±Std Sapma	En düşük-En yüksek	Kış/Yaz
Nap	32	0,049	0,056±0,027	0,011-0,09	37	0,061	0,047±0,046	0,001-0,158	1,24
Acy	42	0,002	0,001±0,002	LOD-0,009	42	0,065	0,068±0,031	0,017-0,11	32,50
Ace	26	0,034	0,025±0,027	0,001-0,1	41	0,068	0,032±0,084	0,005-0,314	2,00
Flu	10	0,098	0,013±0,122	0,008-0,265	41	0,057	0,051±0,035	0,012-0,114	0,58
Phe	27	0,043	0,031±0,041	0,00007-0,112	42	0,515	0,472±0,27	0,15-1,074	11,98
Ant	29	0,041	0,038±0,024	0,006-0,072	40	0,088	0,095±0,05	0,013-0,15	2,15
Flt	38	0,023	0,023±0,018	0,004-0,069	42	1,452	1,49±0,837	0,374-2,681	63,13
Pyr	35	0,104	0,109±0,069	0,001-0,241	42	1,591	1,645±0,917	0,385-2,748	15,30
BaA	32	0,106	0,097±0,07	0,011-0,247	42	1,345	1,446±1,036	0,093-3,022	12,69
Chy	30	0,122	0,107±0,077	0,015-0,274	41	1,59	1,736±1,16	0,116-3,251	13,03
BbF	37	0,537	0,437±0,479	0,054-1,641	42	2,678	2,483±1,734	0,351-5,59	4,99
BkF	35	0,085	0,064±0,074	0,005-0,247	42	0,64	0,587±0,456	0,078-1,431	7,53
BaP	40	0,29	0,19±0,286	0,023-0,988	42	1,737	1,463±1,312	0,147-4,061	5,99
IcP	39	0,227	0,147±0,223	0,004-0,782	42	1,235	1,064±0,907	0,161-2,973	5,44
DahA	25	0,027	0,017±0,024	0,002-0,075	39	0,346	0,341±0,24	0,031-0,775	12,81
BgP	38	0,214	0,14±0,194	0,016-0,661	41	1,455	1,187±1,044	0,193-3,491	6,80
Σ₁₆PAH		2,000	0,06±0,128	0,00007-1,641		14,923	0,826±0,548	0,001-5,59	



Şekil 4.3. Yaz ve kış dönemi PAH'ların ortalama konsantrasyon değişimleri

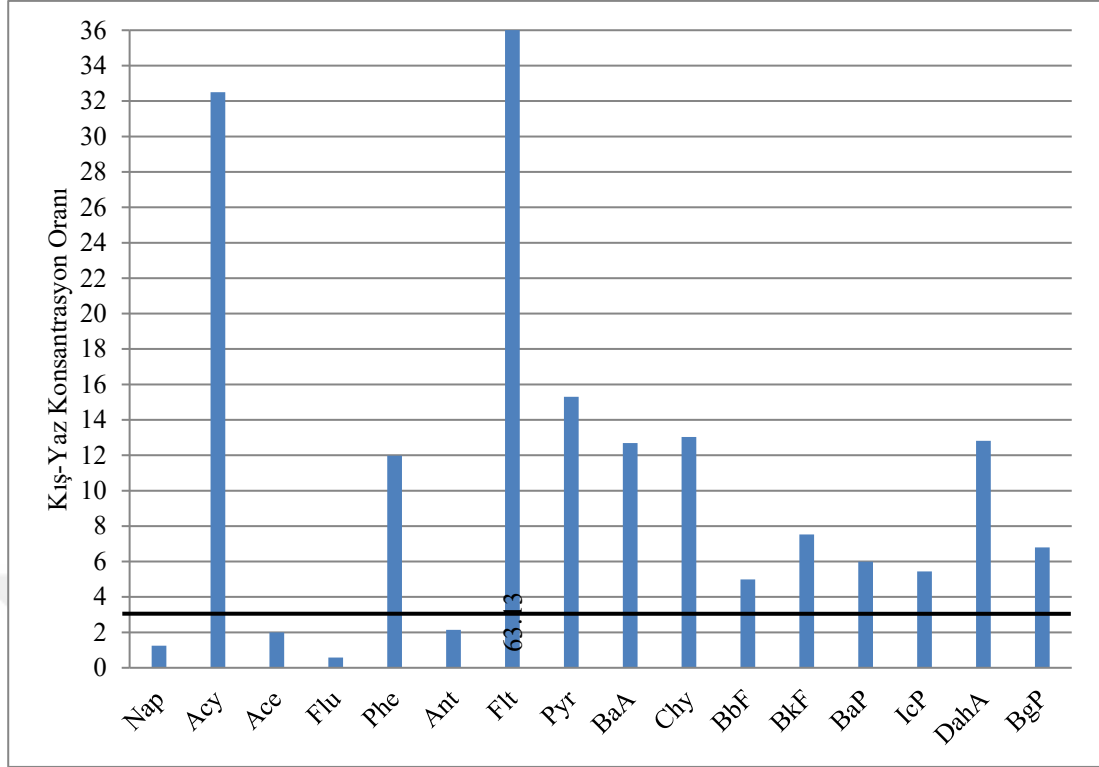
Tüm örnekleme noktalarının yaz ve kış dönemi PAH konsantrasyonları sırasıyla EK-D ve EK-E’de verilmiştir. Tüm örnekleme noktalarında en yüksek PAH konsantrasyonları kış döneminde bulunmuştur. Kış aylarında gözlenen daha yüksek PAH konsantrasyonları, konutların ısınmasından kaynaklanan artan emisyonlardan kaynaklanabilir. Yanmadan kaynaklanan PAH emisyonları soğuk aylarda yükselebilir (Gaga ve diğ., 2012; Pozo ve diğ., 2009). PAH konsantrasyonları için kış aylarında benzer artışlar yakın zamanda yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Akhbarizadeh ve diğ., 2021; Liu ve diğ., 2014). En düşük PAH konsantrasyonları ise yaz örnekleme döneminde (Temmuz-Eylül) tespit edilmiştir.

Kış mevsiminde atmosferik karışım yüksekliği, yüksek moleküler ağırlıklı gaz fazı PAH'ların, daha düşük oktanol hava bölme katsayıları nedeniyle havadaki partiküllere tutunmasına neden olmaktadır. Kış mevsiminde ölçülen PAH kirleticilerin yüksek sebebi sadece meteoroloji olsaydı, bütün PAH kirleticileri aynı oranda artması gerekirdi.

PAH konsantrasyonlarının K/Y oranları Şekil 4.4’te verilmiştir. Hemen hemen bütün kirleticiler için K/Y oranı >1’dir fakat her bir kirletici için farklı oranlarda artmıştır. Trafikteki araç sayısı ve kış aylarında sıcaklığın düşmesi ile ısınma amaçlı odun kömür yakılması bu artışa neden olmuş olabilir. Kocaeli için yapılan bir çalışma bulunmasa da Ankara’da yapılan bir çalışmada Ankara’nın ana caddesinde kışın 300 araç/saat olan trafik yoğunluğu okul servislerinin olmaması, insanların yaz tatil için farklı şehirlere gitmelerinden dolayı 500 araç/saate düşmüştür (Kuntasal ve diğ., 2005).

Şekil 4.4’te görüldüğü gibi ölçülen PAH kirleticileri mevsimsel değişimine göre iki gruba ayrılmıştır. K/Y oranı 2-63,13 olan Ant, Flt, Pyr, BaA, Chy, BbF, BkF, BaP, IcP, DahA, BgP gibi kirleticilerin çoğu yüksek molekül ağırlıklı kirleticilerdir. Kent atmosferinde yanma kaynaklı PAH’ların baskın olduğu görülmüştür.

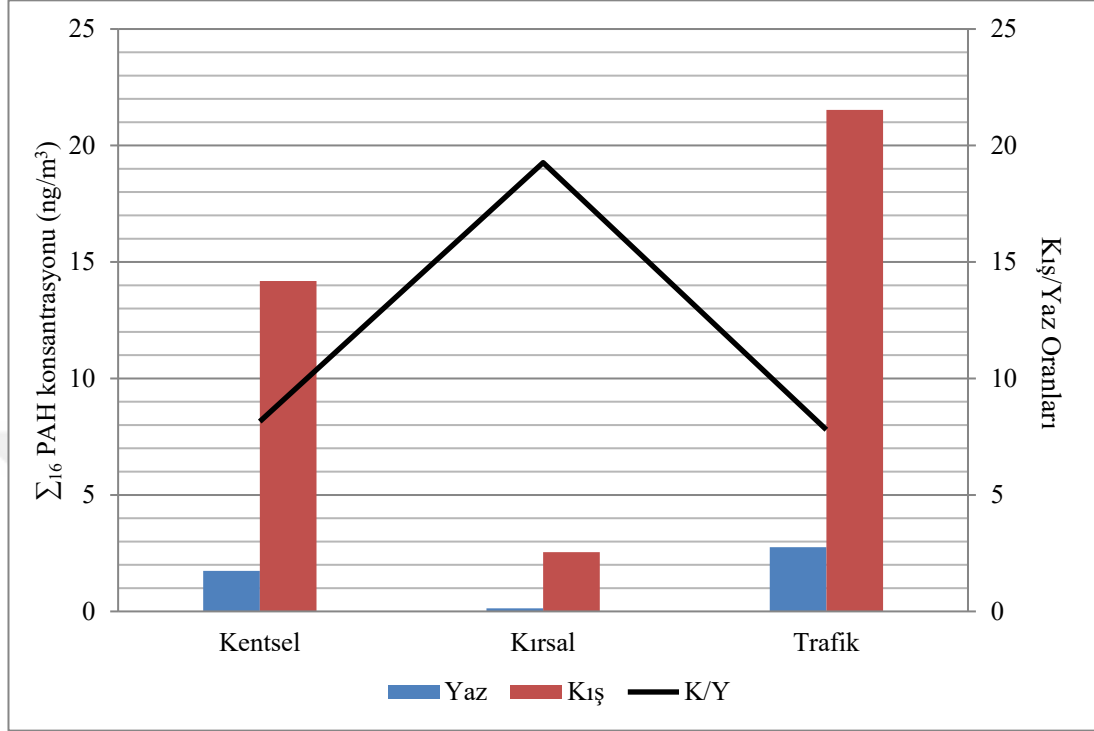
İkinci grup ise nispeten kış/yaz oranının düşük olduğu Nap, Ace, Flu kirleticileridir. Bu grup için K/Y oranı 0,58-2 aralığında değişmektedir. Düşük molekül ağırlığına sahip bu kirleticiler yaz mevsiminde artan sıcaklıktan dolayı buharlaşarak atmosfere karışma eğilimi daha fazla olduğu için nispeten düşük K/Y oranı hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. PAH'ların Kış/Yaz konsantrasyon oranları

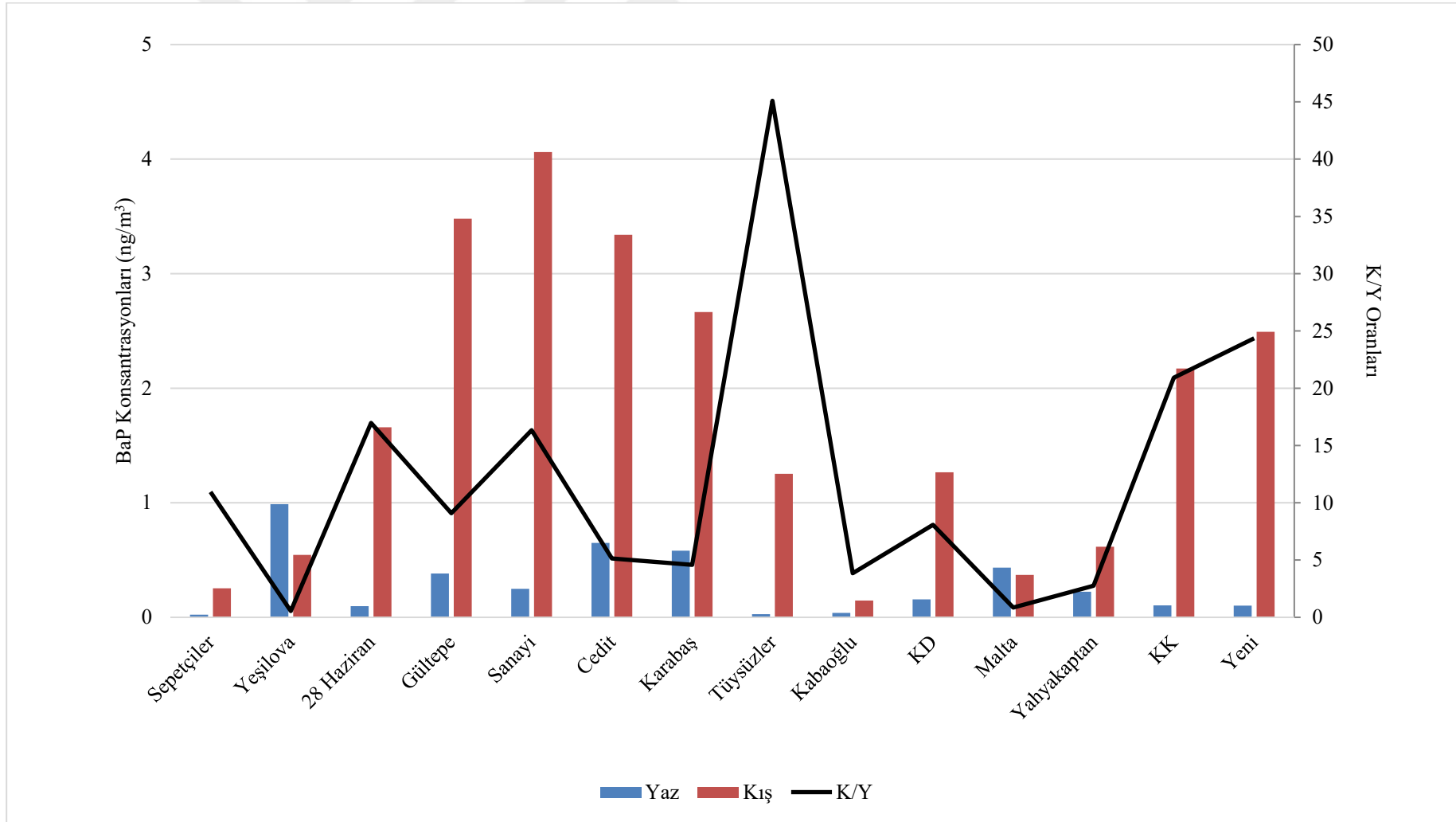
Örnekleme noktası seçiminde kırsal (Kabaoğlu) ve trafik kaynaklarına (Cedit, Karabaş ve Yeni) yakın bölgelerde örnekleme noktaları seçilmiştir. Bu noktaların yaz ve kış dönemi Σ_{16} PAH konsantrasyonlarının ortalamaları Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Yaz döneminden kış dönemine toplam PAH konsantrasyonlarındaki artış kırsal > kentsel > trafik sıralamasını izlemiştir. Konsantrasyon olarak bakıldığında kırsal alanda PAH konsantrasyonu düşük olmasına rağmen yaz döneminde bu değerin daha da düşmesinden dolayı kırsal bölgenin K/Y oranı yüksek bulunmuştur. Kırsal olarak ifade edilen nokta Kocaeli Üniversitesi kampüsü içinde bir nokta ve villa/gecekondu evlerinin bulunduğu bir bölgede bulunan noktadır. Yaz mevsiminde üniversitede eğitim olmaması ve çalışan personelinde belli dönemlerde izinde olması trafik yoğunluğunu oldukça düşürmektedir. Ayrıca Kabaoğlu noktasında evsel ısıtma amaçlı villa bölgesinde şömine kullanılması, gecekondu bölgesinde ise kömür ve odun yakılması kış mevsiminde PAH seviyesini nispeten arttırmış olabilir. Bu sebeple kırsal bölge kış ve yaz mevsiminde kentsel ve trafik yoğunluğu bölgeye göre PAH emisyonlarının çok fazla etkilenmesi K/Y farkını oldukça arttırmıştır. Kentsel bölgede K/Y oranı 1,02-53,85 aralığındayken trafik yoğun bölgede K/Y oranı 5,83-18,16 aralığındadır. Her ne kadar bütün örnekleme

noktası için trafikteki araç sayısı yazın azalsa da kent bölgesinde ısınma amaçlı odun/kömür yakılması K/Y farkını daha da belirgin yapmıştır.



Şekil 4.5. Örnekleme nokta özelliklerine göre Σ_{16} PAH konsantrasyonlarındaki mevsimsel değişim

Ölçülen PAH kirleticileri arasında BaP kansere sebep olduğu için ayrıca incelenmesi gereken kirleticidir. BaP konsantrasyonlarının örnekleme noktalarındaki mevsimsel değişimi ve kış/yaz oranları Şekil 4.6'da verilmiştir. Yaz dönemi BaP konsantrasyonu 0,023 ile 0,988 ng/m³ arasında değişmekte olup, ortalama 0,290 ng/m³ olarak bulunmuştur. Kış döneminde ise ortalama BaP konsantrasyonu 1,737 ng/m³ iken, 0,147 ile 4,061 ng/m³ değişim aralığı tespit edilmiştir. Örnekleme noktalarındaki BaP konsantrasyonunun mevsimsel değişimi incelendiğinde Yeşilova ve Malta örnekleme noktaları dışında tüm örnekleme noktalarında BaP konsantrasyonu kışın artan seviyelerle mevsimsel değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. BaP konsantrasyonları, ısıtma amaçlı fosil yakıt tüketimi ve araç motorlarının soğuk çalışmasından kaynaklanan emisyonlarla soğuk dönemde daha yüksek seviyeler göstermiş olduğu literatürde yapılan çalışmalar göstermiştir (Martellini ve diğ., 2012). Bununla birlikte yapılan bir çalışmada, kış döneminde BaP konsantrasyonlarındaki belirgin düşüşün yağışlı havalarda PAH'ların temizlenmesine bağlı olduğu belirtilmiştir (Alves ve diğ., 2017).

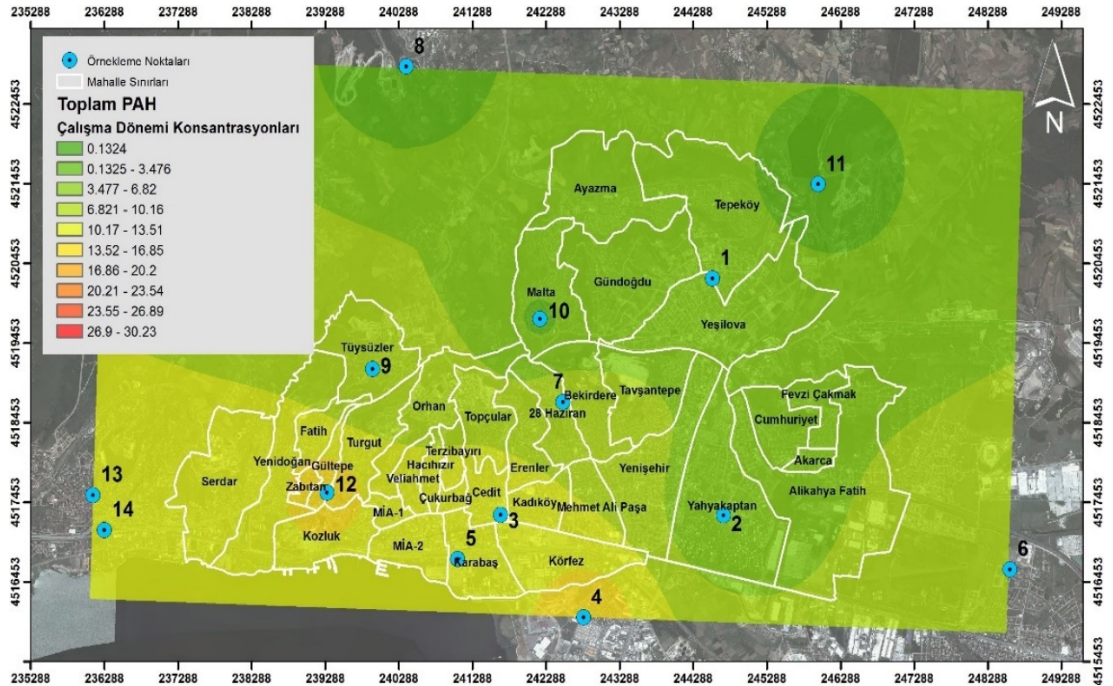


Şekil 4.6. Örneklem noktalarının BaP konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ve K/Y oranları

Yaz ve kış dönemi BaP konsantrasyonlarına bakıldığında, yalnızca kış döneminde 28 Haziran, Gültepe, Sanayi, Cedit, Karabaş, Tüysüzler, Köseköy Dumlupınar, Kuruçeşme Kocatepe ve Yeni Mahalle örnekleme noktalarında DSÖ sınır değeri olan 1 ng/m^3 'ün aşıldığı belirlenmiştir. Türkiye'de Zonguldak'ta (Akyüz ve Çabuk, 2008), Yunanistan, Atina'da (Andreou ve Rapsomanikis, 2009), Çin, Zhengzhou (Wang ve diğ., 2014) ve Pekin'de (Lin ve diğ., 2015) kentsel alan çalışmalarında BaP konsantrasyonu için yaz döneminden kış dönemine artan konsantrasyonlarla belirgin mevsimsel değişim gözlemlenmiştir ve kış dönemi BaP konsantrasyonlarının DSÖ sınır değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

4.2.3. PAH'ların mekânsal dağılımları

Her örnekleme bölgesi için iki farklı mevsimde ölçülen PAH konsantrasyonlarının ortalaması Tablo 4.6'da verilmiştir. $\Sigma_{16}\text{PAH}$ 'ın konsantrasyonları $0,888 \text{ ng/m}^3$ (Kabaoğlu) ile $15,931 \text{ ng/m}^3$ (Sanayi) arasında değişmektedir. Örnekleme noktaları, kentsel bölge için de olsa da kirletici kaynağına yakınlığına göre PAH'ların kentsel PAH konsantrasyonlarının yanında trafik ve kırsal PAH konsantrasyonlarında yansımaktadır. Konsantrasyonlar, kentsel ve trafik bölgeleri için sırasıyla 1,655 ile $15,931 \text{ ng/m}^3$ ve 11,432 ile $13,221 \text{ ng/m}^3$ arasında değişmektedir. $\Sigma_{16}\text{PAH}$ konsantrasyonlarına göre mekânsal dağılım Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Çalışma dönemi $\Sigma_{16}\text{PAH}$ konsantrasyonlarına göre mekânsal dağılım

Tablo 4.6. PM_{2.5}'teki PAH'ların mekânsal konsantrasyonları (ng/m³)

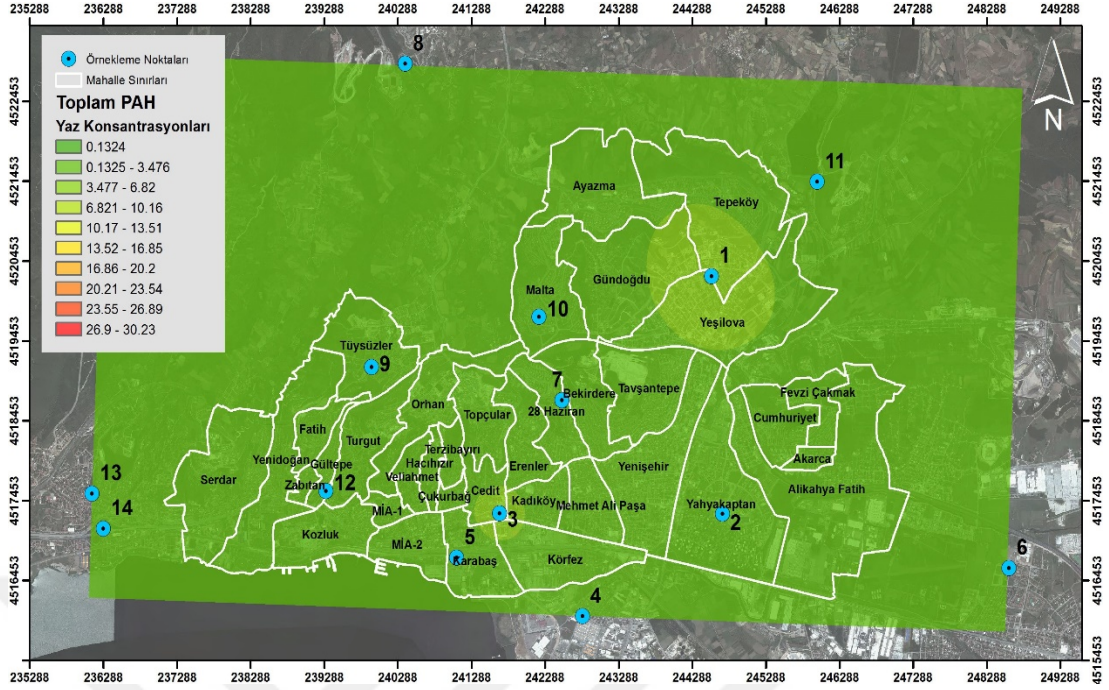
Bileşik	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	Köseköy Dumlupınar	Malta	Yahyakaptan	Kuruçeşme Kocatepe	Yeni
Nap	0,013	0,051	0,046	0,067	0,092	0,063	0,074	LOD	0,096	0,052	0,041	0,054	0,036	0,040
Acy	0,009	0,017	0,033	0,044	0,053	0,028	LOD	0,041	LOD	LOD	LOD	0,024	0,049	0,048
Ace	0,003	0,026	0,023	0,082	0,207	0,022	0,071	0,068	0,063	0,043	LOD	0,013	LOD	LOD
Flu	0,010	LOD	LOD	LOD	LOD	0,026	LOD	LOD	LOD	0,183	LOD	LOD	0,049	0,148
Phe	0,081	0,169	0,351	0,299	0,365	0,220	0,278	LOD	0,108	0,555	0,159	0,232	0,416	0,402
Ant	0,010	0,033	0,064	0,093	0,098	0,055	0,083	0,065	0,026	0,107	0,048	0,040	0,076	0,111
Flt	0,189	0,281	0,890	1,149	0,978	0,511	0,633	0,926	0,210	1,348	0,353	0,402	1,156	1,300
Pyr	0,205	0,389	0,933	1,446	1,210	0,691	0,820	1,041	0,193	1,408	0,420	0,442	1,271	1,397
BaA	0,069	0,270	0,531	1,594	1,511	1,099	1,084	0,872	LOD	0,628	0,185	0,193	1,040	0,981
Chy	0,122	0,294	0,643	1,685	1,659	1,339	1,266	0,991	LOD	0,890	0,207	0,251	1,333	1,183
BbF	0,360	1,438	1,359	2,744	3,017	2,869	2,362	1,222	LOD	1,386	0,657	0,704	1,949	1,992
BkF	0,061	0,215	0,272	0,638	0,738	0,720	0,470	0,302	LOD	0,311	0,095	0,142	0,455	0,573
BaP	0,138	0,767	0,878	1,931	2,155	1,994	1,624	0,641	0,092	0,712	0,402	0,420	1,138	1,297
IcP	0,163	0,676	0,672	1,311	1,600	1,532	1,107	0,381	0,083	0,533	0,234	0,342	0,654	0,946
DahA	0,032	0,100	LOD	0,333	0,397	0,361	0,252	LOD	0,017	0,128	0,034	0,201	0,170	0,239
BgP	0,189	0,676	0,762	1,488	1,849	1,691	1,308	0,403	LOD	0,593	0,253	0,517	0,706	1,040
Σ ₁₆ PAH	1,655	5,402	7,457	14,902	15,931	13,221	11,432	6,951	0,888	8,878	3,089	3,975	10,498	11,697
Min	0,001	0,002	0,001	0,009	0,001	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004	0,001
Mak	0,666	1,641	2,526	4,917	5,590	4,494	3,795	2,371	0,416	2,681	0,687	0,971	3,698	3,789
Medyan	0,017	0,235	0,099	0,178	0,206	0,142	0,177	0,076	0,040	0,140	0,149	0,107	0,107	0,105
Std Sapma	0,160	0,395	0,703	1,355	1,500	1,165	0,985	0,765	0,122	0,794	0,221	0,283	1,020	1,082

Trafikten etkilenen örnekleme noktalarında belirgin konsantrasyon artışı beklenirken, kentsel kirliliğin PAH konsantrasyon seviyelerinin de önemli olduğu görülmüştür. Genel olarak bakıldığında Sanayi ve Gültepe örnekleme noktaları haricinde diğer kentsel örnekleme alanlarından trafiğe yakın olan örnekleme alanları daha yüksek konsantrasyonlar ölçülmüştür.

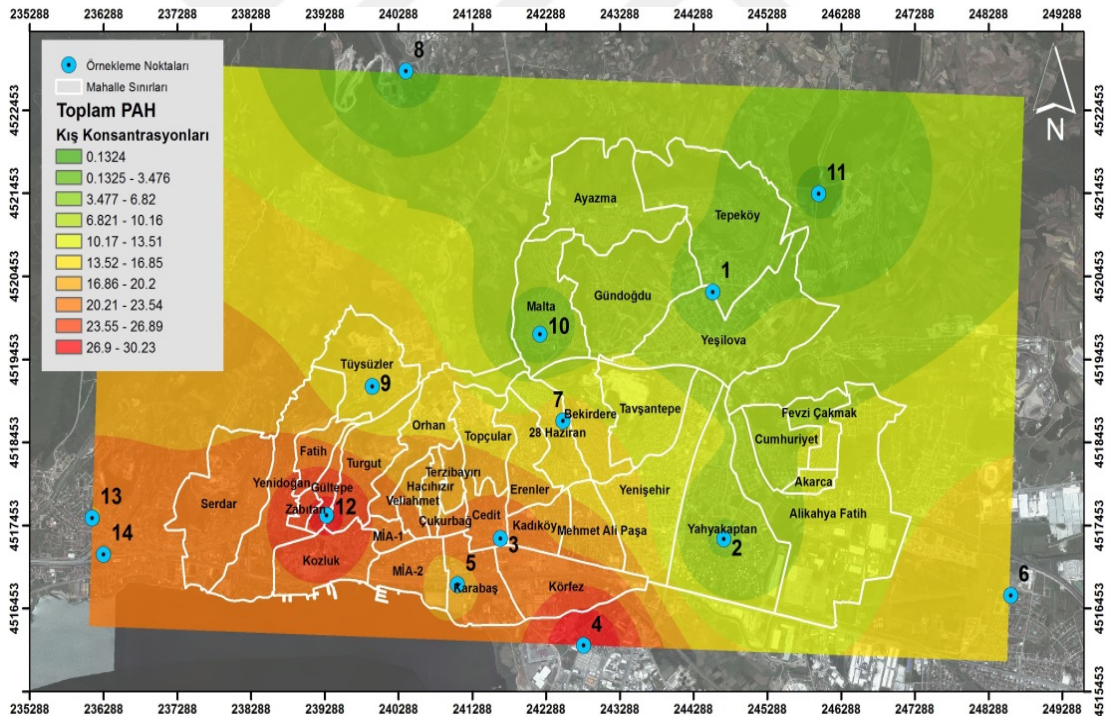
Yaz ve kış dönemi Σ_{16} PAH konsantrasyonlarına göre mekânsal dağılımları sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmiştir. Mekânsal dağılımlar incelendiğinde yüksek konsantrasyonlar kış döneminde kenti temsil eden Gültepe ve Sanayi örnekleme noktalarında, yaz döneminde ise yine kenti temsil eden Yeşilova örnekleme noktasında ve hem kenti hemde trafik yükünü temsil eden Cedit örnekleme noktasında gözlemlenmiştir.

Çalışma dönemi toplam PAH konsantrasyonları Sanayi (kent)> Gültepe (kent)> Cedit (trafik)> Yeni Mahalle (trafik)> Karabaş (trafik)> Kuruçeşme Kocatepe (KK) (kent)> Köseköy Dumlupınar (KD) (kent)> 28 Haziran (kent)> Tüysüzler (kent)> Yeşilova (kent)> Yahyakaptan (kent)> Malta (kent)> Sepetçiler (kent)> Kabaoğlu (kırsal) sıralamasını izlemiştir. Trafik noktalarına yakın seçilen örnekleme noktalarında en yüksek konsantrasyonlar beklenirken, iki örnekleme noktasının en yüksek konsantrasyonları göstermesi bu noktaların farklı kaynak profilinden etkilendiğini düşündürmektedir.

En yüksek konsantrasyon Sanayi örnekleme noktasında ölçülmüş iken diğer Gültepe ($14,90 \text{ ng/m}^3$), Cedit ($13,22 \text{ ng/m}^3$), Yeni Mahalle ($11,70 \text{ ng/m}^3$), Karabaş ($11,43 \text{ ng/m}^3$) ve Kuruçeşme Kocatepe ($10,50 \text{ ng/m}^3$) örnekleme noktalarında da Sanayi örnekleme noktasına yakın değerler olduğu görülmüştür. Ölçülen bu değerlerin kırsal örnekleme noktalarından oldukça yüksek bulunmuştur. Her ne kadar kış örnekleme haritasında kentsel örnekleme noktalarında baskınlık görülse de, trafik yükünü gösteren örnekleme noktalarının Σ_{16} PAH'ın konsantrasyon yükü daha baskın olmuştur. Bir sonraki bölümde kaynakların ayırt edilebilmesi için istatistiksel bir kaynak belirleme modeli olan Faktör analizi kullanılarak PAH emisyon kaynakları ayırt edilmiştir.



Şekil 4.8. Yaz dönemi \sum_{16} PAH konsantrasyonlarına göre mekânsal dağılım

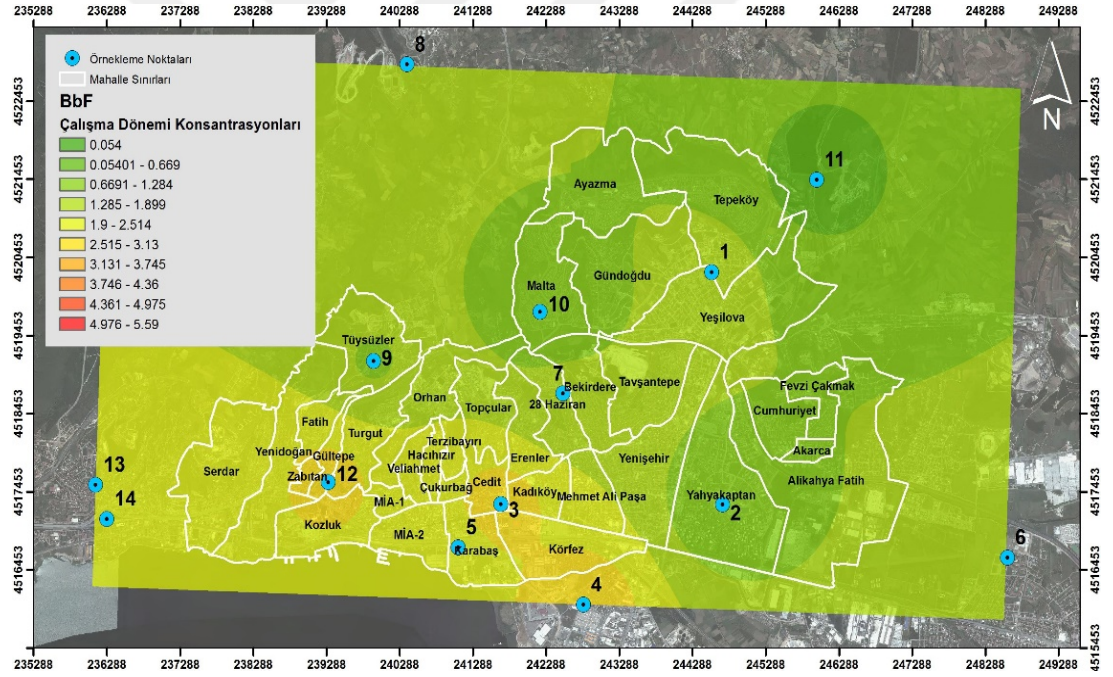


Şekil 4.9. Kış dönemi \sum_{16} PAH konsantrasyonlarına göre mekânsal dağılım

Tablo 4.6’da görüldüğü gibi hemen hemen bütün örnekleme noktalarında baskın PAH bileşiklerinin BbF, BaP, Chy, BgP ve Pyr olduğu görülmektedir. Bu bileşiklerin mekânsal dağılım haritaları sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13’te verilmiştir.

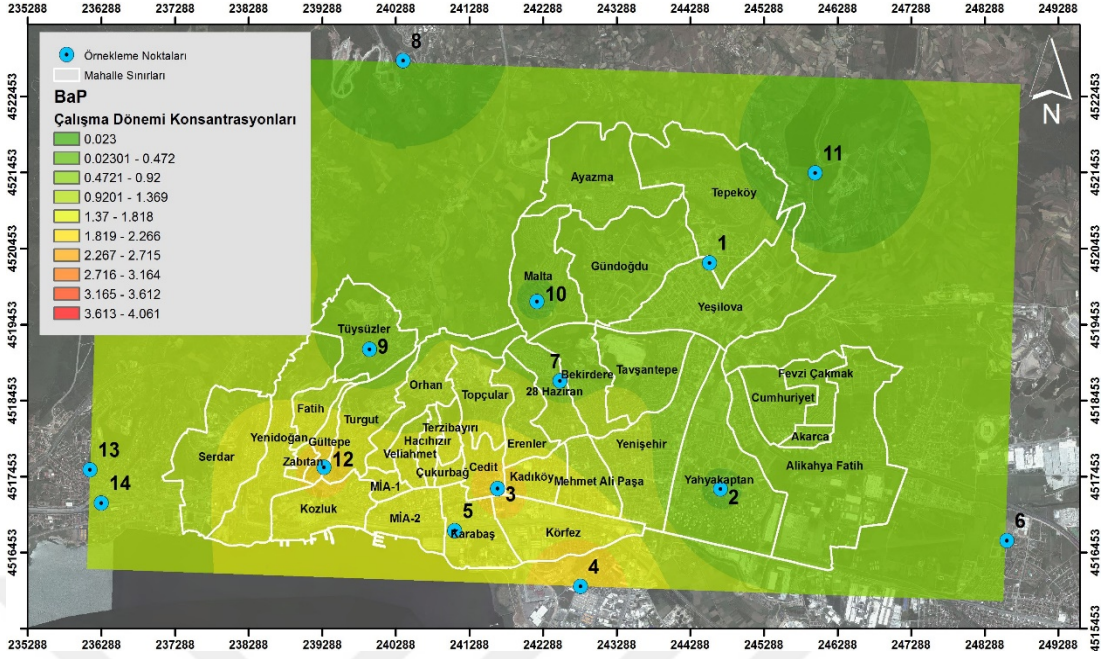
Kirleticilerin mekânsal dağılımı incelendiğinde BbF, BgP ve BaP'nin Gültepe, Cedit, Sanayi ve Karabaş örnekme noktalarında baskın olduğu görülmektedir. Chy ise Gültepe, Cedit ve Sanayi örnekme noktaları dışında Kuruçeşme Kocatepe ve Yeni Mahalle örnekme noktalarında baskındır. Pyr ise diğer dört kirleticiden farklı bir dağılım göstermiş ve Gültepe, Yeni Mahalle, Kocatepe ve Köseköy Dumlupınar noktalarında yüksek konsantrasyonlara ulaşmıştır.

Şekil 4.10'de görüldüğü gibi BbF kirleticisi, Sanayi, Gültepe, Cedit ve Karabaş örnekme noktalarında 2,36 ile 3,02 ng/m³ aralığında ölçülmüştür. Tüysüzler, Yeni, Kuruçeşme Kocatepe, Malta, Yeşilova, Sepetçiler, 28 Haziran, Köseköy Dumlupınar, Yahyakaptan noktalarında 0,36-1,99 ng/m³ aralığında, kırsal örnekme noktasından biri olan Kabaoğlu örnekme noktasında ise ölçüm sınırı altında kalmıştır.



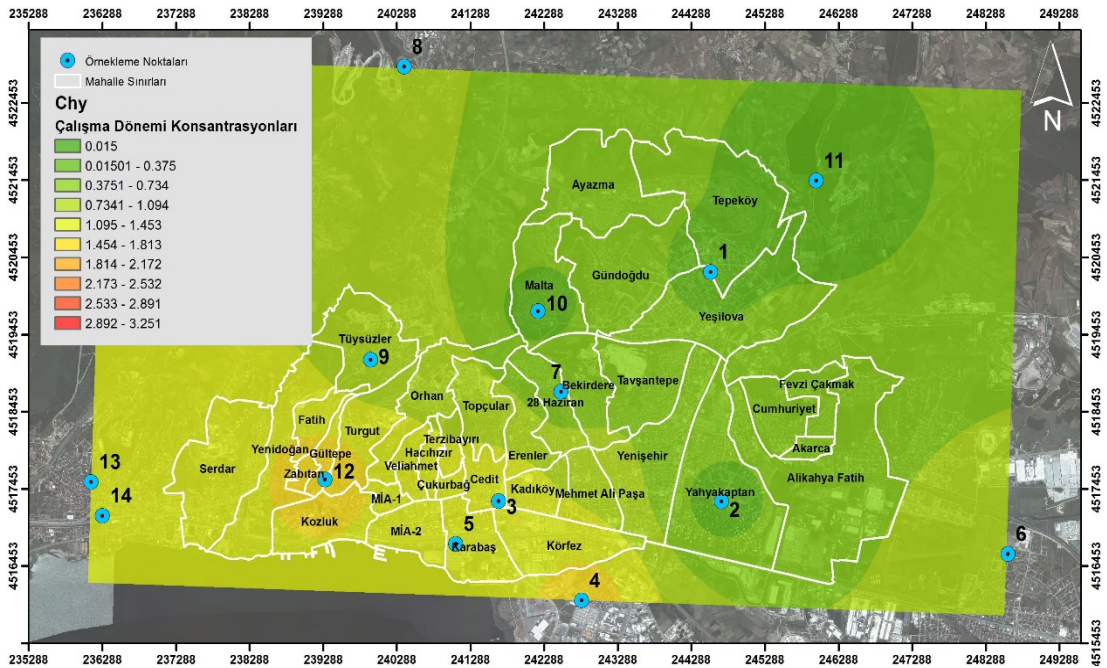
Şekil 4.10. Ortalama BbF konsantrasyonu mekânsal dağılım haritası

Şekil 4.11'e bakıldığında BaP kirleticisi, Sanayi, Gültepe, Cedit ve Karabaş örnekme noktalarında 1,62 ile 2,16 ng/m³ aralığında ölçülmüştür. Tüysüzler, Yeni, Kuruçeşme Kocatepe, Malta, Yeşilova, Sepetçiler, 28 Haziran, Köseköy Dumlupınar, Yahyakaptan noktalarında 0,14-1,14 ng/m³ aralığında, kırsal örnekme noktasından biri olan Kabaoğlu örnekme noktasında 0,09 ng/m³ olarak ölçülmüştür.



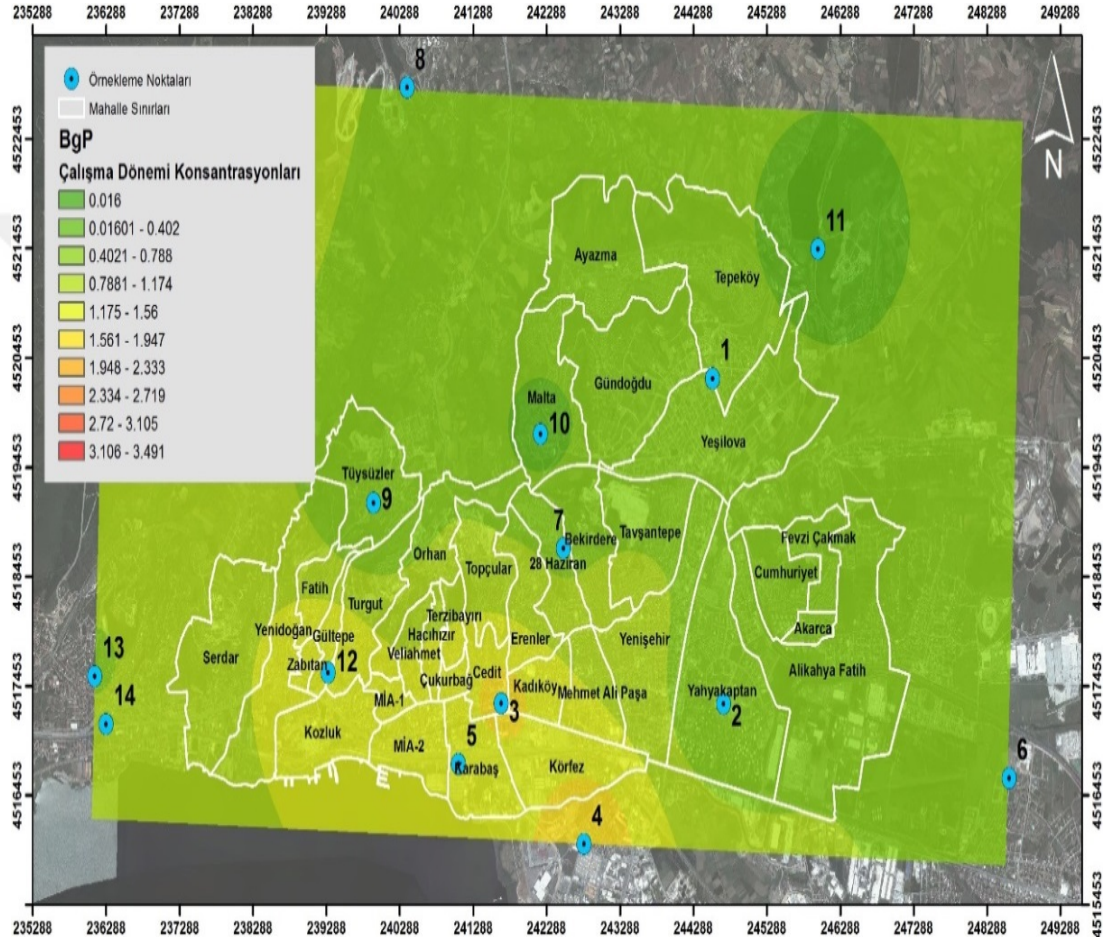
Şekil 4.11. Ortalama BaP konsantrasyonu mekânsal dağılım haritası

Şekil 4.12'e bakıldığında Chy kirleticisi, Sanayi, Gültepe, Cedit ve Karabaş örnekleme noktalarında 1,27 ile 1,69 ng/m³ aralığında ölçülmüştür. Tüysüzler, Yeni, Kuruçeşme Kocatepe, Malta, Yeşilova, Sepetçiler, 28 Haziran, Köseköy Dumlupınar, Yahyakaptan noktalarında 0,12-1,33 ng/m³ aralığında, kırsal örnekleme noktasından biri olan Kabaoğlu örnekleme noktasında ise ölçüm sınırı altında kalmıştır.



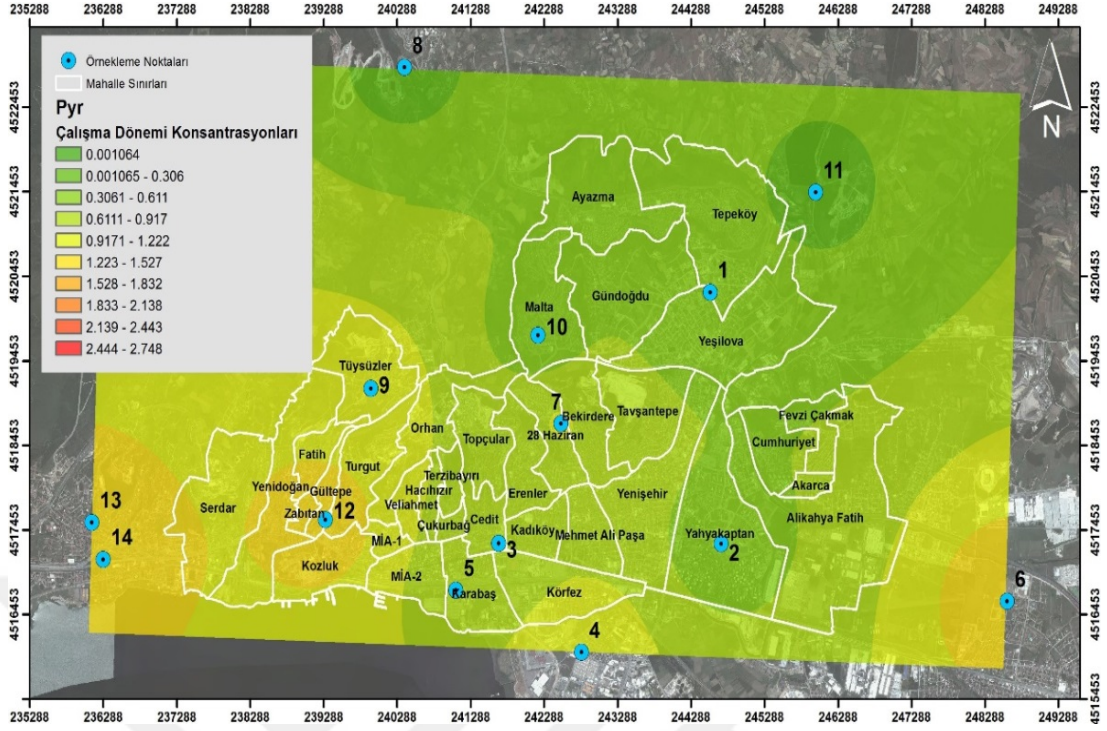
Şekil 4.12. Ortalama Chy konsantrasyonu mekânsal dağılım haritası

Şekil 4.13'e bakıldığında BgP kirleticisi, Sanayi, Gültepe, Cedit ve Karabaş örnekleme noktalarında 1,31 ile 1,85 ng/m³ aralığında ölçülmüştür. Tüysüzler, Yeni, Kuruçeşme Kocatepe, Malta, Yeşilova, Sepetçiler, 28 Haziran, Köseköy Dumlupınar, Yahyakaptan noktalarında 0,19-1,04 ng/m³ aralığında, kırsal örnekleme noktasından biri olan Kabaoğlu örnekleme noktasında ise ölçüm sınırı altında kalmıştır.



Şekil 4.13. Ortalama BgP konsantrasyonu mekânsal dağılım haritası

Şekil 4.14'e bakıldığında Pyr kirleticisi diğer kirleticilerden farklı olarak Gültepe, Köseköy Dumlupınar, Yeni ve Kuruçeşme Kocatepe örnekleme noktalarında baskınlık göstermiştir. Bu noktadaki konsantrasyonları 1,45 ile 1,27 ng/m³ aralığında ölçülmüştür. Tüysüzler, Cedit, Karabaş, Malta, Yeşilova, Sepetçiler, 28 Haziran, Sanayi, Yahyakaptan noktalarında 0,21-1,21 ng/m³ aralığında, kırsal örnekleme noktasından biri olan Kabaoğlu örnekleme noktasında 0,19 ng/m³ olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.14. Ortalama Pyr konsantrasyonu mekânsal dağılım haritası

BbF ve Chy'nin yüksek konsantrasyonları, sabit emisyon kaynaklarını gösterir (Callén ve diğ., 2014; Chen ve diğ., 2016). Pyr ve Chy'nin yüksek konsantrasyonları PAH'ların kömür yanma emisyonundaki ana bileşenler olduğu göstermektedir (Bragato ve diğ., 2012). Benzin emisyonlarının kaynak belirteçleri olarak BaP ve BbF rapor edilmiştir (Chen ve diğ., 2016). Başka bir çalışma da Pyr ve BbF'yi dizel emisyonlarının kaynak belirteçleri olarak ele almıştır (Teixeira ve diğ., 2013). BbF, BaP, BgP ve Chy'nin yüksek konsantrasyonları Cedit, Sanayi, Gültepe ve Karabaş örneklem noktalarında görülmüştür. Yüksek konsantrasyonda ölçülen Cedit ve Gültepe örneklem noktaları gecekondu veya doğalgaz kullanımının az olduğu mahallelerdir. Bu mahallerde ısınma amaçlı odun/kömür yakıldığı bilinmektedir. Ayrıca Gültepe örneklem noktasının batı terminaline ve D-100 karayoluna yakın olması ve Cedit örneklem noktasının kent merkezinde trafikten oldukça fazla etkilenen bir noktada olması bu noktaların kentsel konut ısıtma kirliliğinin yanında trafik emisyonlarından da oldukça etkilendiğini düşündürmektedir. Bir diğer yüksek konsantrasyona sahip nokta küçük sanayi içinde bulunan Sanayi örneklem noktasıdır. Buradaki küçük tesislerde ısınma amaçlı birçok yanıcı madde yakılmaktadır. Karabaş mahallesi ise D-100 karayolu yan yolu üzerindedir ve trafik

emisyonlarından oldukça etkilenmektedir. Bu nedenlerle BkF, BgP, BaP ve Chy gibi kirleticilerin yüksek konsantrasyonları bu noktalarda yüksek ölçülmüş olabilir.

Pyr izabe işlemleri, petrol yanması, ferroalyaj ürünleri imalatı vb. gibi endüstriyel emisyonların etkilerini göstermektedir (Sarkar ve Khillare, 2013). İran, Buşehr’de yapılan çalışmada Flt, Pyr, Chy, Phe ve Nap’ın baskın olmasının endüstriyel emisyonlardan kaynaklandığı bildirilmiştir (Akhbarizadeh ve diğ., 2021). Pyr, Phe, Chy kömür yanmasından kaynaklanan emisyonlarla ilgilidir (Akyüz ve Çabuk, 2008; Wang ve diğ., 2014; Zhang ve diğ., 2016). Köseköy Dumlupınar örnekleme noktasında bulunan villalarda kış mevsiminde odun ve kömür kullanımı oldukça yüksektir. Ayrıca örnekleme noktası, D-100 karayoluna ~1 km uzaklıkta ve demir-çelik fabrikasına ve Alikahya OSB’e ~2 km mesafededir. Ayrıca kent atmosferinde Pyr araç emisyonlarından da (hem dizel hem benzinli) salınım yapmaktadır (Chen ve diğ., 2016; Sulong ve diğ., 2019; Teixeira ve diğ., 2013). Murillo ve diğ. (2017), Pyr, BbF, Flt, Chy ve BgP’nin daha çok dizel emisyonların izleyicileri olduğunu belirtmişlerdir.

Kuruçeşme Kocatepe örnekleme noktası TEM otoyoluna ve Ankara-İstanbul D-100 karayoluna ~1 km mesafededir. Yeni örnekleme noktası ise Ankara-İstanbul D-100 karayolunun girişlerinin bulunduğu noktadadır. Bu nedenle bu kirleticinin bu noktalarda yüksek konsantrasyonlarının gözlemlendiği düşünülmüştür.

Genel olarak bakıldığında, PAH konsantrasyonlarının mekânsal dağılımı, bölgedeki başlıca PAH kaynaklarının kömür yanması, trafik emisyonları ve sanayi bölgelerinden kaynaklandığını düşündürmektedir.

4.2.4. PAH’ların kaynak tanımlaması

Kaynak tanımlama için daha fazla bilgi elde etmek için moleküler tanı oranlarını (MDR) hesaplanmıştır. PAH’ların sadece PM_{2.5} fraksiyonunun kullanılması (gaz ve partikül fazının toplamı yerine) PAH kaynak tanımlaması için tam bir sonuç vermeyebilir. Kaynak tanımlama için sadece MDR kullanımının hatalı sonuçlara yol açtığı daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Martellini ve diğ., 2012). Yakıtların çeşitliliği ve yanma koşulları MD oranlarda farklılıklara neden olabilir. Ayrıca sonuçlar, bazı MD oranlarının fotodegradasyona duyarlı olduğunu göstermiştir. Bu

nedenle, farklı moleküler tanı oranlarının kullanımı, PAH kaynaklarını ayırt edebilmek için diğer kaynak belirleme modelleri ile birlikte kullanılmalıdır (Alves ve diğ., 2017). Çalışmamızda kaynak tanımlama için MDR'nin yanında Temel Bileşen Analizi (Faktör Analizi) kullanılmıştır.

i.Moleküler tanı oranı ile PAH'ların kaynak tanımlaması

Bazı bileşiklerin konsantrasyonları ve oranları, atmosferdeki farklı bileşik kaynaklarının etkisi hakkında bilgi verebilir. Bu bileşikler genellikle benzinli veya dizel motorların yaygınlığını ve ayrıca trafik ve diğer kaynakların nispi katkısını belirtmek için kullanılır (Andreou ve Rapsomanikis, 2009). Bu amaçla, çalışmada her örnekleme noktasında 3 farklı günde ölçülen PAH konsantrasyon değerlerinden MDR oranları hesaplanmış ve bu 3 değerın ortalaması alınmıştır. Örnekleme dönemi değerlendirilmesi için hesaplanan değerlerin genel ortalaması kullanılmıştır. Tablo 4.7'da literatür verilerinden oluşturulan MDR oranları ve karşılaştırma için çalışmamızın MDR oranları verilmiştir.

IcP / (IcP + BgP) oranı yaz döneminde 0,02-0,59 kış döneminde ise 0,36-0,48 aralığında hesaplanmıştır. Kış dönemi MDR'sinin Khan ve diğ. (2015), Murillo ve diğ. (2017) ve Sarkar ve Khillare (2013) tarafından dizel emisyon göstergesi olarak belirtilen sınırlar arasında olduğu görülmüştür. Yaz dönemi MDR'si ise kömür yakma kaynağını gösteren oranla aynı olsada, örnekleme bölgesinde yaz döneminde kömür yakılmaması ve dizel emisyon oranına yakın bir değerde olması nedeniyle her iki dönemde de dizel emisyonun baskın olduğu düşünülmektedir.

Yaz dönemi 0,18 Flt / (Flt + Pyr) oranı petrol ve yağ yakma kaynağını göstermektedir (Chen ve diğ., 2016). Ayrıca 0,40'ın altındaki Flt / (Flt + Pyr) oranları yanmamış petrolün (petrojenik kaynaklar) etkisini göstermektedir (Akyüz ve Çabuk, 2008). Kış döneminde kömür ve odun yakımının artması Flt / (Flt + Pyr) oranını yazı göre artırmaktadır (Tobiszewski ve Namieśnik, 2012). Kış dönemi 0,4 ile 0,5 arasında değer alan Flt / (Flt + Pyr) oranı (0,48), fosil yakıt yakma kaynağının yanında araç emisyonunda önemli bir PAH kaynağı olduğunu düşündürmüştür.

Yaz dönemi BaP / (BaP + Chy) oranı (0,70) araç yakıtlarıyla ilgili benzin emisyonunu, kış dönemi oranı (0,52) ise dizel yakıt emisyonunu düşündürmektedir.

Tablo 4.7. PM_{2.5}'e bağlı PAH'ların moleküler tanı oranları

Moleküler Tanı Oranları		IcP/(IcP+ BgP)	Flt/(Flt+ Pyr)	Ant/(Ant+ Phe)	BaP/BgP	BaA/(BaA+ Chy)	BaP/(BaP+Chy)	BaA/Chy	BbF/BkF	IcP/BgP	ΣLPAH/ΣHPAH	
Bu çalışma	Yaz	0,51	0,18	0,49	1,36	0,46	0,70	0,87	6,34	1,06	0,19	
	Kış	0,46	0,48	0,15	1,19	0,46	0,52	0,85	4,18	0,85	0,11	
	Ortalama	0,46	0,47	0,18	1,18	0,46	0,53	0,85	4,42	0,85	0,12	
Kaynak	Petrojenik	<0,2 ^{c, d, e, f}	<0,4 ^{e, d, e, g, h}	<0,1 ^{b, c, d, e, f, h}		<0,2 ^{e, d, f}					>1 ^d	
	Pirojenik	>0,2 ^{c, e}	>0,4 ^c	>0,1 ^{b, c, d, e, f, h}		>0,35 ^{b, c, e}					<1 ^d	
	Kömür Yakma	0,51 ^a	>0,5 ^{b, g, h}		0,9-6,6 ^{b, d, h}	0,2-0,35 ^{b, c, d}		1-1,2 ^a	3,70 ^h	1,09 ^h		
		0,56 ^b						1,11 ^h				
	Odun Yakma	0,62 ^b	>0,5 ^{b, h}					0,66-0,92 ^c	0,92 ^h	0,29 ^h		
								>0,5 ^c				
	Biyokütle, Odun ve Kömür Yakma	>0,5 ^{c, d, f}	>0,5 ^{a, c, e, f, i}									
	Fosil yakıt yanması		0,4-0,5 ^{a, c, e, f, i}									
	Araç Emisyonu	0,18-0,40 ^b	0,4-0,5 ^b		>0,6 ^{c, i}	>0,35 ^{d, j}		0,62 ^a	1,29 ^h			
								0,53 ^h				
	Dizel Emisyon	0,35-0,7 ^{c, g}	0,6-0,7 ^c		0,46-0,81 ^d	0,38-0,64 ^j	0,56 ^d		>0,5 ^d	1 ^h		
0,41-0,46 ^h												
Benzin Emisyonu	0,22 ^h	<0,5 ⁱ					0,35 ^a			0,4 ^h		
							0,65 ^d					
Petrol ve Yağ Yakma		0,18 ^e										
Endüstriyel Emisyon					1,11 ^g			0,54-0,66 ^c				

^aWang ve diğ., 2014; ^bAkyüz ve Çabuk, 2008; ^cKhan ve diğ., 2015; ^dMa ve diğ., 2020; ^eSulong ve diğ., 2019; ^fYan ve diğ., 2019; ^gMurillo ve diğ., 2017; ^hSarkar ve Khillare, 2013; ⁱChen ve diğ., 2016; ^jAlves ve diğ., 2017; ^kKalisa ve diğ., 2018

Antresen fotodegradasyonu Phe'den daha hızlıdır. Partiküllere adsorbe edilen Ant, NO₂ ile daha hızlı reaksiyona girerken, Phe OH radikalleri ile biraz daha hızlı reaksiyona girer. Ant / (Ant + Phe) oranı, foto reaksiyonlardan güçlü bir şekilde etkilenecek 0'a yakın oranlar gösterir. Bu durum, yalnızca kalın bir is tabakası ışınlandığında doğrulanmıştır: daha ince tabakalar, ters davranış göstererek, 1'e yakın değerler gösterir (Tobiszewski ve Namieśnik, 2012). Çalışmada, yaz ve kış dönemi Ant / (Ant + Phe) oranı sırasıyla 0,49 ve 0,15 olarak bulundu ve 0,1'den büyük bir değere sahip olması pirojenik kaynak katkısını düşündürmektedir. Çin'deki (Guangzhou) tanı oranlarının mevsimsel değişiklikleri, çalışmamızla benzer olarak kış aylarında daha düşük Ant / (Ant + Phe) oranı göstermiştir (Yang ve diğ., 2010). Bu düşük oranlar kışın dış kaynakların daha baskın olması ve hava kütlelerinin buharlaşması ile açıklanmıştır (Tobiszewski ve Namieśnik, 2012).

Akyüz ve diğ. (2008), Ma ve diğ. (2020) ve Sarkar ve Khillare (2013) tarafından 0,9-6,6 arasındaki BaP / BgP oranı kömür yanmasının göstergesi olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada BaP / BgP oranları, yaz dönemi 1,36 ve kış dönemi 1,19 idi. Sonuçlar, kış döneminde kömür yakma kaynağı baskınlığını vurgularken, ısıtmanın olmadığı yaz döneminde kaynağın araç emisyonları (Chen ve diğ., 2016) olduğunu belirtmektedir.

BaA / (BaA + Chy) oranları dönem farketmeksizin 0,46 olarak bulundu. Yaz döneminde bu oran dizel emisyonu gösterirken (Kalisa ve diğ., 2018), kış döneminde araç emisyonlarının (Kalisa ve diğ., 2018; Ma ve diğ., 2020) yanında pirojenik kaynağında (Akyüz ve Çabuk, 2008; Khan ve diğ., 2015; Sulong ve diğ., 2019) baskınlığından olabilir.

Yüksek BaA / Chy ve BbF / BkF oranları, kaynak olarak araç trafiğinin kömür yakma kaynağı üzerindeki hakimiyetini göstermek için kullanılmaktadır (Hwang ve Foster, 2006). Çalışmada BaA / Chy yaz dönemi 0,87 ve kış dönemi 0,82'lik bir orana sahipti. Araç emisyon profilinden (Akyüz ve Çabuk, 2008) 0,62'lik BaA / Chr oranı literatürüne ve odun yanmasından (Khan ve diğ., 2015) 1-1,2'ye dayanan literatür verilerine dayanarak, taşıt ve odun yakma ana kaynaklar olabilir. Düşük oran, BaA'nın hava kütlelerinde hızlı bozunmasından kaynaklanır (Wang ve diğ., 2014). Yaz dönemi 6,34 ve kış döneminde 4,18 olarak bulunan BbF / BkF oranları,

literatür verilerine bakıldığında yaz döneminde özellikle araç emisyonlarını ve kış döneminde kömür yanma kaynağını göstermektedir.

IcP / BgP, orandaki her bir PAH, karşılaştırılabilir oranlarda fotolitik bozunduğu için seçilmiştir (Yunker ve diğ., 2002). Oranları, atmosferik taşınım sırasında orijinal kompozisyon bilgisini koruyacaktır ve kaynak değerlendirmesi için uygulanabilir bileşikler olabilecektir (Ding ve diğ., 2007). IcP / BgP oranı 1,06 (yaz) ve 0,85 (kış) olarak bulundu. Tablo 4.7’de literatür verilerine bakıldığında bu değerler IcP / (IcP + BgP) ile benzer olarak dizel yakıt emisyonlarına işaret etmektedir.

Yaz (0,19) ve kış dönemi (0,11) 1’den daha düşük Σ LPAH / Σ HPAH oranları pirojenik kaynak baskınlığını vurgulamaktadır.

Örnekleme noktalarının kaynak tanımlamalarını yapmak, mevsimsel ve mekânsal kaynak değişimini incelemek için her noktanın yaz ve kış dönemi MDR’leri hesaplandı. Tüm örnekleme noktalarının yaz ve kış dönemleri için hesaplanan MDR değerleri sırasıyla Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’de verilmiştir.

Tablo 4.8 incelendiğinde her bir tanı oranı için yaz döneminde tüm örnekleme noktaları benzer kaynak profili (ortalama std sapma: 0,62) göstermektedir. Tüm örnekleme noktalarında IcP / (IcP + BgP) tanı oranları 0,02-0,59 değişim aralığı ile dizel emisyon kaynağının baskınlığını düşündürmektedir.

Kabaoğlu örnekleme noktası haricinde diğer örnekleme noktalarında Flt / (Flt + Pyr) tanı oranının 0,4’ten düşük olması petrojenik kaynağa (Khan ve diğ., 2015; Ma ve diğ., 2020; Murillo ve diğ., 2017; Sarkar ve Khillare, 2013; Sulong ve diğ., 2019) atfedilebilir. Kabaoğlu örnekleme noktasında Flt / (Flt + Pyr) oranının pirojenik kaynaklı (>0,4) (Khan ve diğ., 2015) olduğu söylenebilir.

0,1’den düşük Ant / (Ant + Phe) oranı tüm noktalarda pirojenik kaynağın baskınlığından olabilir.

BaP / BgP (0,86-3,09), BaA / (BaA + Chy) (0,26-0,58), BaP / (BaP + Chy) (0,36-0,81), BaA / Chy (0,35-1,40), BbF / BkF (0,79-14,47), IcP / BgP (1,06-1,42), Σ LPAH / Σ HPAH (0,05-1,79) tanı oranları tüm örnekleme noktalarında araç emisyon kaynağını özellikle dizel emisyon kaynağını düşündürmektedir.

Tablo 4.8. Yaz dönemi PAH'ların moleküler tanı oranları

	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	Köseköy Dumlupınar	Malta	Yahyakaptan	Kuruçeşme Kocatepe	Yeni
IcP/(IcP+ BgP)	0,52	0,54	0,57	0,52	0,52	0,53	0,52	0,59		0,53	0,54	0,54	0,52	0,53
Flt/(Flt+ Pyr)	0,17	0,22	0,26	0,14	0,21	0,20	0,21	0,20	0,88	0,11	0,11	0,20	0,14	0,16
Ant/(Ant+ Phe)	0,34	0,16	0,75	0,82	0,82	0,45	0,39		0,98	0,66	0,70	0,22	0,52	0,68
BaP/BgP	1,49	1,49	1,02	1,42	1,21	1,26	1,57	0,86		1,35	3,09	1,31	0,97	1,35
BaA/(BaA+ Chy)	0,39	0,51	0,52	0,49	0,58	0,46	0,56	0,43		0,26	0,50	0,42	0,32	0,44
BaP/(BaP+Chy)	0,46	0,81	0,51	0,69	0,79	0,81	0,81	0,64		0,36	0,73	0,68	0,65	0,56
BaA/Chy	0,63	1,05	1,08	0,96	1,40	0,87	1,27	0,74		0,35	1,02	0,72	0,47	0,77
BbF/BkF	8,06	9,44	14,07	8,91	9,79	10,19	8,59	14,47		6,90	9,52	12,30	1,24	0,79
IcP/BgP	1,07	1,18	1,33	1,10	1,10	1,12	1,06	1,42		1,12	1,16	1,20	1,09	1,13
ΣLPAH/ΣHPAH	0,33	0,05	0,22	0,07	0,17	0,08	0,12	0,18	1,79	0,62	0,12	0,20	0,12	0,44

Tablo 4.9. Kış dönemi PAH'ların moleküler tanı oranları

	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	Köseköy Dumlupınar	Malta	Yahyakaptan	Kuruçeşme Kocatepe	Yeni
IcP/(IcP+ BgP)	0,46	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,48	0,45	0,47	0,46	0,36	0,48	0,47
Flt/(Flt+ Pyr)	0,49	0,48	0,50	0,46	0,46	0,44	0,45	0,47	0,52	0,50	0,50	0,50	0,48	0,49
Ant/(Ant+ Phe)	0,08	0,16	0,12	0,20	0,16	0,12	0,18	0,19	0,16	0,12	0,08	0,12	0,13	0,16
BaP/BgP	0,70	0,79	1,16	1,29	1,16	1,17	1,19	1,62	0,76	1,18	1,01	0,71	1,67	1,24
BaA/(BaA+ Chy)	0,36	0,45	0,45	0,49	0,47	0,45	0,45	0,47	0,44	0,44	0,45	0,44	0,44	0,45
BaP/(BaP+Chy)	0,54	0,61	0,58	0,52	0,56	0,57	0,53	0,39	0,56	0,46	0,60	0,61	0,45	0,52
BaA/Chy	0,56	0,83	0,81	0,94	0,90	0,82	0,83	0,88	0,80	0,77	0,81	0,78	0,79	0,83
BbF/BkF	5,80	4,82	4,77	4,06	3,91	3,41	4,56	3,96	4,50	4,24	5,43	3,91	4,95	4,21
IcP/BgP	0,85	0,82	0,85	0,86	0,85	0,87	0,81	0,92	0,83	0,87	0,84	0,55	0,91	0,90
ΣLPAH/ΣHPAH	0,12	0,11	0,12	0,07	0,08	0,04	0,07	0,16	0,60	0,23	0,19	0,15	0,13	0,11

Kış dönemi kaynak tanımlamaları için Tablo 4.9'e bakıldığında yaz dönemine benzer olarak her bir tanı oranının neredeyse tüm örnekleme noktalarında benzer kaynak profili (ortalama std sapma: 0,20) gösterdiği belirlenmiştir. IcP / (IcP + BgP) (değişim aralığı: 0,36-0,48) ve BaP / (BaP + Chy) (0,39-0,61) oranları araç emisyon kaynağının baskınlığını düşündürürken, Ant / (Ant + Phe) (0,08-0,20) ve Σ LPAH / Σ HPAH (0,04-0,60) tanı oranları pirojenik kaynağın tüm örnekleme noktalarına katkı sağlayan baskın kaynak olduğunu göstermektedir.

BaA / Chy ve BbF / BkF tanı oranları sırasıyla 0,56-0,94 ve 3,41-5,80 değişim aralığında bulunmuştur. BaA / Chy (0,66-0,92) (Khan ve diğ., 2015) ve BbF / BkF (3,7) (Sarkar ve Khillare, 2013) tanı oranlarının literatür verileri kömür yakma kaynağının çalışmada baskın kaynak olduğunu göstermektedir. Flt / (Flt + Pyr) tanı oranının tüm örnekleme noktalarında en düşük ve en yüksek oranları 0,44-0,52 arasında değişmiş ve araç emisyonunun yanında fosil yakıt yanma kaynağına işaret etmektedir.

Sepetçiler, Yahyakaptan, Kabaoğlu ve Yeşilova örnekleme noktalarının kış dönemi BaP / BgP oranları (0,70-0,79) dizel emisyonuna işaret etmiştir. Diğer örnekleme noktalarının tanı oranları (1,01-1,67) kömür yakma kaynağına işaret etmiştir. BaA / (BaA + Chy) tanı oranlarına (0,36-0,49) bakıldığında ise tüm örnekleme noktalarında dizel emisyonuna ek olarak pirojenik kaynak katkısında düşünülmektedir.

Genel olarak örnekleme dönemi sonuçlarına baktığımızda araç emisyonu, kömür yakma kaynağının ve petrojenik kaynağın baskın kaynaklar olduğu düşünülmektedir. Yaz döneminde araç emisyonlarının baskınlığı gözlemlenirken, kış döneminde bu kaynağın yanında kömür yakma ve yanma kaynağının baskınlığı söz konusu olabilir. Örnekleme noktalarının trafik bölgelerine yakın olması ve kış döneminde iş yükünün artmasıyla araç emisyonlarında artış yaşanmış olabilir.

İzmit ilçesinde her ne kadar son dönemlerde doğal gaz kullanımına geçilmiş olsa da, bazı bölgelerde hala yüksek miktarda ısınma amacıyla kömür ve odun kullanımı bu kaynağın baskınlığını doğrular niteliktedir. Benzin ve dizel emisyonları ayrı olarak incelendiğinde dizel emisyonlarının baskın olduğu görülmektedir. Son 10 yılda dizel yakıtlı araç kullanımında 3,58 kat artış olmuş ve dizel yakıtlı araç kullanımı %18,3'ten %38,3'e çıkmış olmasında bunu ayrıca düşündürmektedir (TÜİK, 2020).

ii. Temel Bileşen Analizi (PCA) ile PAH'ların kaynak tanımlaması

İzmit ilçesindeki PM_{2.5}'e bağlı PAH'ların kaynaklarını belirlemek için uygulanan yaygın yöntemlerden biri Faktör Analizi (Temel Bileşen Analizi)'dir. SPSS istatistiksel yazılımı (IBM SPSS 17) ile gerçekleştirilen Temel Bileşen Analizi (PCA), PM_{2.5}'teki PAH'ların olası kaynaklarını tanımlamak ve ölçmek için kullanılmıştır. Faktörleri seçmek için 1'den büyük özdeğer ve en düşük anlamlılık düzeyi olarak bir faktör içinde 0,5'lik faktör puanı dikkate alınarak olası kaynaklar değerlendirilmiştir. Yaz ve kış dönemi için PAH'ların PCA sonuçları Tablo 4.10'da verilmiştir. Çeşitli kirlilik kaynakları için oluşturulmuş PAH bileşik izleri Tablo 4.11'de özetlenmiş ve PAH kaynakları olarak faktör profillerini yorumlamak için kullanılmıştır.

Tablo 4.10. PM_{2.5}'e bağlı PAH'ların PCA ile belirlenen faktör yükleri

	Yaz		Kış		
	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3
Nap			0,34	0,32	0,85
Ace			0,15	0,18	0,95
Phe	0,81	0,09	0,26	0,90	0,11
Ant	-0,23	0,83	0,33	0,85	0,38
Flt	0,68	0,56	0,33	0,92	0,17
Pyr	0,57	0,72	0,41	0,87	0,23
BaA	0,67	0,67	0,81	0,46	0,23
Chy	0,44	0,79	0,83	0,46	0,16
BbF	0,95	0,24	0,91	0,37	0,14
BkF	0,25	0,51	0,92	0,32	0,16
BaP	0,93	0,31	0,94	0,30	0,18
IcP	0,96	0,21	0,94	0,23	0,19
DahA			0,94	0,25	0,20
BgP	0,94	0,23	0,93	0,21	0,20
Özdeğer	5,77	3,113	7,134	4,160	2,132
Varyans (%)	52,453	28,296	50,957	29,711	15,229
Kümülatif (%)	52,453	80,749	50,957	80,669	95,898
Olası Kaynak	Trafik Emisyonu	Endüstriyel Emisyon	Trafik Emisyonu	Kömür Yanma	Petrojenik Kaynak

Tablo 4.11. Literatürde PAH'ların kaynak izleyicileri

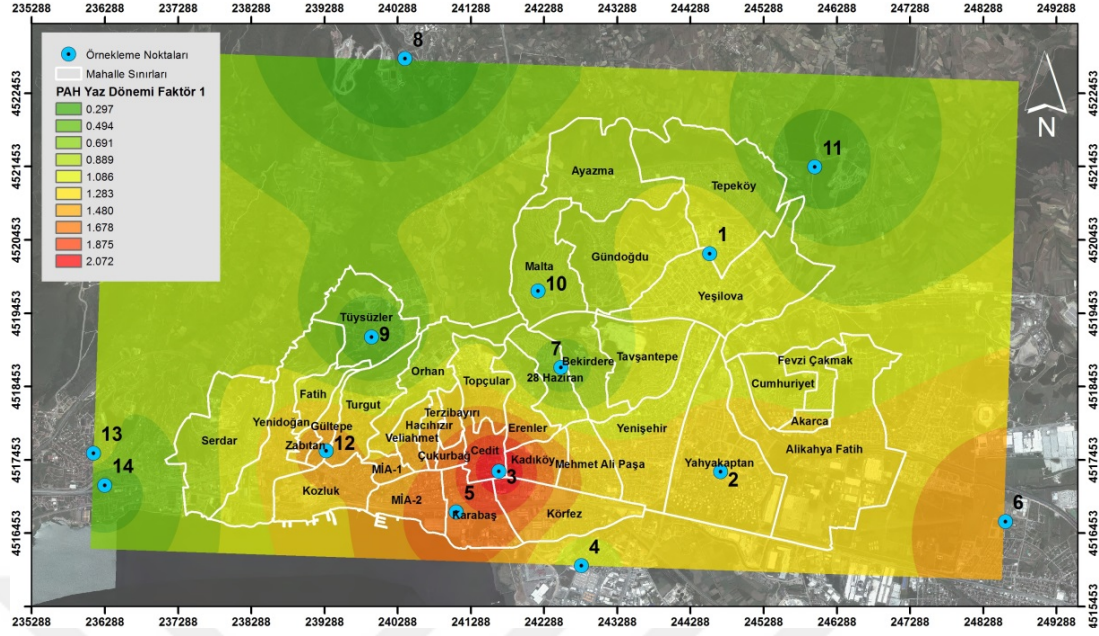
	Benzin Emisyonu	Dizel Emisyonu	Kömür Yakma	Doğalgaz Yanma	Biyokütle Yakma	Petrojenik Kaynak	Endüstriyel Emisyon	Ağır Yağ Yanması
Nap					√	√	√	
Acy						√		
Ace					√	√		
Flu			√			√	√	√
Phe		√	√		√	√	√	
Ant			√	√	√			
Flt	√	√	√	√	√			√
Pyr	√	√	√	√	√		√	√
BaA	√		√	√				
Chy	√	√	√	√			√	
BbF		√						√
BkF		√	√					
BaP	√							
IcP	√							√
DahA	√							
BgP	√							√
Kaynaklar	Chen ve diğ., 2016; Wang ve diğ., 2016; Park ve diğ., 2011	Sarkar ve Khillare, 2013; Liu ve diğ., 2017; Teixeira ve diğ., 2013	Wang ve diğ., 2014; Akyüz ve Çabuk, 2008; Sulong ve diğ., 2019	Hanedar ve diğ., 2014; Jamhari ve diğ., 2014	Yan ve diğ., 2019; Kalisa ve diğ., 2018	Wangve diğ., 2014; Wang ve diğ., 2016; Hanedar ve diğ., 2014	Akhbarizadeh ve diğ., 2021	Khan ve diğ., 2015; Chen ve diğ., 2016

Yaz örnekleme için PCA analizi ile kümülatif varyansın %80,75'ini oluşturan iki faktör, kış örnekleme için kümülatif varyansın %95,90'ını oluşturan üç faktör belirlenmiştir.

Yaz örneklemeinde ilk faktör toplam varyansın %52,45'ini açıklamakta olup, IcP (0,96), BbF (0,95), BgP (0,94), BaP (0,93) gibi yüksek molekül ağırlıklı PAH bileşiklerinin baskınlığı belirlenmiştir. Okuda ve diğ. (2010), yüksek molekül ağırlıklı PAH'ların yüksek yükleri ile benzin emisyon kaynağını tanımlamıştır. Bu faktör, daha çok ≥ 5 halkalı PAH'ların etkisini yansıtır. 5 halkalı ve daha büyük PAH'lar tamamen araç kaynağından atmosfere salınmaktadır (Khan ve diğ., 2015). Literatürde BaA, BaP, DahA, BgP ve IcP benzin emisyonlarının kaynak belirteçleri olarak tanımlanırken, BbF, BkF'nin yüksek yüklerinin yanında Flt ve Pyr ise dizel emisyonlar için izleyici olarak kabul edilir (Chen ve diğ., 2016; Sarkar ve Khillare, 2013). Liu ve diğ. (2017) tarafından kentsel atmosferdeki PAH'larla ilgili yapılan bir çalışmada, BgP ve BbF'nin dizel araç emisyonları için işaretler olduğu öne sürülmüştür. Kentsel bölgede yapılan bir diğer çalışmada, DahA, BaP ve IcP'nin benzin emisyonlarından kaynaklandığı da öne sürülmüştür (Sulong ve diğ., 2019). Wang ve diğ. (2016) ise IcP, BgP, DahA, BbF ve BkF ile ağırlıklandırılmış faktörün trafik kaynaklı olduğunu bildirmiştir. Wang ve diğ. (2014) ise, BkF, BgP, IcP, BaP, BbF, DahA, BaA, Chy gibi bileşiklerin araç emisyonlarının kaynağı olarak tanımlamışlardır.

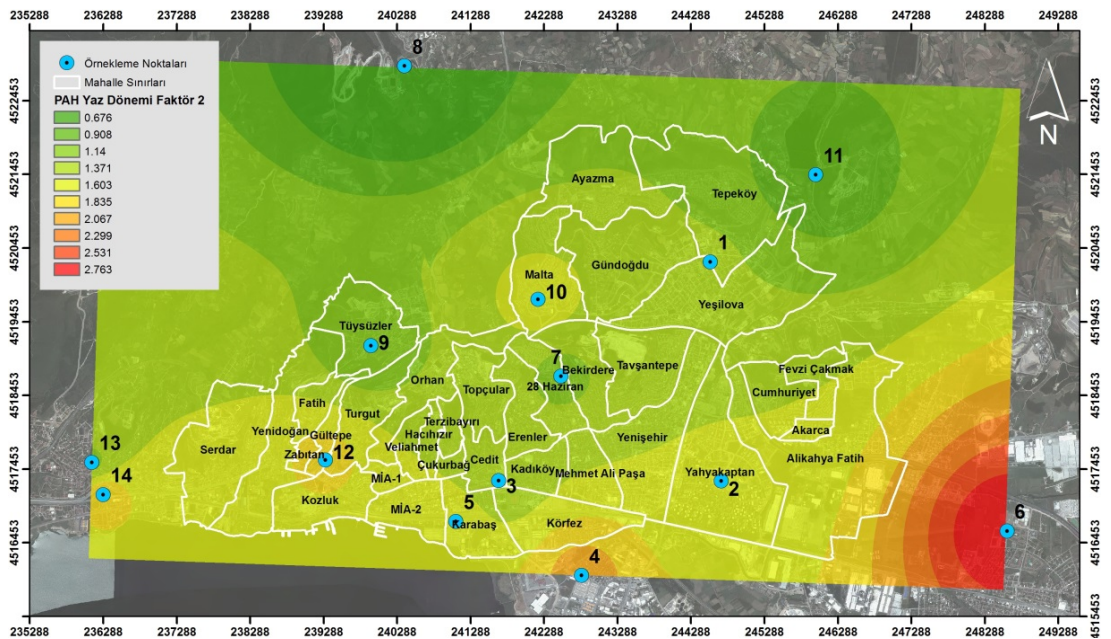
Faktör 1'in mekânsal dağılımı Şekil 4.15'te verilmiştir. Mekânsal olarak bakıldığında bu faktöre en yüksek katkılar trafiğe yakın noktalar olan Cedit, Karabaş örnekleme noktalarından sağlanmıştır. TÜİK verilerine göre Kocaeli'de motorlu taşıt sayısı 420.605 olup, bunun yaklaşık %60'ını otomobiller oluşturmaktadır (TÜİK, 2020).

Cedit ve Karabaş örnekleme noktaları kent merkezinde yer almakta olup, yoğun trafiğe maruz kalan bölgelerdir. Ayrıca Cedit örnekleme noktasına oldukça yakın bir alanda Perşembe günleri kurulan semt pazarı trafik yükünün artmasına neden olurken, bu bölgede trafik ışıklarında duran bu yoğun araç trafiğinden kaynaklanan egzoz emisyonları kirliliğin artmasına neden olmaktadır. Bunlar dikkate alındığında faktör 1 trafik emisyonları olarak düşünülmüştür.



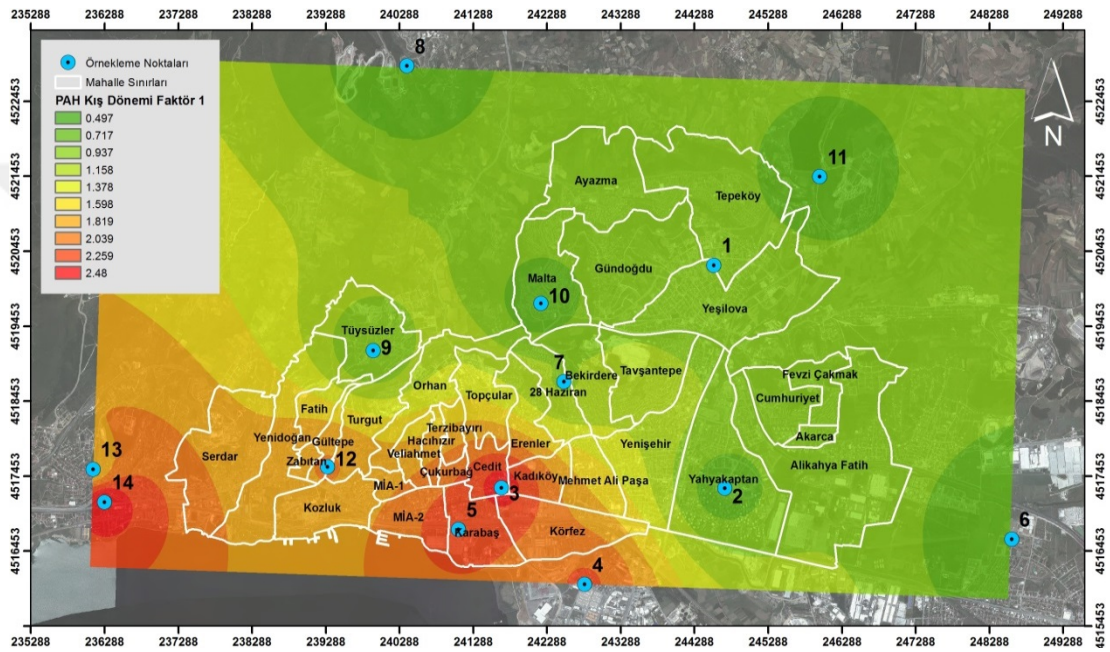
Şekil 4.15. Yaz dönemi faktör 1'in mekânsal dağılımı

Faktör 2'de Ant (0,83), Chy (0,79), Pyr (0,72), BaA (0,67) ve BkF'nin (0,51) yüksek yükleri görülmüştür. Bu faktör, toplam varyansın %28,30'unu açıklamaktadır. Şekil 4.16'da faktör 2'nin mekânsal dağılımı incelendiğinde Köseköy Dumlupınar, Sanayi örnekleme noktalarında bu kaynağın baskın olduğu görülmektedir. Köseköy Dumlupınar örnekleme noktasına yakın olan galvaniz, demir-çelik ve lastik fabrikaları ve Sanayi örnekleme noktasının yakınında bulunan iki küçük sanayi sitesindeki faaliyetler bu faktörün endüstriyel işlemlerle olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.16. Yaz dönemi faktör 2'nin mekânsal dağılımı

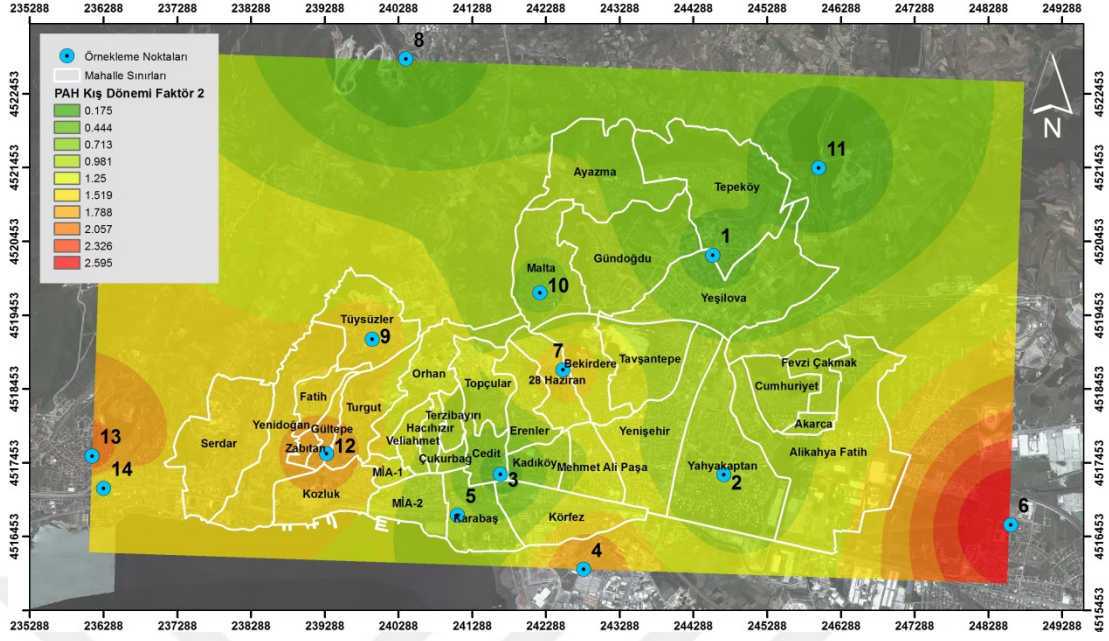
Kış döneminde ilk faktör toplam varyansın %50,96'sını açıklamakta olup, trafik emisyonları ile ilgili yüksek molekül ağırlıklı DahA (0,94), IcP (0,94), BaP (0,94), BgP (0,93), BkF (0,92), BbF (0,91), Chy (0,83), BaA (0,81) bileşiklerinin yüksek yükleri tespit edilmiştir (Khan ve diğ., 2015; Park ve diğ., 2011). Bu faktörün Şekil 4.17'de mekânsal dağılımı incelendiğinde trafik yükünü temsil eden örnekleme noktaları olan Yeni, Cedit ve Karabaş örnekleme noktalarında baskınlık söz konusu olmuştur.



Şekil 4.17. Kış dönemi faktör 1'in mekânsal dağılımı

Kış döneminde faktör 2'de kömür ve odun yakma kaynağının izleyicileri olan Flt (0,92), Phe (0,90), Pyr (0,87) ve Ant (0,85) bileşikleri yüksek yüklemeler göstermiştir (Teixeria ve diğ., 2013). Bu faktör toplam varyansın %29,71'ini açıklamıştır.

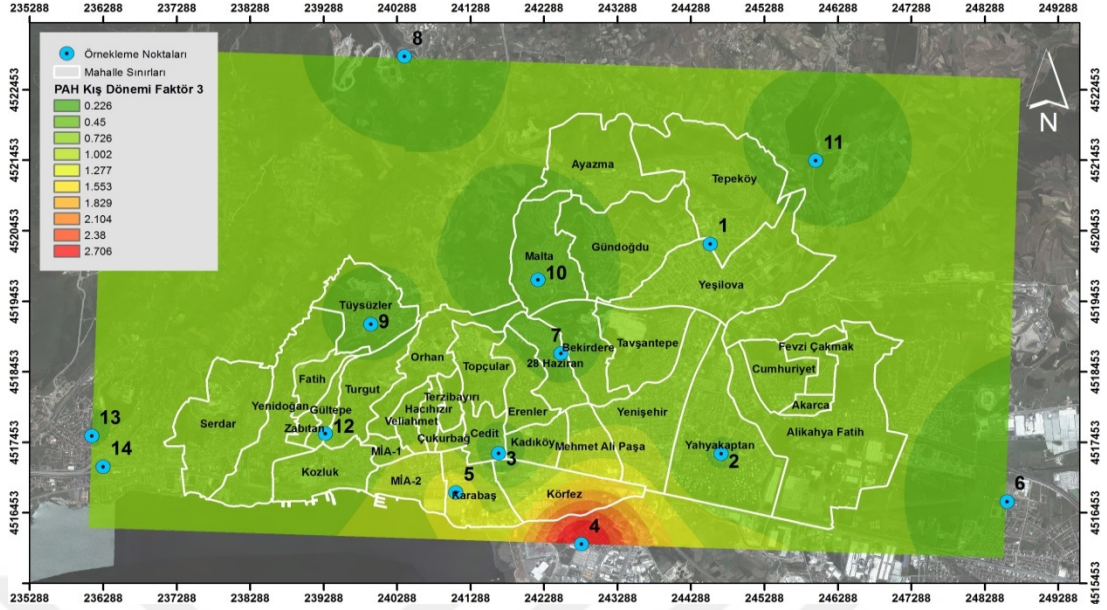
Faktör 2'nin mekânsal dağılımı Şekil 4.18'de verilmiştir. Şekil 4.18'de mekânsal dağılımına bakıldığında faktöre en yüksek katkılar Köseköy Dumlupınar, Kuruçeşme Kocatepe ve Sanayi örnekleme noktalarında sağlanmıştır. Köseköy örnekleme noktasına yakın villalarda kışın şöminelerde odun kullanılması ve daha çok gecekondular tarzı yapıların yoğun olduğu Sanayi ve Kuruçeşme Kocatepe örnekleme noktalarında kışın ısıtma amaçlı odun ve kömür kullanımının fazla olması nedeni ile bu faktörün yanma kaynağı olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 4.18. Kış dönemi faktör 2'nin mekânsal dağılımı

Faktör 3, toplam varyansa %15,23 katkısı ile özellikle Ace (0,85) ve Nap (0,95) bileşiklerinin yüksek yüklerini göstermiştir. Nap ve Ace biyokütle yakma ile ilişkilendirilmiştir (Wang ve diğ., 2014). Nap ve Ace, 2-3 halkalı PAH'lardır ve literatürde bu kirleticilerin petrojenik kökenli olduğu öne sürülmüştür (Chen ve diğ., 2016; Khan ve diğ., 2015). İran'da kentsel bir alanda yapılan çalışma, 2-3 halkalı PAH'ların yüksek yüklerinin petrojenik kökenli olduğunu göstermiştir (Akhbarizadeh ve diğ., 2021). Sarkar ve Khillare (2013), Nap'ı konutlarda odun yakılmasının işaretçisi olarak tanımlamıştır. Bir başka çalışmada Nap, endüstriyel emisyonların izleyicileri arasında tanımlanmıştır (Akhbarizadeh ve diğ., 2021). Sarkar ve Khillare (2013) megakente yaptıkları çalışmada, Nap için izabe işlemleri, petrol yanması, ferroalyaj ürünleri imalatı vb. gibi endüstriyel emisyonların etkilerini önermiştir. Nap ve Ace gibi düşük molekül ağırlıklı PAH'lar ham petrol ve petrol ürünlerinin uçucu hale gelmesinin önemli izleyicileriydi (Yan ve diğ., 2019). Liu ve diğ. (2015), Nap ve Ace'nin yakıtın buharlaşması, yanmamış yakıt veya madeni yağ gibi petrojenik kaynaklı olduğunu belirtmişlerdir.

Faktör 3'ün mekânsal dağılım haritası Şekil 4.19'da verilmiştir. Şekil 4.19'da Sanayi örnekleme noktasında bu faktörün baskınlığı görülmektedir. Sanayi örnekleme noktasına yakın iki küçük sanayi sitesinde yapılan işlemlerin sonucu açığa çıkan sızıntılar ya da atıklar bu faktöre katkı sağlamış olabilir.



Şekil 4.19. Kış dönemi faktör 3'ün mekânsal dağılımı

4.3. PM_{2.5}'e Bağlı Eser Element Konsantrasyonları

Bu çalışmada Temmuz 2018 ile Ocak 2019 arasında Kocaeli ili İzmit ilçesinde 14 örnekleme istasyonunda yaz dönemi ve kış döneminde toplam 84 PM_{2.5} örneği toplanmıştır. Toplanan örneklerin ICP-MS ve ICP-OES ile 40 eser element konsantrasyonları ölçülmüştür. 14 örnekleme istasyonundan elde edilen veriler Tablo 4.12'de PM_{2.5} fraksiyon örneklerinde ölçülen her bir element için ortalama konsantrasyon değeri, numune sayısı, standart sapma, medyan, en düşük, en yüksek değerleri içermektedir. Aritmetik ortalama değerler, literatürde yaygın olarak kullanıldığından verilerin karşılaştırılmasını kolaylaştırmak için tabloya dahil edilmiştir. Ayrıca, ölçülen her bir elementin değişim aralığını göstermek için en düşük ve en yüksek değerler sunulmuştur. Örneklerin %90'ında 24 element tespit edilmiştir.

PM_{2.5}'te fraksiyonunda eser elementlerin ortalama konsantrasyonları Tablo 4.12'de görüldüğü gibi 0,0004 ng/m³ (Lu) ile 510,20 ng/m³ (Ca) arasında değişmektedir. Tüm veri setinde, eser elementler arasında en yüksek konsantrasyona sahip elementler sırasıyla Ca (510,20 ng/m³) iken, K (215,04 ng/m³), Fe (204,78 ng/m³), Na (202,69 ng/m³), Mg (79,79 ng/m³), P (77,18 ng/m³), Al (74,29 ng/m³) ve Zn (67,04 ng/m³)'dir. Bu sekiz elementin toplam konsantrasyonu eser element konsantrasyonlarının yaklaşık %95'ini oluşturmaktadır. Çinko (Zn) elementinin kent

atmosferinde kaynağı genelde lastik aşınması ve yeniden havalandırılan yol tozunun emisyonlarına bağlı olabilir (Choung ve diğ., 2016). Bunun yanında uzun mesafeli toz taşınımı ve toprağın yeniden süspansiyon edilmesinin yanı sıra endüstriyel faaliyetlerde Fe elementinin yüksek konsantrasyonlarına neden olabilir (Faraji Ghasemi ve diğ., 2020). Ca elementinin yüksek seviyesi deniz tuzu, toprak tozu gibi doğal kaynaklarının yanında araç egzoz emisyonu ve çelik endüstrisi faaliyetleri gibi antropojenik faaliyetlerinde etkisine bağlanabilir (Tepe ve Doğan, 2021).

Tablo 4.12. Çalışma dönemi PM_{2.5}'teki eser element konsantrasyonları (ng/m³)

	N ^a	Ortalama	Std ^b	Medyan	Min ^c	Mak ^d
Li	76	0,10	0,06	0,09	0,01	0,27
Be	52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Mg	64	79,79	42,62	70,95	8,63	163,64
Al	83	74,29	39,11	64,30	31,47	172,85
Ni	83	1,74	1,43	1,17	0,71	6,27
Cu	84	26,03	69,52	7,15	1,64	276,50
Zn	51	67,04	20,10	62,54	34,31	111,03
Ba	84	6,00	2,82	5,21	1,44	11,86
Pb	84	6,24	3,09	6,50	2,24	12,57
Cr	67	4,36	3,15	3,30	1,44	12,48
Mn	84	7,09	4,23	5,78	1,84	19,22
Co	70	0,41	0,70	0,09	0,05	2,39
Se	74	4,06	2,28	4,97	0,56	7,62
Rb	84	0,35	0,11	0,34	0,14	0,52
Cd	84	0,20	0,09	0,17	0,08	0,36
Bi	82	0,11	0,05	0,09	0,03	0,21
Tl	84	0,03	0,01	0,03	0,01	0,04
Cs	84	0,03	0,01	0,03	0,01	0,06
Ti	84	2,97	0,96	2,73	1,46	4,53
Mo	18	0,65	0,00	0,65	0,65	0,65
Ge	81	0,32	0,05	0,31	0,24	0,43
Y	84	0,02	0,01	0,02	0,01	0,05
La	84	0,76	1,32	0,13	0,06	4,88
Ce	47	4,05	11,25	0,16	0,08	44,06
Eu	84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tb	77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ho	80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lu	75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rh	62	0,01	0,01	0,00	0,00	0,05
Sn	84	0,95	0,44	0,82	0,39	1,77
Sb	84	0,94	0,57	0,74	0,32	2,40
Pt	13	0,35	0,00	0,35	0,35	0,35
Na	26	202,69	145,22	135,56	63,15	467,60
K	81	215,04	87,58	204,70	114,14	406,21
Ca	42	510,20	96,83	470,56	416,50	643,53
Fe	83	204,78	107,64	190,04	81,41	525,95
P	43	77,18	38,59	70,92	27,22	180,98

N^a: Örnek sayısı, Std^b: Standart sapma, Min^c: En düşük ölçüm değeri, Mak^d: En yüksek ölçüm değeri

Çalışma döneminde bulunan ortalama Cd ($0,2 \pm 0,09 \text{ ng/m}^3$), Ni ($1,74 \pm 1,43 \text{ ng/m}^3$) ve Pb ($6,24 \pm 3,09 \text{ ng/m}^3$) konsantrasyonları, DSÖ (5 ng/m^3), AB (20 ng/m^3) ve ülkemizde HKDYY’de belirlenen sınır değerlerinin altında ölçülmüştür (OJ-L 23/3,2004; RG-26898, 2008; OJ-L 163, 1999; WHO, 2000). Ayrıca PM_{2.5}’teki Mn konsantrasyonunda ($7,09 \pm 4,23 \text{ ng/m}^3$) DSÖ sınır değerinden (150 ng/m^3) yaklaşık 21 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir (WHO, 2000).

4.3.1. Ölçülen eser element konsantrasyonlarının literatür çalışmaları ile karşılaştırması

Kocaeli ili, İzmit ilçesinde kentsel alanındaki kirlilik düzeyini değerlendirmek için, Türkiye ve farklı ülkelerde ölçülen PM_{2.5}’de eser element konsantrasyon değerleri bu çalışmadakilerle karşılaştırılmış ve EK-F’de sunulmuştur. EK-F’de Türkiye hariç diğer tüm ülkelerde yüksek hacimli örnekleyici kullanılan çalışmaların alınmasına dikkat edilmiştir. Örnekleme yöntemleri ve analiz yöntemleri benzer olsa bile farklı örnekleme alanlarında veya farklı kentsel alanlarda ölçülen eser element seviyeleri örnekleme alanının emisyon faktörüne yakınlığına veya kaynağın etkisine göre farklılık gösterebilir. Bu çalışmada ölçülen parametre sayısı geniş olmasına rağmen, literatürde ölçülen parametrelerle karşılaştırma sınırlıdır. Birçok çalışmada sadece aritmetik ortalama değerler rapor edildiği için karşılaştırma için aritmetik ortalama değerler alınmıştır. Bu çalışmada Ce elementinin yaz, kış ve çalışma dönemi ortalama konsantrasyonları sırasıyla $0,54 \text{ ng/m}^3$, $69,84 \text{ ng/m}^3$ ve $4,05 \text{ ng/m}^3$ olarak ölçülmüş ve bu değerler, medyan konsantrasyonlarından sırasıyla 3.9, 8.5 ve 25.9 kat daha yüksek değerlerdir. Ce veri setinde aykırı değerlerin var olması aritmetik ortalama değerlerini etkileyerek daha yüksek konsantrasyonlara neden olmaktadır. EK-F’de Cu, Co, La, Rh ve Ce medyan konsantrasyonları kullanılmıştır.

Antropojenik element olan Zn, diğer elementlerin çalışmalarla karşılaştırılmasına göre en fazla en yüksek konsantrasyonda belirlenen elementtir. Zn elementinin, İstanbul, Bakırköy kentsel alanında (Onat ve diğ., 2013), Ankara, Yeni mahalle kentsel alanında (Aslan Kılavuz ve diğ., 2017), Malezya kentsel ve endüstriyel alanında (Amil ve diğ., 2016), Tayvan kırsal alanında (Hsu ve diğ., 2016), Güneydoğu Çin kentsel ve endüstriyel alanlarında (Li ve diğ., 2016) yapılan çalışmaların verileri haricinde tüm verilerden yüksek olduğu ve belirlenmiştir.

Toprak elementlerinin (Al, Ca, Ti, Mg, Fe vb.) konsantrasyonlarının diğer çalışmaların verilerine bakıldığında çalışmamızda ölçülen değerlerden düşük olduğu veya yakın olduğu tespit edilmiştir. Antropojenik elementlere (Pb, P, Cr, K, Ni, V, Ba, Se Zn vb.) bakıldığında ise P, Cr, Se ve K gibi elementler ülkemizde ve Avrupa ülkelerindeki çalışmalarla benzer, Asya ülkesindeki verilerden ~2-30 kat daha düşük belirlenmiştir. Ni, Ba, V ve Mn gibi elementlerde yine diğer ülke verilerinin oldukça altında tespit edilmiştir. Özellikle trafik kaynağının göstergeleri olan elementlerin (Pb, Zn, Cu, Sb) konsantrasyonları diğer çalışmaların verileriyle karşılaştırıldığında, Pb ve Cu elementleri diğer çalışmaların verilerinden daha düşükken (Avrupa hariç), Zn ve Sb'nin diğer çalışmaların konsantrasyonlarından nispeten daha yüksek olduğu (Avrupa ve Türkiye'de ki çalışmalardan özellikle daha yüksek) tespit edilmiştir. Bu çalışmada endüstriyel faaliyetlerle ilgili elementler (Ni, V, Cu, Cd, Sn, Fe, Mn, As, Cr, Mo) diğer çalışmaların verilerinden daha düşük konsantrasyonlar göstermiştir.

Na ve Mg konsantrasyonları denize uzak alanlarda yapılan çalışmalardan genel olarak daha yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir. Bu elementler deniz tuzunun belirteci olduğundan, denizden uzak alanlarda daha düşük konsantrasyonların gözlemlenmesi olağandır. Deniz tuzu partikülleri çoğunlukla kaba fraksiyonda olmasına rağmen çalışma alanımızın denize yakın olması ince partiküle bağlı Na ve Mg elementi açısından kirliliğe maruz kalmış olabilir.

Bu çalışmanın verileri ülkemizde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, 12 örnekleme alanında yapılan çalışmadan 6 örnekleme alanının verilerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışmada K elementi, Erzurum (Turalıoğlu ve diğ., 2008) örnekleme alanı hariç, diğer çalışma alanlarının tümünden daha yüksek konsantrasyon gösterirken, Ni elementi, Erzurum örnekleme alanı hariç diğer tüm örnekleme alanlarından daha düşük konsantrasyon göstermiştir. Al elementi ise tüm örnekleme alanlarından daha düşük seviyelerde tespit edilmiştir. Bu çalışmada, ince partikül maddeye bağlı eser element seviyeleri, geniş taş kömürü rezervlerine ve işletmelerine sahip Zonguldak'ta (Tecer ve diğ., 2000) kentsel alanda yapılan çalışmada incelenen 17 elementten 11'inden daha yüksek seviyeler göstermiştir. Eskişehir (Gaga ve diğ., 2008), Erzurum (Turalıoğlu ve diğ., 2008) ve Antalya'da (Tepe ve Doğan, 2021) kentsel alanlarda yapılan çalışmalarda incelenen eser elementlerin sırasıyla yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Szigeti ve

diğ. (2013) tarafından İstanbul, Maslak'ta kentsel bir örnekleme alanında incelenen eser elementlerden Cr, Zn ve Pt hariç diğer elementlerin bu çalışma verilerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Ankara, Çankaya'da yarı-kentsel alanda ve Ankara, Yeni mahallede kentsel alanda yapılan çalışmada (Aslan Kılavuz ve diğ., 2017) belirlenen eser element konsantrasyonlarından da daha yüksek seviyeler belirlenmiştir. Gümüşhane, Torul'da (Aslan Kılavuz ve diğ., 2014) kırsal alanda yapılan çalışmada incelenen 50 eser elementten sadece 35'i bu çalışmada incelenen eser element olup yaklaşık yarı yarıya düşük seviyeler göstermiştir. Bolu'da yarı-kırsal alanda (Yenisoy Karakaş ve Tuncel, 2013) ve kentsel alanda (Öztürk ve Keleş, 2016) yapılan çalışmalarında ince partikül fraksiyonundaki eser element konsantrasyonlarına bakıldığında daha yüksek seviyeler belirlendiği gözlemlenmiştir.

Ek-F incelendiğinde, bu çalışmanın verilerinin Avrupa ülkelerinde yapılan çalışmaların verilerinden genel olarak yakın olduğu görülmektedir. Örneğin bu çalışmanın verileri, İspanya'da (Aldabe ve diğ., 2011) üç farklı lokasyondaki (kırsal, kentsel ve kentsel-trafik) kirliliğin incelenmesi çalışmasından elde edilen konsantrasyon değerlerinden, Macaristan'ın Budapeşte bölgesinde (Szigeti ve diğ., 2013) kentsel bir alanda toplanan örneklerde eser elementlerde farklı ekstraksiyon yöntemlerinin araştırıldığı çalışmanın konsantrasyon değerlerinden ve eser element bileşiminin yerel bir cam endüstrisinden ve uzaktaki bir entegre çelik fabrikasından etkilendiği belirlenen Kuzey Fransa'nın Saint-Omer (Ledoux ve diğ., 2017) kentsel bölgesinde yapılan çalışmanın konsantrasyon değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca, Güney İspanya'nın Algeciras Körfezi'nde (Pandolfi ve diğ., 2011) deniz taşımacılığı emisyonlarının eser elementlere katkılarını incelemek için üç ayrı örnekleme alanında yapılan çalışmada incelenen eser elementlerin, Akdeniz Havzası'ndaki ince partikül kirliliğin araştırılması için Fransa Marsilya'da (Salameh ve diğ., 2015) yapılan çalışmada incelenen elementlerin konsantrasyon değerlerinden ve İspanya'nın Barselona bölgesinde (Rivas ve diğ., 2014) dış ortam hava kalitesinin iç ortam hava kalitesine etkilerinin incelendiği çalışmanın eser elementlerinin konsantrasyonundan yaklaşık yarı yarıya daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Asya kıtasında yapılan çalışmalarda bakılan 27 elementten 21 elementin (Ti, Cr, Fe, Ni, Zn, As, Mo, Cd, Ba, Pb, Al, V, Mn, Cu, Co, Mg, Rb, Sb, Lu, Ca, Cs)

konsantrasyonunun bu çalışmanın eser element konsantrasyonlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın verileri, Li ve diğ. (2016) tarafından Güneydoğu Çin’de yoğun trafikten ve banliyö bölgesinden gelen endüstriyel kirlilikten etkilenen kentsel bir alanda 4 mevsimde (kışın puslu dönemde) yapılan çalışmada incelenen 15 elementin tamamından daha düşük bulunmuştur. Tayvan’ın merkezindeki ham petrol rafinerileri ve sanayi alanlarına yakın bir yerleşim bölgesinde yapılan çalışmada (Hsu ve diğ., 2016) incelenen 21 elementten Fe ve La elementi haricinde tüm elementler daha yüksek seviyeler göstermiştir. Bu çalışmanın verilerinin, Amil ve diğ. (2016) tarafından Malezya’da endüstrinin ve ticaretin önemli olduğu Kuala Lumpur kentsel bölgesinde incelenen 19 elementin 12’sinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Basra Körfezi’nin kuzey kesiminde yer alan Buşehr limanında (Faraji Ghasemi ve diğ., 2020) toz fırtınalarının ince partikül fraksiyonuna etkisini incelemek için yapılan çalışmadan elde edilen 7 eser elementin seviyeleri bu çalışmanın verilerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. İran, İsfahan kentinde endüstriyel örnekleme alanlarında ince partikül fraksiyonuna bağlı ağır metallerin insan sağlığına etkilerini araştırmak için Soleimani ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada, Cu elementi hariç tüm elementlerin bu çalışmadaki eser elementlerden daha yüksek seviyelere sahip olduğu görülmüştür.

Afrika kıtasında yapılan çalışmalara bakıldığında bu çalışmanın eser element verilerinin birçoğundan daha yüksek konsantrasyonda belirlendiği görülmüştür. Cezayir’in yoğun nüfusa (3.5 milyon) ve trafik yüküne sahip, sahra çöl tozu ve endüstriyel faaliyetlerin etkisinin kanıtlandığı kentsel bölgesinde (Talbi ve diğ., 2018) yapılan çalışmanın verilerinin bu çalışmanın eser element verilerinin tamamından yüksek olduğu görülmektedir. Dieme ve diğ. (2012) tarafından Senegal, Dakar’da kırsal ve kentsel alanlarda yapılan çalışmada genel olarak toprak elementlerinin (Mg, Fe, Al, Ti vb.) bu çalışmanın verilerinden yüksek olduğu görülürken, antropojenik elementlerin (Cr, Zn, Ce, Ni vb.) daha düşük konsantrasyonlarda olduğu gözlemlenmiştir.

González ve diğ. (2017) tarafından Meksika, Obispado’nun yoğun trafik yüküne sahip bölgesinde yapılan çalışmada, neredeyse tüm eser element konsantrasyonları bu çalışmanın verilerinden yüksek iken trafiğin önemli bir belirteci olan Zn elementinin bu çalışmadan düşük konsantrasyonda gözlemlenmesi, bu çalışma

alanının sadece trafik yükü değil endüstriyel faaliyetlerden de etkilendiğini göstermektedir.

4.3.2. Eser elementlerin mevsimsel değişimleri

Kirletici maddelerin zamansal değişimi, kirletici maddelerin emisyon kaynakları ve akıbetinin yanı sıra, bir alıcıya kirletici taşınmasını etkileyen meteorolojik faktörler ve havanın kütleli taşıma yolları gibi çeşitli faktörler hakkında ön bilgiler sağlayabilir. Bu çalışmada, kirleticilerin zamansal değişimleri, mevsimsel açıdan incelenmiştir. Kirletici maddelerin kaynak gücü ve taşınmaları mevsimsel olarak farklılık gösterebilir. Birincil kirleticileri uzaklaştırma mekanizmaları ve özellikle ikincil kirletici üretim mekanizmaları mevsimler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, kirleticilerin mevsimler içindeki değişimini incelemek, kaynakları, taşıma yolları ve atmosferdeki akıbeti hakkında önemli bilgiler verir. Bu çalışmada, Temmuz-Eylül ayları yaz dönemi, Kasım-Ocak ayları kış dönemini temsil etmektedir. Kış mevsimi olarak seçilen aylar ise ısınma periyodunun olduğu aylardır. Bu bölüm, yağışların uzun vadeli mevsimsel dağılımına dayanmaktadır. Bunun nedeni, yağış özellikle yağmur partiküle bağlı türlerin konsantrasyonları üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. 14 örnekleme noktasında yaz mevsiminde ve kış mevsiminde yapılan PM_{2.5}'teki eser element örnekleme sonuçları sırasıyla Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'te verilmiştir. Bu çalışmada ince partikül madde, 40 farklı tür için analiz edilmekle birlikte, tüm elementlerin mevsimsel varyasyonları araştırılsada, yalnızca belirli kaynakların belirteci olarak kullanılan elementler tartışılmıştır.

Tablo 4.13'e bakıldığında yaz mevsimi konsantrasyonları 0,00009 ng/m³ (Rh) ile 689,95 ng/m³ (Ca) arasında değişmektedir. Yaz mevsiminde eser element konsantrasyonlarına bakıldığında en düşük konsantrasyonlar 14 örnekleme noktasından Sepetçiler (Rh, 0,0002 ng/m³) ve Sanayi (Rh, 0,00009 ng/m³) istasyonları hariç 12 örnekleme istasyonunda Lu elementinde gözlenmektedir. En yüksek konsantrasyonlar ise 14 örnekleme noktasından Cedit (K, 520,98 ng/m³), Kabaoğlu (Cu, 550,35 ng/m³), Köseköy Dumlupınar (K, 405,56 ng/m³), Malta (K, 295,54 ng/m³), Kuruçeşme Kocatepe (K, 243,96 ng/m³) istasyonları hariç 9 noktada Ca elementinde gözlenmektedir.

Tablo 4.13. 14 örnekleme noktasının yaz dönemi eser element konsantrasyonları (ng/m³)

	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	Köseköy Dumlupınar	Malta	Yahyakaptan	Kuruçeşme Kocatepe	Yeni
Li	0,177	0,147	0,066	0,069	0,064	0,077	0,066	0,026	0,069	0,038	0,003	0,050	0,084	0,274
Be	0,002	0,006	0,004	0,003	0,007	0,004	0,002	0,002	0,006	0,004	0,002	0,007	0,004	0,001
Mg	29,698	34,472	40,183	51,364	11,448	143,763	47,545	14,766	32,709	5,198	LOD	68,836	24,206	84,794
Al	143,829	250,025	81,122	34,324	24,640	104,128	62,662	43,464	48,111	90,113	55,770	79,006	78,962	112,754
Ni	1,251	1,370	0,908	0,850	0,444	2,131	3,160	0,818	2,015	1,045	0,746	0,813	1,743	1,232
Cu	3,742	6,128	2,907	3,454	8,187	11,038	12,020	2,214	550,350	10,074	1,172	11,033	2,373	7,290
Zn	33,118	40,536	20,158	22,804	23,149	44,434	45,195	17,707	72,157	58,001	20,733	22,390	28,526	28,207
As	0,633	1,066	0,477	0,456	0,415	1,076	0,852	0,608	0,559	1,069	0,685	0,547	0,519	0,362
Ba	2,492	7,287	3,319	2,652	3,074	8,501	9,542	1,661	3,442	8,931	1,000	3,004	2,552	2,848
Pb	3,180	3,049	2,733	1,623	1,942	4,597	4,081	2,901	22,254	2,039	2,015	2,787	3,653	2,363
V	1,775	2,763	1,899	1,099	0,667	2,539	1,810	1,556	1,905	1,195	3,495	1,648	2,732	1,679
Cr	6,755	2,637	3,593	2,340	2,458	6,762	3,380	2,585	1,652	2,126	3,714	4,899	5,498	5,085
Mn	4,757	7,182	3,448	7,157	15,065	7,327	9,232	3,552	4,455	8,363	2,665	4,983	5,248	4,540
Co	0,041	0,107	0,082	0,011	1,398	4,507	0,112	LOD	0,132	0,066	LOD	0,032	0,172	0,027
Se	0,657	0,958	0,694	0,748	0,349	0,775	1,452	0,988	0,868	0,829	1,183	1,176	0,887	0,556
Rb	0,356	0,408	0,327	0,254	0,257	0,418	0,328	0,408	0,168	0,341	0,296	0,427	0,498	0,353
Cd	0,150	0,089	0,083	0,076	0,066	0,233	0,116	0,146	0,109	0,080	0,092	0,154	0,186	0,134
Bi	0,074	0,076	0,062	0,026	0,050	0,140	0,119	0,022	0,113	0,281	0,030	0,031	0,103	0,066
Tl	0,012	0,017	0,012	0,012	0,011	0,023	0,017	0,024	0,017	0,038	0,017	0,023	0,021	0,015
Cs	0,039	0,033	0,030	0,020	0,024	0,035	0,093	0,051	0,018	0,019	0,028	0,047	0,050	0,032
Ti	4,619	7,722	4,050	3,290	4,506	4,073	3,796	3,672	2,348	3,598	2,322	5,378	4,023	2,784
Mo	LOD	LOD	0,012	LOD	LOD	0,136	1,261	LOD	0,327	LOD	0,210	LOD	0,013	LOD
Ge	0,063	0,078	0,054	0,056	0,043	0,112	0,102	0,036	0,092	0,139	0,073	0,078	0,042	0,007
Y	0,041	0,064	0,029	0,024	0,022	0,030	0,027	0,018	0,015	0,022	0,014	0,038	0,020	0,028
La	0,109	0,209	9,728	0,066	0,047	0,281	0,107	0,234	0,121	0,104	0,120	0,143	2,930	1,345
Ce	0,107	0,227	0,151	0,128	0,099	0,289	0,163	0,230	0,089	5,473	0,084	0,304	0,124	0,120
Eu	0,003	0,004	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002
Tb	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ho	0,0011	0,0021	0,0011	0,0007	0,0006	0,0008	0,0008	0,0006	0,0004	0,0006	0,0006	0,0008	0,0005	0,0007
Lu	0,0005	0,0008	0,0005	0,0003	0,0004	0,0001	0,0004	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0004	0,0002	0,0004
Rh	0,0002	LOD	0,1274	LOD	0,0001	0,0018	0,0015	0,0041	0,0434	LOD	0,0019	0,0005	0,0005	0,0010
Sn	0,458	0,638	0,402	0,535	0,428	1,257	1,172	0,262	2,804	0,703	0,314	0,429	0,517	0,529
Sb	0,599	0,799	0,612	1,051	0,714	1,788	1,434	0,349	0,461	3,668	0,450	0,562	0,775	0,521
Pt	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	1,034
Na	54,376	211,657	159,477	85,588	147,692	LOD	LOD	92,423	48,299	34,401	LOD	1,382	27,618	65,979
K	132,684	151,061	128,139	114,611	175,358	520,979	103,536	383,621	68,464	405,561	295,538	195,854	243,961	141,673

Tablo 4.13 (Devam) 14 örnekleme noktasının yaz dönemi eser element konsantrasyonları (ng/m³)

	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	Köseköy Dumlupınar	Malta	Yahyakaptan	Kuruçeşme Kocatepe	Yeni
Ca	698,951	671,870	281,894	549,692	561,164	379,635	686,693	570,279	508,579	195,104	64,390	613,365	136,920	373,925
Fe	256,200	244,602	232,324	199,340	244,382	265,421	645,463	174,515	131,595	199,362	154,819	240,848	203,603	216,486
P	67,361	31,130	88,151	46,242	73,679	103,898	75,407	105,611	27,219	102,114	103,814	70,921	65,978	50,934

Tablo 4.14. 14 örnekleme noktasının kış dönemi eser element konsantrasyonları (ng/m³)

	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	Köseköy Dumlupınar	Malta	Yahyakaptan	Kuruçeşme Kocatepe	Yeni
Li	0,065	0,071	0,109	0,086	0,176	0,082	0,107	0,057	0,033	0,177	0,027	0,092	0,105	0,278
Be	0,001	0,005	0,001	0,001	0,005	0,006	0,001	0,006	LOD	0,001	0,001	0,002	0,006	0,009
Mg	65,882	88,105	189,138	101,029	133,184	26,374	101,793	72,577	45,414	82,511	8,626	149,254	84,272	188,620
Al	40,754	31,858	41,466	72,094	154,399	63,756	31,470	29,932	16,410	32,236	17,559	61,018	55,640	232,944
Ni	5,528	0,649	0,509	1,458	2,089	10,404	1,471	1,153	0,659	1,059	0,773	1,156	1,836	1,132
Cu	13,380	1,891	3,335	8,755	12,194	8,589	9,223	12,210	2,657	6,783	2,101	3,143	7,520	5,061
Zn	52,357	66,168	169,192	127,115	125,576	80,629	137,773	83,618	49,554	164,050	47,887	102,697	92,272	101,108
Ba	2,282	2,455	5,693	9,741	15,609	11,077	14,175	8,225	3,640	7,717	1,876	7,149	8,120	9,996
Pb	3,279	3,111	3,739	13,307	12,979	13,837	16,125	8,494	2,887	6,216	2,464	3,189	13,741	12,250
Cr	26,210	1,055	LOD	0,194	1,179	3,795	30,113	4,497	0,916	3,815	0,288	1,042	10,926	0,789
Mn	2,720	2,831	3,304	8,026	23,383	10,672	14,774	7,988	4,071	10,340	1,020	6,612	8,028	6,851
Co	0,085	0,082	0,044	0,098	0,170	0,263	0,093	0,056	0,032	1,707	0,024	0,093	0,097	0,130
Se	1,461	1,128	5,201	9,510	11,139	9,501	10,826	10,854	8,731	10,923	10,525	10,820	LOD	LOD
Rb	0,165	0,171	0,193	0,369	0,675	0,585	0,436	0,299	0,104	0,506	0,200	0,245	0,533	0,533
Cd	0,138	0,193	0,271	0,248	0,648	0,451	0,350	0,245	0,060	0,231	0,073	0,121	0,453	0,295
Bi	0,033	0,060	0,099	0,168	0,249	0,271	0,201	0,102	0,040	0,134	0,033	0,089	0,175	0,178
Tl	0,014	0,021	0,033	0,032	0,055	0,058	0,041	0,035	0,008	0,049	0,017	0,019	0,065	0,054
Cs	0,015	0,020	0,025	0,026	0,048	0,048	0,028	0,021	0,008	0,035	0,014	0,017	0,037	0,049
Ti	0,642	0,811	0,891	2,177	4,547	2,271	2,007	0,985	0,569	1,024	0,817	3,529	1,421	5,247
Mo	0,037	0,193	LOD	0,261	0,515	0,019	0,522	0,031	LOD	LOD	LOD	0,213	LOD	0,242
Ge	0,487	0,498	0,533	0,573	0,650	0,605	0,587	0,520	0,382	0,548	0,505	0,503	0,580	0,529
Ta	LOD	0,013	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD
Y	0,006	0,010	0,014	0,029	0,048	0,017	0,007	0,005	0,003	0,008	0,006	0,023	0,015	0,068
La	0,040	0,060	0,036	0,306	0,080	0,108	0,039	0,026	0,039	0,019	4,643	0,083	0,090	0,164
Ce	0,101	LOD	LOD	LOD	LOD	262,771	LOD	0,166	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	16,333
Eu	0,001	0,005	0,002	0,003	0,005	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,000	0,003	0,002	0,007
Tb	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003
Ho	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003
Lu	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	LOD	0,000	0,000	0,001
Rh	0,005	0,005	0,006	0,005	0,009	0,003	0,004	0,004	0,003	0,005	0,005	0,006	0,006	0,018

Tablo 4.14 (Devam) 14 örnekleme noktasının kış dönemi eser element konsantrasyonları (ng/m³)

	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	Köseköy Dumlupınar	Malta	Yahyakaptan	Kuruçeşme Kocatepe	Yeni
Sn	0,587	0,438	0,560	1,560	2,565	2,284	1,525	1,011	0,458	0,682	0,475	0,931	1,369	1,776
Sb	0,220	0,389	0,495	1,249	1,725	1,495	1,370	0,626	0,180	1,127	0,388	0,718	0,922	1,663
Pt	0,003	0,029	LOD	0,001	0,001	LOD	0,011	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	0,360	0,011
Na	586,977	LOD	LOD	121,329	LOD	111,169	327,620	LOD	111,456	900,800	LOD	LOD	159,619	518,416
K	117,440	58,177	130,698	304,342	380,464	291,444	187,224	181,617	213,182	242,430	206,977	204,011	319,111	135,855
Ca	LOD	LOD	LOD	828,010	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	68,844	LOD	602,087
Fe	50,536	49,795	65,696	211,618	433,642	178,786	406,442	87,936	31,234	186,787	24,890	153,433	170,397	242,979
P	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	494,750	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD

Kış mevsimi konsantrasyonları Tablo 4.14'e bakıldığında $0,00002 \text{ ng/m}^3$ (Lu) ile $900,80 \text{ ng/m}^3$ (Na) arasında değişmiştir. 14 örnekleme noktasında Yeşilova (Tb, $0,002 \text{ ng/m}^3$), Tüysüzler (Tb, $0,00009 \text{ ng/m}^3$) ve Malta (Tb, $0,0002 \text{ ng/m}^3$) istasyonları hariç 11 örnekleme alanında en düşük konsantrasyonlar yaz mevsimine benzer olarak Lu elementinde gözlenmektedir. K elementi ise 14 örnekleme noktasının 5'inde en yüksek konsantrasyonda sahiptir. Yeşilova ($88,10 \text{ ng/m}^3$) ve 28 Haziran ($189,14 \text{ ng/m}^3$) istasyonlarında en yüksek konsantrasyon Mg elementinde gözlenmektedir. Tüm örnekleme noktalarına bakıldığında en yüksek konsantrasyona sahip olan Na elementi ise Sepetçiler ($586,98 \text{ ng/m}^3$) ve Köseköy Dumlupınar ($900,80 \text{ ng/m}^3$) istasyonlarında en yüksek seviyelerde görülmektedir. Gültepe ($828,01 \text{ ng/m}^3$) ve Yeni ($602,09 \text{ ng/m}^3$) örnekleme noktasında Ca elementinde, Sanayi ve Karabaş örnekleme noktalarında Fe ($433,64 \text{ ng/m}^3$) elementinde ve Tüysüzler ($406,44 \text{ ng/m}^3$) örnekleme noktasında ise P ($494,75 \text{ ng/m}^3$) elementinde en yüksek konsantrasyonlar gözlemlenmiştir.

Yaz dönemi ve kış dönemi tüm örnekleme noktalarındaki ortalama As, Cd, Mn, Ni, Pb ve V konsantrasyonları, DSÖ, AB ve HKDYY 'de Türkiye için belirlenen sınır değerlerin (sırasıyla; 6 ng/m^3 , 5 ng/m^3 , 150 ng/m^3 , 20 ng/m^3 , 500 ng/m^3 , 1000 ng/m^3) çok daha altında tespit edildi (OJ-L 23/3, 2004; RG-26898, 2008; WHO, 2000).

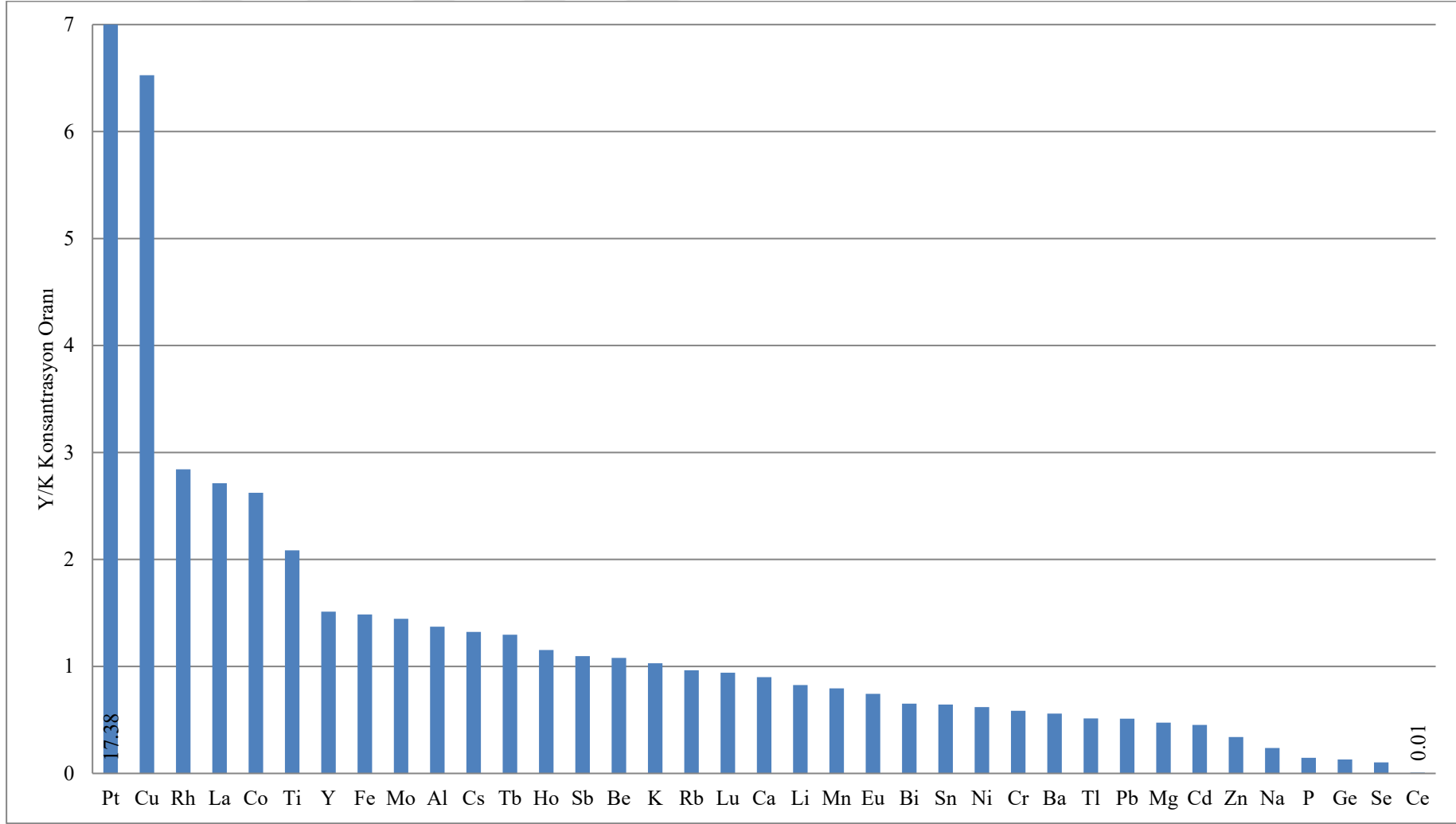
Elementlerin yaz ve kış mevsimi ortalama konsantrasyonları ve yaz-kış oranları Tablo 4.15'de verilmiştir. Ayrıca yaz/kış oranlarının mevsimsel değişimi Şekil 4.20'de verilmiştir.

Eser elementlerin Y/K oranları $0,01-17,38$ arasında değişmiştir. Pt, Tb ve Ti elementlerinin Y/K oranları sırasıyla $17,38$, $1,30$ ve $2,09$ ve Ce, Se, Ge ve P elementlerinin Y/K oranları ise $0,01$, $0,10$, $0,13$ ve $0,15$ olarak belirlenmiştir. Ni, Cu, Co, Ca, Rb, Mo, Sb ve Eu dışında çoğu element konsantrasyonları yaz ve kış mevsimleri arasında önemli farklılıklar (Y/K oranları $0,80-1,20$) göstermiştir. Yaz ve kış mevsimi eser elementlerin ortanca konsantrasyonlarına bakıldığında Be, Al, Cr, Cs, Ti, Y, La, Tb, Ho, Lu, Pt ve Fe elementleri yaz mevsiminden kış mevsimine geçişte azalma eğilimi gösterirken, Li, Mg, Zn, Ba, Pb, Mn, Se, Cd, Bi, Tl, Ge, Ce, Rh, Sn ve P elementleri artış göstermiştir. Çoğu durumda, element

konsantrasyonlarındaki aylık değişim, ortalama yaz ve kış konsantrasyonlarından daha bilgilendirici olabilir.

Tablo 4.15. Yaz ve kış dönemleri ortalama, medyan konsantrasyonları (ng/m³) ve yaz/kış oranı (Y/K)

	N	Yaz Ortalama	Yaz Medyan	N	Kış Ortalama	Kış Medyan	Y/K ortalama oranları
Li	34	0,09 ± 0,07	0,07	42	0,1 ± 0,06	0,09	0,83
Be	24	0,004 ± 0,002	0,00	28	0,004 ± 0,003	0,00	1,08
Mg	22	45,31 ± 35,66	34,47	42	95,48 ± 52,38	86,19	0,47
Al	41	86,35 ± 55,14	78,98	42	62,97 ± 57,68	41,11	1,37
Ni	42	1,32 ± 0,7	1,14	41	2,13 ± 2,59	1,15	0,62
Cu	42	45,14 ± 140,17	6,71	42	6,92 ± 3,84	7,15	6,53
Zn	42	34,08±15,55	28,37	42	100 ± 38,82	96,69	0,34
As	42	0,67 ± 0,24	0,58	0	LOD		
Ba	42	4,31 ± 2,8	3,04	42	7,7 ± 4,12	7,92	0,56
Pb	42	4,23 ± 5,06	2,84	42	8,26 ± 5,01	7,36	0,51
V	42	1,91 ± 0,72	1,79	0	LOD		
Cr	42	3,82 ± 1,64	3,49	25	6,52 ± 9,66	1,18	0,59
Mn	42	6,28 ± 3,08	5,12	42	7,9 ± 5,6	7,42	0,80
Co	28	0,56 ± 1,25	0,09	42	0,21 ± 0,42	0,09	2,62
Se	41	0,87 ± 0,27	0,85	33	8,39 ± 3,54	10,02	0,10
Rb	42	0,35 ± 0,08	0,35	42	0,36 ± 0,18	0,33	0,96
Cd	42	0,12 ± 0,05	0,11	42	0,27 ± 0,16	0,25	0,45
Bi	42	0,09 ± 0,07	0,07	40	0,13 ± 0,08	0,12	0,65
Tl	42	0,02 ± 0,01	0,02	42	0,04 ± 0,02	0,03	0,51
Cs	42	0,04 ± 0,02	0,03	42	0,03 ± 0,01	0,03	1,32
Ti	42	4,01 ± 1,32	3,91	42	1,92 ± 1,46	1,22	2,09
Mo	7	0,33 ± 0,43	0,17	11	0,23 ± 0,18	0,21	1,45
Ge	39	0,07 ± 0,03	0,07	42	0,54 ± 0,06	0,53	0,13
Ta	0	LOD		1	0,01 ± 0	0,01	
Y	42	0,03 ± 0,01	0,03	42	0,02 ± 0,02	0,01	1,51
La	42	1,11 ± 2,51	0,13	42	0,41 ± 1,18	0,07	2,71
Ce	42	0,54 ± 1,37	0,14	5	69,8 ± 111,6	8,25	0,01
Eu	42	0,002 ± 0,0008	0,00	42	0,003 ± 0,002	0,00	0,74
Tb	42	0,001 ± 0,0005	0,00	35	0,001 ± 0,001	0,00	1,30
Ho	41	0,0008 ± 0,0004	0,00	39	0,001 ± 0,001	0,00	1,15
Lu	42	0,0003 ± 0,0001	0,00	33	0 ± 0,001	0,00	0,94
Rh	20	0,02 ± 0,04	0,00	42	0,006 ± 0,004	0,00	2,84
Sn	42	0,75 ± 0,64	0,52	42	1,16 ± 0,68	0,97	0,64
Sb	42	0,98 ± 0,84	0,66	42	0,9 ± 0,52	0,82	1,10
Pt	1	1,03 ± 0	1,03	12	0,06 ± 0,12	0,01	17,38
Na	15	84,44±61,10	65,98	11	354,7 ± 271,7	243,62	0,24
K	42	218,65±129,62	163,21	39	212,4 ± 85,5	205,49	1,03
Ca	38	449,46±204,38	529,14	4	499,7 ± 318,3	602,09	0,90
Fe	42	243,5 ± 117,63	224,41	41	163,8 ± 125,1	161,92	1,49
P	42	72,32 ± 25,61	72,30	1	494,8 ± 0	494,75	0,15



Şekil 4.20. Eser Elementlerin Yaz/Kış konsantrasyon oranları

Mevsimsel değişim incelendiğinde PM_{2.5} fraksiyonunda Al, Fe ve Ti gibi toprak kaynaklı elementlerin Y/K oranlarının 1'in üzerinde olduğu görülmüştür. Burada, toprak kaynaklı bu elementlerin Y/K oranları yaz mevsimi konsantrasyonlarının kış mevsimi konsantrasyonlarından yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca Al ve Fe elementinin yaz ve kış dönemi mekânsal dağılımları EK-G'de verilmiştir. Yaz aylarında yağmur yağmasına rağmen, toprak çoğunlukla yaz aylarında kurudur. Toprak kuruduğunda rüzgâr aşınmasına yatkın hale gelir. Böylece toprak parçacıkları rüzgâr hızına da bağlı olarak kolaylıkla havaya karışabilir. Yağmur, kar ve diğer yağış türleri genellikle kışın meydana gelir, bu nedenle toprak genellikle nemli veya buzla kaplıdır. Bu, toprak bileşenlerinin rüzgârdan korunmasını sağlar, dolayısıyla kaynak gücünü azaltır. Bu genel model, tüm litofilik elementlerin yaz aylarında kışa kıyasla daha yüksek konsantrasyonlarına neden olur.

Genel anlamda, endüstriyel faaliyetler ve akaryakıt yanmasıyla ilişkili olan Ni elementinin Y/K oranını 1'e yakın olduğu için element kirliliğinden etkilenmiş olabilir. Cr elementi kış mevsimine göre yaz mevsiminde yaklaşık 3 kat daha yüksek belirlenmiştir. Cr elementinin, endüstriyel faaliyet ve trafik emisyonlarının yanında yol tozu ve lastik aşınmasından da kaynaklandığı bilinmektedir. Yaz mevsiminde kuru havalarda yol tozununda atmosfere karışarak Cr element konsantrasyonunu yükselttiği düşünölmüştür.

Antropojenik elementler, toprak elementlerinden farklı karakterizasyon göstermektedir. Zn, Cu, P, Pb ve Se gibi antropojenik elementlerinin Y/K oranları 1'den düşük bulunmuştur. Bu durum, antropojenik elementlerin konsantrasyonlarının yaz mevsimine göre kış mevsiminden daha yüksek olduğunu göstermektedir. 1'den düşük Y/K oranları, konut ısıtma ve endüstriyel faaliyetler için kullanılan artan fosil yakıt tüketimine, düşük sıcaklık etkisi ile artan motorlu araç emisyonlarına ve yüksek atmosferik stabilite ve düşük karıştırma yüksekliği koşullarına neden olan sabahları düşük seviyeli sıcaklık değişimlerine atfedilebilir (Pekey, 2010).

Zn, Cu ve Pb elementlerinin yaz ve kış dönemi mekânsal dağılım haritaları EK-H'de verilmiştir. Bu antropojenik elementlerin mekânsal dağılım haritaları da kış döneminde baskın olduklarını göstermektedir.

4.3.3. Eser elementlerin mekânsal dağılımları

Bu çalışmanın yapıldığı İzmit ilçesinde örnekleme noktalarıkentsel, kırsal ve trafik kaynaklarını temsil etmektedir. 14 örnekleme alanı için eser element ortalama konsantrasyonları Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.16’a bakıldığında tüm örnekleme noktalarında çalışma döneminde en düşük konsantrasyon Lu elementinde gözlemlenmiştir. Tüm örnekleme noktalarındaki en yüksek konsantrasyonlara bakıldığında ise farklı elementlerin farklı noktalarda yüksek olduğu görülmüştür. K elementinin en yüksek element olduğu noktalar Cedit ($406,21 \text{ ng/m}^3$), Tüysüzler ($282,62 \text{ ng/m}^3$), Malta ($251,26 \text{ ng/m}^3$) ve Kuruçeşme Kocatepe ($281,54 \text{ ng/m}^3$) örnekleme olmuştur. Gültepe ($643,53 \text{ ng/m}^3$), Yeni ($470,55 \text{ ng/m}^3$) ve Yahyakaptan ($416,50 \text{ ng/m}^3$) istasyonlarında baskın element Ca iken, Yeşilova ($147,19 \text{ ng/m}^3$), Sanayi ($339,01 \text{ ng/m}^3$) ve Karabaş ($525,95 \text{ ng/m}^3$) istasyonlarında Fe elementi yüksek seviyede ölçülmüştür. Sepetçiler ($320,68 \text{ ng/m}^3$) ve Köseköy Dumlupınar ($467,60 \text{ ng/m}^3$) örnekleme noktalarında Na elementinde en yüksek konsantrasyonlar gözlemlenirken, 28 Haziran ve Kabaoğlu örnekleme noktasında en yüksek konsantrasyonlar sırasıyla Mg ($163,64 \text{ ng/m}^3$) ve Cu ($276,50 \text{ ng/m}^3$) elementlerinde tespit edilmiştir.

Tüm örnekleme noktalarında en yüksek konsantrasyona sahip element, Gültepe örnekleme noktasında ölçülen Ca elementiyken ($643,53 \text{ ng/m}^3$), en düşük konsantrasyona sahip element Kuruçeşme Kocatepe örnekleme noktasında ölçülen nadir toprak elementi olan Lu ($0,00013 \text{ ng/m}^3$) elementidir. Ca elementi daha çok toprak tozu kaynaklı elementtir (Tepe ve Doğan, 2021). Tepe ve Doğan (2021) Akdeniz Bölgesinde yaptıkları çalışmada Ca element konsantrasyonunu yüksek belirlemiş ve bunu Türkiye'nin orta ve güneybatısındaki kabuk tozunun kalkerli yapısına bağlamışlardır.

Tüm örnekleme noktalarına bakıldığında Co, La, Cu ve Ce elementlerinin en yüksek ve en düşük konsantrasyonları arasında sırasıyla yaklaşık 50, 80, 169 ve 523 kat fark bulunmaktadır. Co elementinin en düşük konsantrasyonu Malta örnekleme noktasında ($0,048 \text{ ng/m}^3$) görülürken, en yüksek konsantrasyonu Cedit örnekleme noktasında ($2,39 \text{ ng/m}^3$) görülmüştür.

Tablo 4.16. 14 örnekleme noktasının PM_{2.5}'teki eser element konsantrasyonları (ng/m³)

	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	Köseköy Dumlupınar	Malta	Yahyakaptan	Kuruçesme Kocatepe	Yeni
Li	0,121	0,109	0,095	0,094	0,155	0,079	0,087	0,041	0,051	0,108	0,015	0,071	0,094	0,274
Be	0,002	0,006	0,003	0,002	0,006	0,006	0,001	0,002	LOD	0,002	0,001	LOD	0,005	0,007
Mg	47,790	61,289	163,644	101,214	115,254	42,160	81,694	48,041	39,061	64,884	8,626	122,380	77,008	143,981
Al	92,292	140,941	61,294	53,209	89,520	83,942	47,066	36,698	32,260	61,175	31,468	70,012	67,301	172,849
Ni	3,390	1,120	0,708	1,154	1,266	6,268	2,316	0,986	1,337	1,052	0,760	0,985	1,789	1,182
Cu	8,561	4,010	3,121	6,104	10,191	9,814	10,622	7,212	276,503	8,429	1,636	7,088	4,947	6,176
Zn	42,738	53,352	94,675	74,960	74,363	62,532	91,484	50,663	60,855	111,026	34,310	62,544	60,399	64,658
Ba	2,387	4,871	4,506	6,197	9,342	9,789	11,858	4,943	3,541	8,324	1,438	5,077	5,336	6,422
Pb	3,230	3,080	3,236	7,465	7,460	9,217	10,103	5,698	12,570	4,127	2,240	2,988	8,697	7,307
Cr	9,613	2,208	3,593	1,643	1,818	5,279	12,481	3,337	1,439	2,761	2,783	3,261	7,383	3,444
Mn	3,739	5,007	3,376	7,591	19,224	8,999	12,003	5,770	4,263	9,352	1,843	5,798	6,638	5,696
Co	0,063	0,095	0,051	0,095	0,784	2,385	0,091	0,056	0,082	1,709	0,048	0,062	0,111	0,094
Se	0,963	1,043	2,948	3,690	5,744	5,138	7,623	5,921	4,800	5,876	5,854	5,864	0,887	0,556
Rb	0,261	0,290	0,260	0,312	0,466	0,502	0,382	0,354	0,136	0,424	0,248	0,336	0,516	0,443
Cd	0,144	0,141	0,177	0,162	0,357	0,342	0,233	0,196	0,085	0,155	0,083	0,138	0,320	0,215
Bi	0,069	0,073	0,080	0,097	0,150	0,206	0,160	0,062	0,077	0,207	0,032	0,060	0,139	0,122
Tl	0,013	0,019	0,023	0,022	0,033	0,041	0,029	0,029	0,013	0,044	0,017	0,021	0,043	0,034
Cs	0,027	0,027	0,027	0,023	0,036	0,041	0,061	0,036	0,013	0,027	0,021	0,032	0,043	0,041
Ti	2,630	4,267	2,471	2,733	4,526	3,172	2,901	2,329	1,458	2,311	1,569	4,454	2,722	4,015
Ge	0,275	0,288	0,293	0,314	0,346	0,359	0,345	0,278	0,237	0,344	0,365	0,290	0,311	0,430
Y	0,023	0,037	0,021	0,027	0,035	0,024	0,017	0,012	0,009	0,015	0,010	0,031	0,017	0,048
La	0,074	0,134	4,882	0,186	0,064	0,194	0,073	0,130	0,080	0,062	2,382	0,113	1,510	0,754
Ce	0,098	0,227	0,151	0,128	0,099	44,059	0,163	0,170	0,089	5,473	0,084	0,304	0,124	5,525
Eu	0,002	0,004	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,004
Tb	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
Ho	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002
Lu	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Rh	0,002	0,005	0,046	0,005	0,008	0,003	0,003	0,004	0,016	0,005	0,005	0,005	0,004	0,017
Sn	0,522	0,538	0,481	1,047	1,497	1,770	1,348	0,637	1,631	0,692	0,394	0,680	0,943	1,153
Sb	0,409	0,594	0,553	1,150	1,220	1,641	1,402	0,488	0,320	2,398	0,419	0,640	0,849	1,092
Na	320,676	LOD	LOD	103,458	LOD	LOD	LOD	LOD	63,149	467,600	LOD	LOD	93,618	167,655
K	125,062	132,294	121,948	209,477	277,911	406,212	145,380	282,619	114,145	323,995	251,258	199,932	281,536	138,764
Ca	LOD	LOD	LOD	643,531	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	416,502	LOD	470,560
Fe	153,368	147,199	149,010	205,479	339,012	222,104	525,952	131,226	81,415	193,075	105,267	197,140	187,000	229,733
P	67,361	31,130	79,032	46,242	73,679	103,898	LOD	180,977	27,219	102,114	103,814	70,921	65,978	50,934

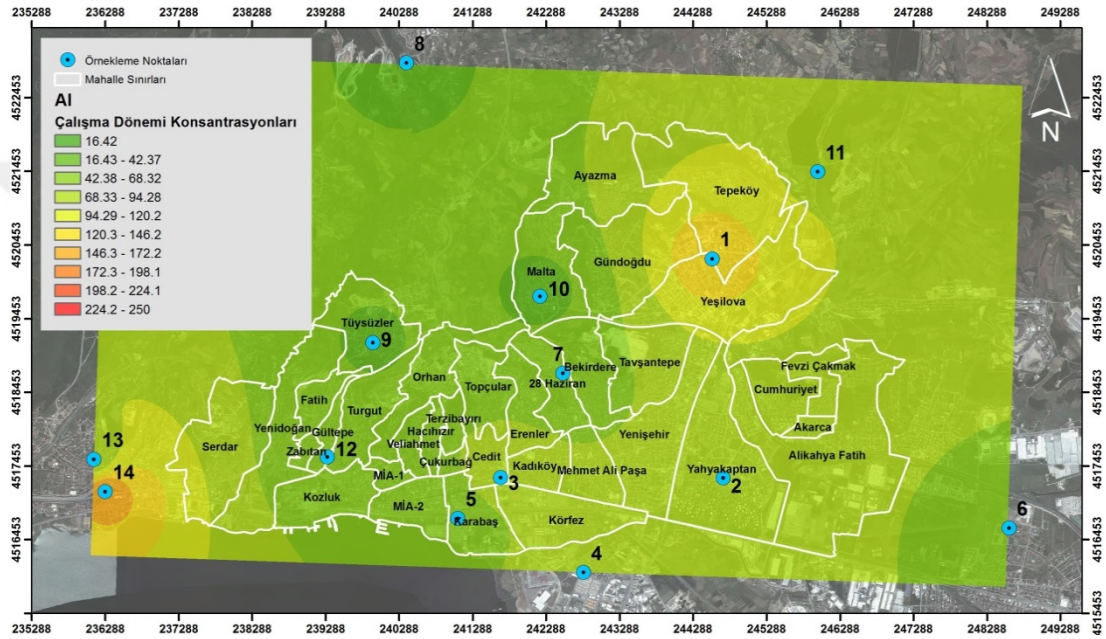
La elementi için 80 katlık fark Köseköy Dumlupınar (0,062 ng/m³) ile 28 Haziran örnekleme noktalarında (4,88 ng/m³) arasında gözlemlenmiştir. En düşük konsantrasyonu (Malta: 1,64 ng/m³) ile en yüksek konsantrasyonu (Kabaoğlu: 276,5 ng/m³) arasında 169 kat fark olan Cu elementidir. Bu fark, Tablo 4.16'a bakıldığında yaz mevsiminde Kabaoğlu örnekleme noktasında gözlemlenen yüksek Cu konsantrasyonuna (550,35 ng/m³) bağlıdır. Ce elementinin en yüksek konsantrasyonu Cedit örnekleme noktasında (44,06 ng/m³) görülürken, en düşük konsantrasyon Malta örnekleme noktasında (0,084 ng/m³) tespit edilmiştir.

Deniz tuzunun izleyicilerinden olan Na elementi yaz döneminde Yeşilova örnekleme noktasında baskın iken, kış döneminde Sepetçiler ve Köseköy örnekleme noktalarında baskın olduğu belirlenmiştir. Ooki ve diğ. (2002), atmosferik ince partiküllerde Na kaynaklarını hem deniz hem de kent havasında yaptıkları ölçümlerle incelemiş ve kent havasının deniz havasından 3 kat daha yüksek seviyelerde Na içerdiğini ve kaynağının antropojenik olduğunu bildirmişlerdir. Japonya'da çöp yakma, toplam sodyum emisyonunun %25-43'ünü ve toplam antropojenik sodyum emisyonunun %79-91'ini oluşturmaktadır. Çöp yakma fırını kentsel havadaki sodyum için en önemli antropojenik kaynak olarak kabul edilir. NaCl, yakma fırınlarından elde edilen ana bileşendir. Philadelphia'daki yakma tesislerinin bir analizinde, yayılan sodyum ve potasyumun %52 ve %63'ünün PM_{2.5} boyutunda bulunduğu bildirilmiştir (Ooki ve diğ., 2002). Tüm bunlar dikkate alındığında İZAYDAŞ çöp yakma tesisine yakın örnekleme noktaları olan Köseköy Dumlupınar ve Sepetçiler örnekleme noktalarında daha yüksek seviyelerin çöp yakma ile ilgili emisyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

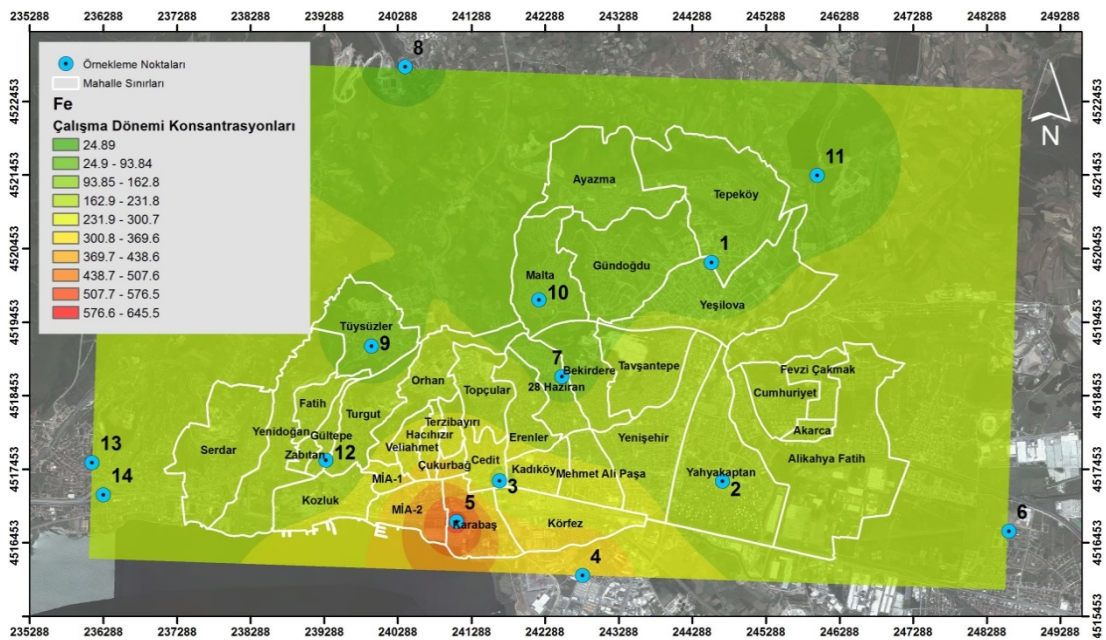
Doğal kaynakların izleyicileri olan Al, Fe ve Mn için mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Sırasıyla Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir.

Şekil 4.21'de Al elementinin mekânsal dağılımı incelendiğinde Yeni Mahalle ve Yeşilova örnekleme noktalarında baskın olduğu görülmektedir. Şekil 4.22'de Fe elementinin kent merkezine yakın olan Karabaş, Cedit ve Sanayi örnekleme noktalarında baskın olduğu görülmektedir. Mn elementinin ise Şekil 4.23'e bakıldığında Sanayi, Karabaş ve Köseköy Dumlupınar örnekleme noktalarında baskın olduğu görülmektedir. Mn, yol tozu, kömür yanması ve demir-çelik endüstrisi

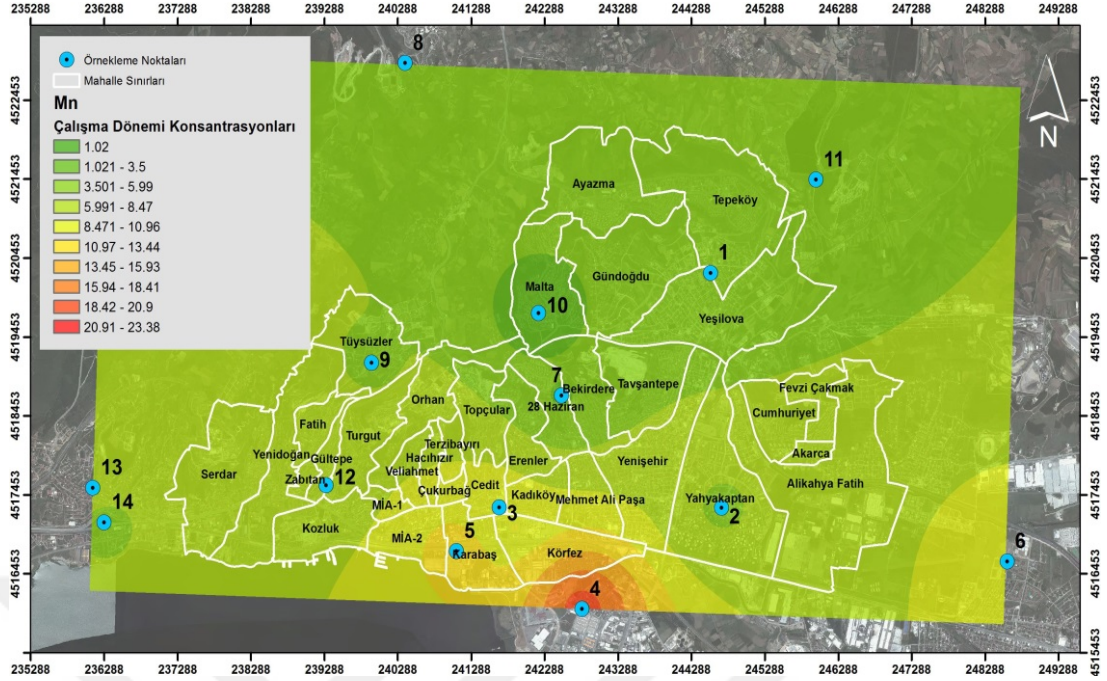
gibi faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Genç Tokgöz, 2013; Ledoux ve diğ., 2017; Sulong ve diğ., 2017;). Karabaş örnekleme noktası D-100 karayoluna oldukça yakın olup trafik emisyonlarını temsil eden nokadır. Bu nedenle yol tozu kaynaklı emisyonlar yüksek konsantrasyonlara neden olmuş olabilir. Sanayi örnekleme noktasında kömür ve odun tüketiminin yoğun olmasına bağlı yüksek konsantrasyon gözlemlendiği düşünülmektedir. Köseköy Dumlupınar örnekleme noktasının ise demir-çelik fabrikasına yakın olması yüksek seviyelere neden olmuş olabilir.



Şekil 4.21. Al elementinin mekânsal dağılımı

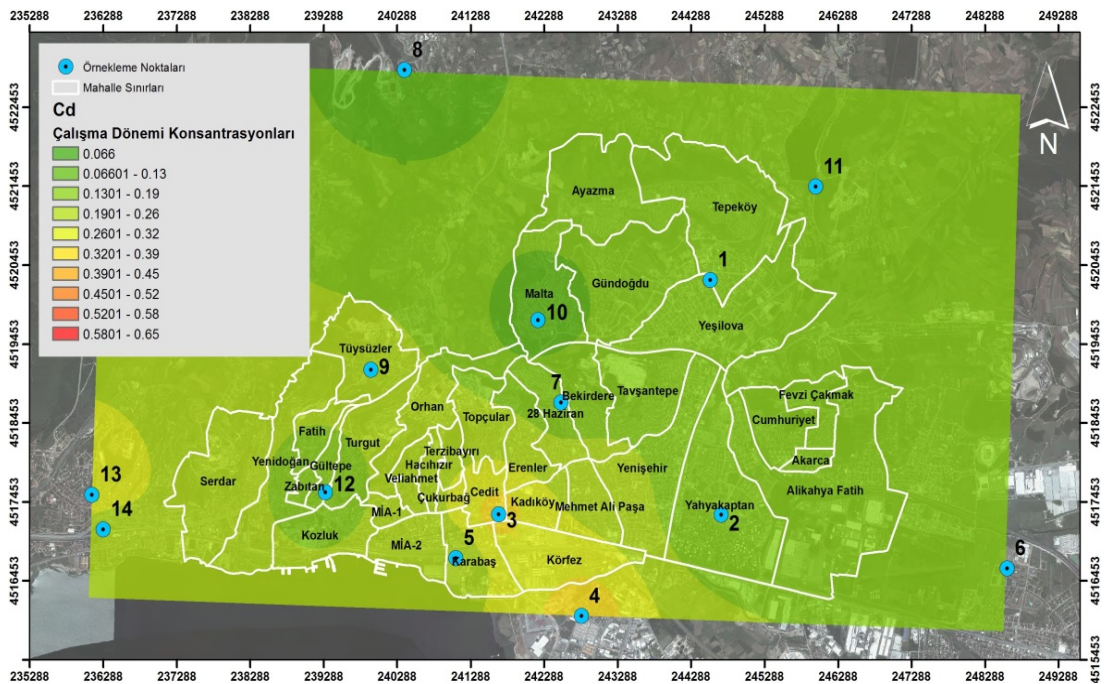


Şekil 4.22. Fe elementinin mekânsal dağılımı

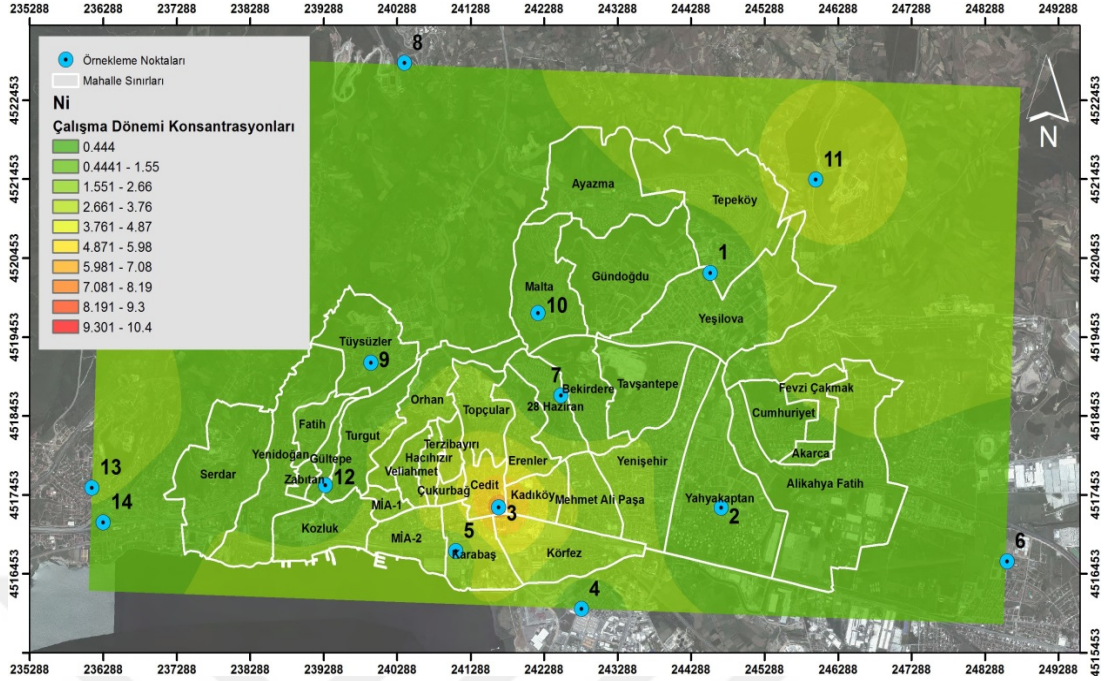


Şekil 4.23. Mn elementinin mekânsal dağılımı

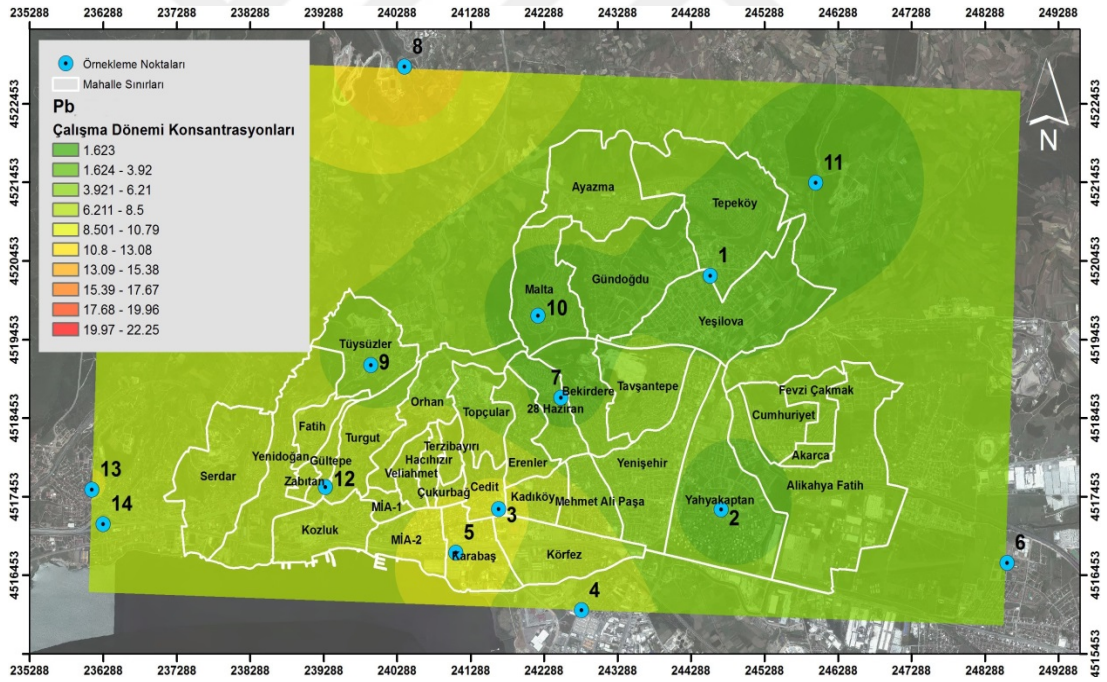
Antropojenik kaynakların izleyicileri olan Cd, Ni ve Pb elementlerinin de mekânsal dağılım haritaları hazırlanmış ve Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26'da sırasıyla sunulmuştur. Pb elementi hariç diğer elementler daha çok kent merkezine yakın noktalarda yüksek çıkmıştır. Pb elementi, Kabaoğlu örnekleme noktasında tek bir örnekleme gününde en yüksek konsantrasyonu göstermiş ve ortalamayı etkilemiştir.



Şekil 4.24. Cd elementinin mekânsal dağılımı



Şekil 4.25. Ni elementinin mekânsal dağılımı



Şekil 4.26. Pb elementinin mekânsal dağılımı

4.3.4. Eser elementlerin kaynak tanımlaması

i. Zenginleşme Faktörü ile Kaynak Belirleme

Bu çalışmada, partikülde belirli bir elementin varlığının öncelikle doğal veya antropojenik süreçlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığını belirlemek için her

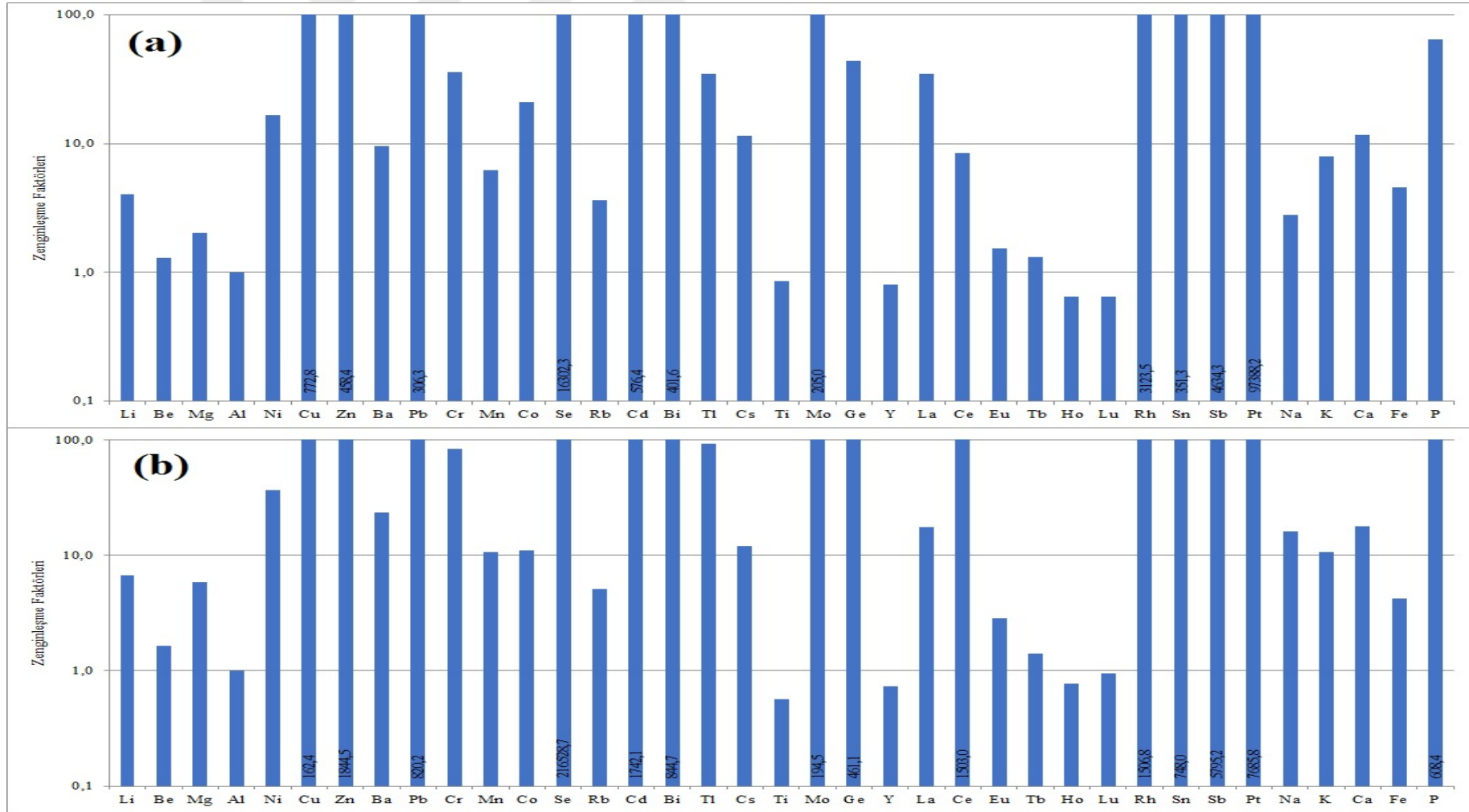
elementin zenginleştirme faktörü (ZF) Denklem (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, örnekte seçilen element ve Al referans element konsantrasyonunun, toprakda ölçülen konsantrasyonlarına oranını göstermektedir. Yani, bir element kaynak olarak toprakta ne kadar bulunuyor ise, örnekte de o oranda bulunmaktadır. Bu çalışmada ZF'yi hesaplamak için referans toprak kaynağı olarak Mason'un toprak bileşimi kullanılmıştır (Mason ve Moore, 1982).

Yaz ve kış dönemi ZF faktörleri Şekil 4.27'de gösterilmiştir. İncelenen elementlerin yaklaşık %73'ünde kış döneminde daha yüksek seviyelerde zenginleşme görülmüştür. Bu kış döneminde antropojenik faktörlerin bu elementlere daha fazla katkı sağladığını göstermektedir.

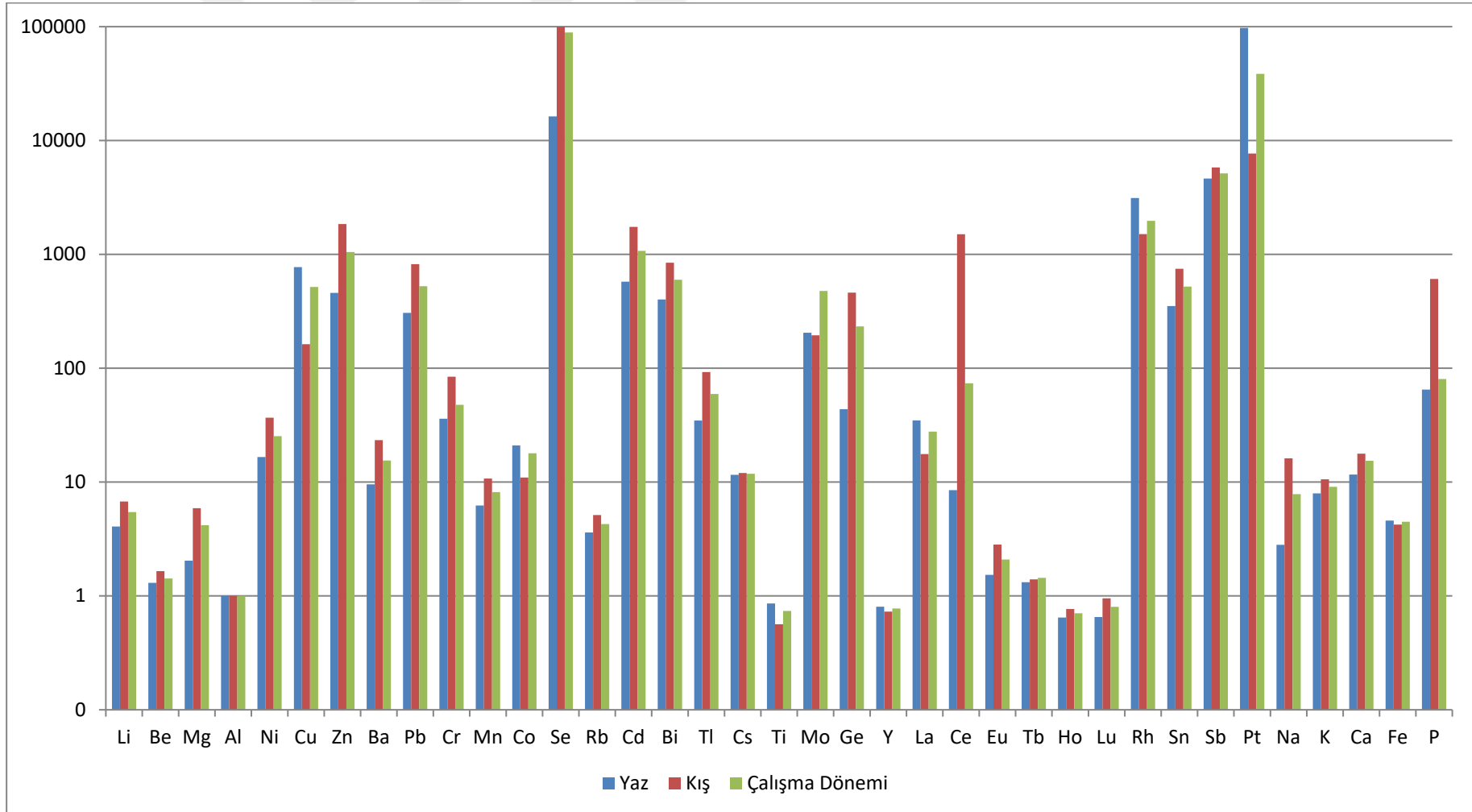
PM_{2.5}'e bağlı eser elementlerin yaz dönemi, kış dönemi ve ortalama ZF seviyeleri Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Cr ve Mo elementleri dışında tüm antropojenik elementler kış döneminde daha yüksek ZF değeri hesaplanmıştır. Mo, benzin ve dizel emisyonunun (Hsu ve diğ., 2016), Cr ise endüstriyel kirliliğin izleyicileridir (Rivas ve diğ., 2014; Sulong ve diğ., 2017; Ventura ve diğ., 2017).

Genel olarak tüm örnekleme dönemleri incelendiğinde Li, Be, Mg, Al, Rb, Cs, Y, Eu, Tb, Ho, Lu ve Fe elementleri zenginleşmemiştir (ZF<10) ve toprak kaynağını gösterir. Ni, Cr, Co, Tl, Cs, La, Ca ve P orta derecede zenginleşmiş (10<ZF<100) ve karışık kaynak katkısını göstermektedir. Cu, Zn, Pb, Se, Cd, Bi, Mo, Rh, Sn, Sb ve Pt elementleri için ZF>100'dür, bu da ağır yakıt yakma, kömür yakma ve araç emisyonları gibi antropojenik faaliyetlerle zenginleştiklerini göstermektedir (Deng ve diğ., 2014; Xu ve diğ., 2021).

Şekil 4.28'e göre Ba, Mn, Ce, Na, K gibi elementlerde mevsimsel değişim gözlemlenmiştir. Ba, Mn, Na ve K yaz döneminde toprak kaynağından oluşmakta iken, kış döneminde karışık kaynak söz konusudur. Mn elementinin kış döneminde ZF'si (~10) kömür yakma kaynağının etkisini göstermektedir. Ayrıca yaz döneminde Ce toprak kaynaklı, kış döneminde ise antropojenik kaynaklıdır. Ge ve P elementinin ZF'si yaz döneminde karışık kaynağı gösterir iken, kış döneminde yüksek ZF'ler ile antropojenik faktörün baskınlığını göstermektedir.



Şekil 4.27. (a) Yaz ve (b) kış dönemi zenginleşme faktörleri



Şekil 4.28. Yaz, kış ve ortalama konsantrasyon değerlerinin zenginleşme faktörleri

V, Cr ve Na gibi elementler, karışık kaynak izleyicileri olan elementlerdendir. Bu elementlerin tümü toprak matrisi bakımından zenginleştirilmiştir, ancak aynı zamanda iyi raporlanmış toprak dışı kaynaklara da sahiptirler. Na, deniz tuzu partikülünün iyi bilinen bir belirteçidir (Tepe ve Doğan, 2021). V ve Ni ağır yakıt yanmasının izleyicileridir (Salameh ve diğ., 2015). Cr'nin doğal kaynaklardan geldiği belirtilse (Choung ve diğ., 2016; Faraji Ghasemi ve diğ., 2020), cam yapımı (Ledoux ve diğ., 2017) ve kömür yakma (Hsu ve diğ., 2016) gibi antropojenik kaynakları da bulunmaktadır.

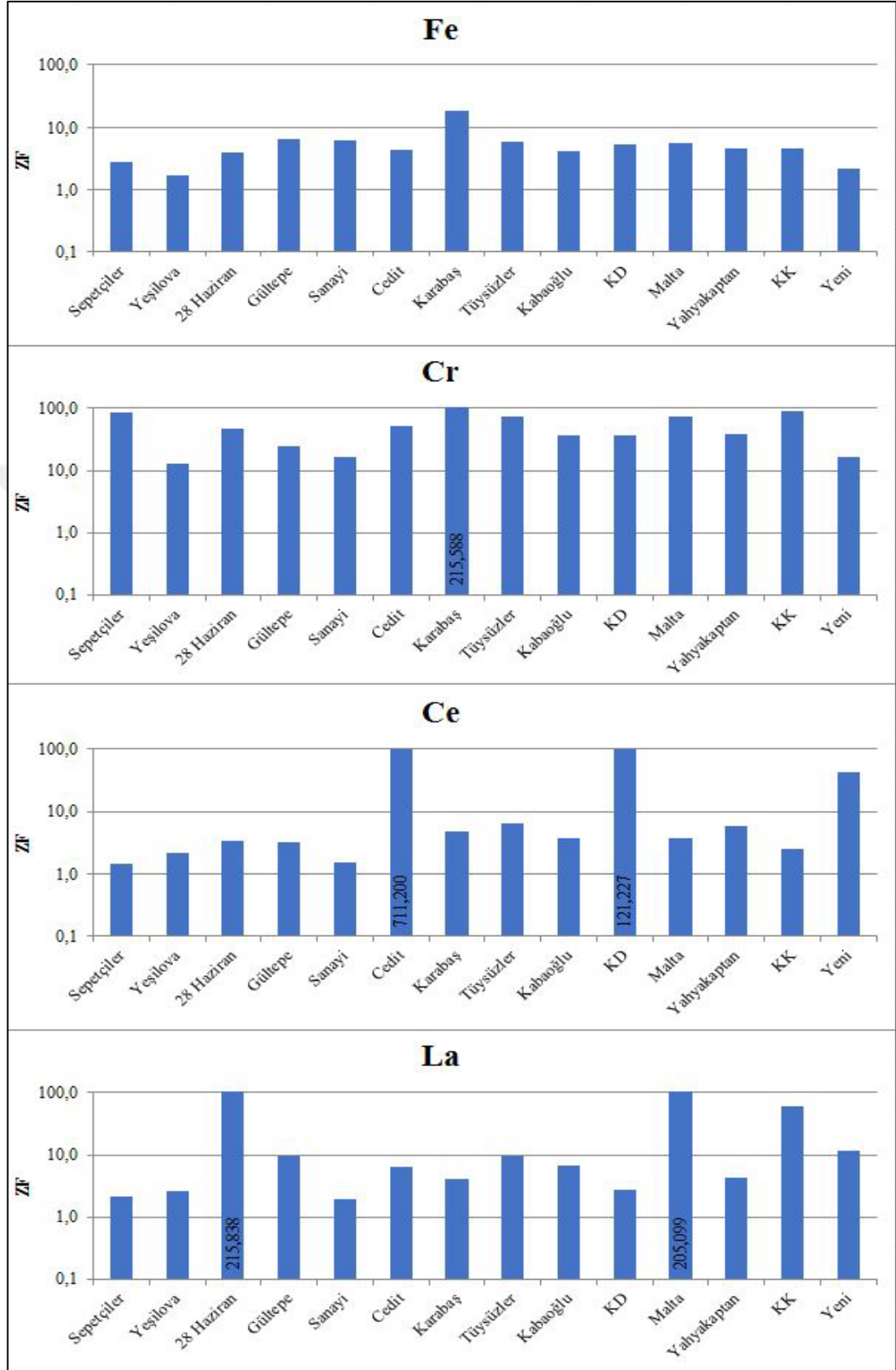
PM_{2.5}'e bağlı eser elementlerin zenginleşme faktörlerinin yaz dönemi mekânsal dağılım verileri Tablo 4.17'de ve kış dönemi mekânsal dağılım verileri ise Tablo 4.18'de verilmiştir. Yaz ve kış dönemi zenginleşme faktörleri mekânsal olarak incelendiğinde Al, Ti, Eu, Tb, Ho, Lu, Y, Rb ve Be elementlerinin ZF'leri tüm örnekleme noktalarında toprak kaynağını gösterir iken (ZF<10), Cd, Pb, Zn, Bi, Rh, Sb, Sn ve Ge'nin ZF'leri ise antropojenik kaynağı (ZF>100) göstermiştir. Fe, Cr, Ce ve La elementinin tüm örnekleme noktalarındaki ZF'leri Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Fe elementi sadece yola yakın Karabaş örnekleme noktasında karışık kaynak kökenini (10<ZF<100) göstermiştir. Kentsel alanda yapılan PM_{2.5} analizi, Fe'nin özellikle fren aşınma emisyonları nedeniyle trafik kaynağıyla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Gietl ve diğ., 2010). Cr elementi ise yine sadece bu noktada antropojenik kökenlidir (ZF>100). Örnekleme noktası kent merkezinde yola yakın olduğundan Cr elementi, araçların mobil parçalarının ve fren veya lastik aşınmasıyla serbest bırakılabileceğinden, yerel karayolu trafiğinin katkısının potansiyel bir kaynak olabilir (Thorpe ve Harrison, 2008). Yine kent merkezinde yer alan ve trafik emisyonlarından etkilenen Cedit örnekleme noktasında Ce elementi antropojenik kökenle (ZF>100) açıklanmaktadır. 28 Haziran ve Malta örnekleme noktasında La elementi antropojenik kaynaklarla zenginleşti. La ve Ce elementi genellikle toprak kaynaklıdır (Hsu ve diğ., 2016). Hueglin ve diğ. (2005) İsviçre'de yaptıkları çalışmada, kırsal alandan kentsel alana ve yol kenarına kadar Ce, Ba, Ca, Cu, Fe, La, Mo, Mn, Pb, Sb ve Rh konsantrasyonlarındaki kademeli artışların, bu unsurların trafikle ilgili bir kaynağı olduğu sonucunu desteklediğini tespit etmişlerdir. La ve Ce elementinin zenginleşme faktöründeki yüksek seviyelerin trafik kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.17. Yaz dönemi eser elementlerin zenginleşme faktörleri mekânsal dağılımları

	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	KD	Malta	Yahyakaptan	KK	Yeni
Li	5,0	2,4	3,3	8,2	10,5	3,0	4,3	2,4	5,8	1,7	0,2	2,6	4,3	9,9
Be	0,5	0,7	1,5	2,3	8,1	1,2	0,8	1,3	3,7	1,3	0,9	2,7	1,4	0,2
Mg	0,8	0,5	1,9	5,8	1,8	5,4	3,0	1,3	2,6	0,2		3,4	1,2	2,9
Al	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ni	9,4	5,9	12,1	26,9	19,5	22,2	54,7	20,4	45,4	12,6	14,5	11,2	23,9	11,8
Cu	38,5	36,2	53,0	148,8	491,1	156,7	283,5	75,3	16909,1	165,3	31,1	206,4	44,4	95,6
Zn	267,4	188,3	288,6	771,6	1091,1	495,6	837,7	473,2	1741,9	747,6	431,8	329,1	419,6	290,6
Ba	3,3	5,6	7,8	14,8	23,9	15,6	29,1	7,3	13,7	19,0	3,4	7,3	6,2	4,8
Pb	138,3	76,3	210,7	295,6	492,9	276,1	407,3	417,5	2892,7	141,5	226,0	220,6	289,3	131,1
Cr	38,2	8,6	36,0	55,4	81,1	52,8	43,8	48,3	27,9	19,2	54,1	50,4	56,6	36,7
Mn	2,8	2,5	3,6	17,8	52,3	6,0	12,6	7,0	7,9	7,9	4,1	5,4	5,7	3,4
Co	0,9	1,4	3,3	1,1	184,5	140,8	5,8		8,9	2,4		1,3	7,1	0,8
Rb	2,2	1,5	3,6	6,7	9,4	3,6	4,7	8,5	3,1	3,4	4,8	4,9	5,7	2,8
Cd	422,6	144,5	417,7	894,7	1096,5	908,9	751,3	1362,8	924,4	359,1	669,4	794,7	960,0	484,4
Bi	209,3	123,9	309,8	304,6	828,5	546,9	773,3	201,9	958,2	1267,8	222,3	160,0	530,2	239,1
Tl	13,7	11,0	24,9	54,8	75,4	36,6	43,8	88,2	56,9	68,0	48,7	47,5	42,8	21,2
Cs	7,4	3,6	9,9	15,5	26,6	9,0	40,2	31,7	9,9	5,7	13,7	16,1	17,0	7,8
Ti	0,6	0,6	0,9	1,8	3,4	0,7	1,1	1,6	0,9	0,7	0,8	1,3	0,9	0,5
Ge	23,8	17,0	35,9	87,7	93,5	58,4	88,6	44,8	104,2	83,4	70,9	53,5	28,6	3,6
Y	0,7	0,6	0,9	1,7	2,2	0,7	1,1	1,0	0,8	0,6	0,6	1,2	0,6	0,6
La	2,0	2,3	325,0	5,2	5,2	7,3	4,6	14,6	6,8	3,1	5,9	4,9	100,6	32,3
Ce	1,0	1,2	2,5	5,1	5,4	3,8	3,5	7,2	2,5	82,3	2,0	5,2	2,1	1,4
Eu	1,2	1,1	1,7	2,2	4,7	1,5	2,7	1,5	2,5	1,5	1,3	2,0	1,0	1,2
Tb	0,8	0,9	1,6	3,1	2,9	1,4	1,7	1,9	2,2	1,2	1,1	1,5	1,1	1,1
Ho	0,5	0,6	0,9	1,4	1,8	0,5	0,8	1,0	0,6	0,4	0,7	0,7	0,4	0,4
Lu	0,6	0,5	1,0	1,4	2,3	0,2	0,9	0,8	1,0	0,4	0,7	0,9	0,3	0,5
Rh	25,9		25531,2		59,6	287,2	384,6	1518,9	14673,1		554,3	111,5	104,6	147,3
Sn	129,3	103,8	201,6	633,2	706,7	490,7	760,1	245,5	2368,9	317,0	228,9	220,7	266,0	190,7
Sb	1693,0	1298,5	3066,3	12441,9	11780,5	6978,5	9299,7	3267,3	3895,2	16548,1	3276,7	2890,7	3989,9	1880,1
Na	1,1	2,4	5,6	7,2	17,2			6,1	2,9	1,1		0,1	1,0	1,7
Ca	10,9	6,0	7,8	35,9	51,0	8,2	24,5	29,4	23,7	4,8	2,6	17,4	3,9	7,4
Fe	2,9	1,6	4,7	9,4	16,1	4,1	16,7	6,5	4,4	3,6	4,5	5,0	4,2	3,1

Tablo 4.18. Kış dönemi eser elementlerin zenginleşme faktörleri mekânsal dağılımları

	Sepeçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	KD	Malta	Yahyakaptan	KK	Yeni
Li	6,5	9,1	10,7	4,8	4,6	5,2	13,8	7,8	8,1	22,4	6,3	6,2	7,7	4,8
Be	0,9	4,6	0,9	0,5	1,0	2,9	1,1	5,8		1,3	1,4	0,8	3,0	1,1
Mg	6,3	10,8	17,7	5,5	3,4	1,6	12,6	9,4	10,8	10,0	1,9	9,5	5,9	3,1
Al	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ni	147,0	22,1	13,3	21,9	14,7	176,9	50,7	41,8	43,6	35,6	47,7	20,5	35,8	5,3
Cu	485,3	87,8	118,9	179,5	116,7	199,1	433,2	603,0	239,3	311,0	176,8	76,1	199,8	32,1
Zn	1492,1	2412,3	4738,9	2047,8	944,6	1468,8	5084,7	3244,6	3507,3	5910,5	3167,4	1954,8	1926,1	504,1
Ba	10,7	14,7	26,3	25,8	19,3	33,2	86,2	52,6	42,4	45,8	20,4	22,4	27,9	8,2
Pb	503,2	610,7	564,0	1154,3	525,7	1357,3	3204,5	1774,6	1100,4	1206,0	877,5	326,9	1544,4	328,9
Cr	522,9	26,9		2,2	6,2	48,4	777,9	122,1	45,4	96,2	13,3	13,9	159,6	2,8
Mn	5,7	7,6	6,8	9,5	13,0	14,3	40,2	22,8	21,2	27,4	5,0	9,3	12,3	2,5
Co	6,8	8,4	3,4	4,4	3,6	13,4	9,6	6,1	6,4	172,2	4,5	4,9	5,7	1,8
Rb	3,7	4,9	4,2	4,6	3,9	8,3	12,5	9,0	5,8	14,2	10,3	3,6	8,7	2,1
Cd	1378,1	2467,0	2658,5	1400,8	1706,2	2877,1	4518,9	3333,8	1485,5	2908,1	1696,5	806,5	3306,1	514,3
Bi	333,7	761,7	966,4	944,5	655,6	1729,0	2601,5	1380,2	997,1	1688,7	764,2	590,4	1280,7	311,1
Tl	55,5	107,2	130,5	71,2	58,1	148,0	210,3	190,5	83,8	249,0	160,7	51,7	189,9	37,6
Cs	9,7	17,2	16,6	9,8	8,5	20,2	24,4	18,9	12,7	29,3	21,3	7,6	18,1	5,7
Ti	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5	0,7	1,2	0,6	0,6	0,6	0,9	1,1	0,5	0,4
Ge	647,1	847,4	696,2	430,5	228,2	514,6	1011,4	942,1	1262,1	921,9	1557,4	446,7	565,4	123,0
Y	0,4	0,8	0,8	1,0	0,8	0,7	0,5	0,4	0,5	0,6	0,9	0,9	0,6	0,7
La	2,6	5,1	2,3	11,5	1,4	4,6	3,3	2,4	6,5	1,6	716,5	3,7	4,4	1,9
Ce	3,3					5584,7		7,5						95,0
Eu	1,4	10,5	2,7	2,6	2,1	2,7	5,8	4,0	3,6	3,6	1,8	2,9	2,5	2,0
Tb	0,4	6,4	0,5	0,9	0,8	5,7	0,5	0,3	0,6	0,6	1,2	0,9	0,6	1,2
Ho	0,6	4,9	0,5	0,8	0,6	0,5	0,3	0,3	0,2	0,3	0,9	1,0	0,5	0,7
Lu	0,2	11,8	0,8	0,6	0,3	0,4	0,7	0,6	0,2	0,2		0,9	0,3	0,5
Rh	1821,3	2418,7	2210,5	1128,4	914,4	752,2	1852,5	2123,6	2600,2	2495,3	4738,3	1590,3	1634,4	1282,4
Sn	585,9	558,4	548,9	879,5	675,2	1456,0	1969,7	1373,3	1135,0	860,0	1099,0	620,0	1000,5	310,0
Sb	2190,7	4963,8	4852,3	7044,5	4541,5	9529,9	17702,0	8502,2	4454,6	14210,9	8978,4	4786,4	6739,1	2901,7
Na	41,4			4,8		5,0	29,9		19,5	80,3			8,2	6,4
Ca				25,7								2,5		5,8
Fe	2,0	2,5	2,6	4,8	4,6	4,6	21,0	4,8	3,1	9,4	2,3	4,1	5,0	1,7



Şekil 4.29. Fe, Cr, Ce ve La elementlerinin örnekleme noktalarında hesaplanan ZF değerleri

ii. Temel Bileşen Analizi (PCA) ile eser elementlerin kaynak tanımlaması

PM_{2.5}'e bağlı eser elementlerin kaynaklarını belirlemek için veri setine faktör analizi uygulanmıştır. SPSS istatistiksel yazılımı (IBM SPSS 17) ile gerçekleştirilen Temel Bileşen Analizi (PCA), PM_{2.5}'teki eser elementlerin olası kaynaklarını tanımlamak için kullanılmıştır. Faktörleri seçmek için 1'den büyük özdeğer ve en düşük anlamlılık düzeyi olarak bir faktör içinde 0,5'lik faktör katkısı dikkate alınmıştır. Örneklem dönemi eser elementlerin PCA sonuçları Tablo 4.19'da verilmiştir. Çeşitli kirlilik kaynakları için oluşturulmuş eser element izleri Tablo 4.20'de özetlenmiş ve eser element kaynakları olarak faktör profillerini yorumlamak için kullanılmıştır.

PCA analizi ile yaz dönemi için kümülatif varyansın %77,50'sini oluşturan beş faktör ve kış dönemi için kümülatif varyansın %87,14'ünü açıklayan altı faktör belirlenmiştir.

Yaz dönemine bakıldığında varyansın %20,9'unu oluşturan birinci faktör, yüksek Al, Y, Eu, Tb ve Ho yüklemeleri sergilemiştir. Bu tür elementler tipik toprak bileşenleridir (Ledoux ve diğ., 2017) ve bu faktör, kabuk tozunun yeniden süspanse edilmesine atfedilebilir. Amil ve diğ. (2016) kentsel-endüstriyel ortamındaki ince partikül maddede Al, Fe ve Li'nin mineral tozu kaynaklı olduğunu tespit etmişlerdir. Y elementi ise literatürdeki çalışmalarda toprak kaynaklı element olarak tanımlanmıştır (Yenisoy Karakaş ve Tuncel, 2013). Şekil 4.30'da faktör 1'in mekânsal dağılımına bakıldığında Yeşilova ve Sepetçiler örnekleme noktalarında baskınlık görülmektedir. Bu örnekleme noktaları İzmit Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü ve İzmit Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünde yer aldığından bu noktalardaki toprak tozları yüksek katkılara neden olmuş olabilir.

Faktör 2, Cu, Zn, Ba, Tl, Sn, Sb gibi elementlerin yüksek yüklemeleri ile toplam varyansın %17,35'ini açıklamıştır. Ba, Cu ve Sb'nin özellikle fren aşınma emisyonları ve trafik kaynağıyla ilişkili elementlerdir (Amil ve diğ., 2016). Ayrıca Zn literatürdeki çalışmalarda kömür yanma (González ve diğ., 2017; Öztürk, 2016), trafik emisyonu (Aldabe, 2011; Ledoux, 2017) ve endüstriyel emisyonun (Pekey ve diğ., 2010; Li ve diğ., 2016; Ledoux ve diğ., 2017; González ve diğ., 2017) izleyicileri olarak tanımlanmaktadır.

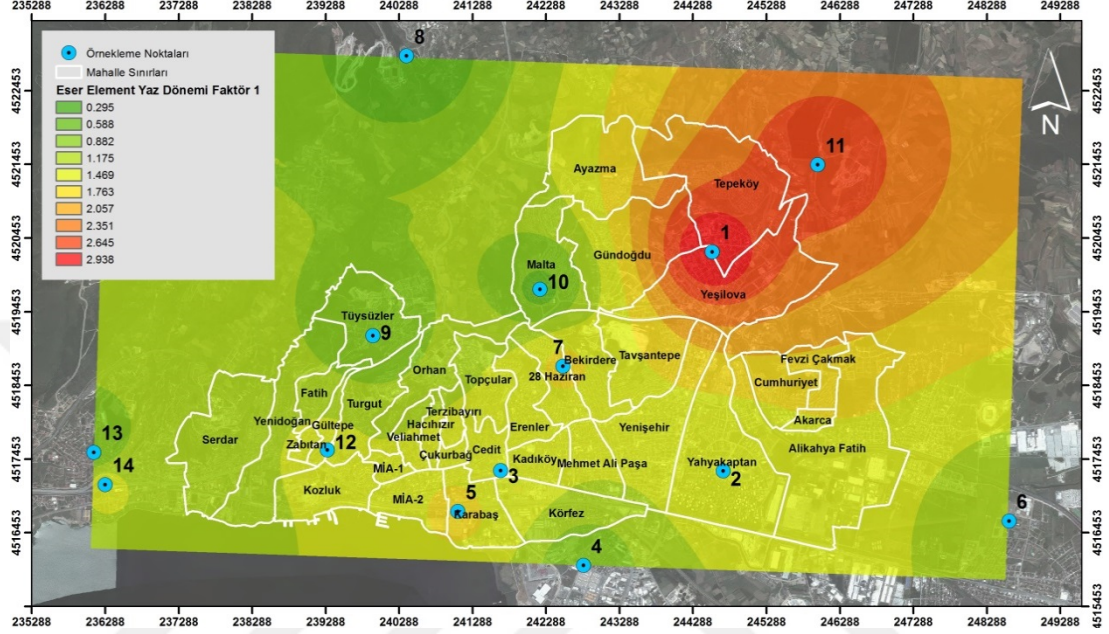
Tablo 4.19. PM_{2.5}'e bağlı Eser Elementlerin PCA ile belirlenen faktör yükleri

	Yaz					Kış					
	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6
Li						0,57	0,42	0,44	0,08	-0,05	-0,24
Mg	0,16	0,04	0,79	-0,01	0,03	0,01	0,21	0,92	-0,07	-0,03	-0,14
Al	0,82	0,07	0,21	0,04	-0,12	0,35	0,82	0,15	0,16	0,08	-0,07
Ni	0,19	0,38	0,65	-0,03	-0,01	0,01	0,06	-0,12	-0,01	0,96	-0,11
Cu	0,10	0,55	0,27	0,21	0,39	0,34	0,04	0,16	0,00	0,87	0,14
Zn	-0,02	0,73	0,30	-0,04	-0,02	0,27	-0,01	0,87	0,12	0,04	0,18
Ba	0,40	0,79	0,05	-0,04	0,21	0,51	0,46	0,46	0,17	0,10	0,37
Pb	0,08	0,32	0,64	0,33	-0,04	0,86	0,10	0,07	0,05	0,16	0,10
Cr	-0,04	-0,07	0,83	0,23	0,11						
Mn	-0,10	0,28	-0,13	-0,03	0,83	0,61	0,45	0,20	0,16	0,16	0,40
Co						0,55	0,55	0,22	0,23	0,01	-0,04
Se						0,05	0,09	-0,02	-0,12	-0,02	0,92
Rb	0,23	0,04	0,20	0,91	0,10	0,92	0,29	0,04	0,04	0,05	0,11
Cd	-0,06	0,11	0,70	0,65	0,07	0,91	0,18	0,14	0,09	0,07	-0,04
Bi						0,89	0,14	0,09	0,08	0,06	0,07
Tl	-0,07	0,56	-0,01	0,72	0,08	0,94	0,13	0,09	0,10	0,02	-0,07
Cs	0,12	-0,16	0,26	0,90	0,06	0,91	0,26	0,08	0,09	0,01	-0,02
Ti						0,31	0,85	0,02	0,18	0,03	0,22
Ge						0,83	0,24	0,23	0,12	0,20	0,12
Y	0,95	-0,04	0,08	0,06	0,15	0,31	0,88	0,10	0,23	0,02	0,08
Eu	0,85	0,19	-0,02	-0,02	0,20	0,24	0,32	0,13	0,90	0,04	-0,01
Tb	0,86	0,15	0,11	0,11	-0,06						
Ho	0,94	-0,10	-0,01	0,05	0,00	0,06	0,18	-0,04	0,97	-0,04	-0,09
Sn	0,13	0,76	0,46	0,02	0,08	0,83	0,39	0,09	0,14	0,12	0,11
Sb	-0,06	0,83	-0,16	0,16	0,11	0,79	0,43	0,15	0,08	0,06	0,09
K	-0,09	0,37	-0,23	0,48	-0,36	0,64	0,41	-0,31	-0,09	0,03	0,26
Fe	0,37	0,10	0,36	0,29	0,72	0,59	0,38	0,30	0,17	0,19	0,33
Özdeğer	4,388	3,643	3,395	3,169	1,680	9,512	4,199	2,508	2,110	1,868	1,589
Varyans (%)	20,896	17,346	16,168	15,090	7,998	38,047	16,795	10,033	8,440	7,471	6,355
Kümülatif (%)	20,896	38,242	54,409	69,500	77,498	38,047	54,843	64,876	73,317	80,787	87,142
Olası Kaynak	Toprak Kaynağı	Trafik Emisyonu	Deniz Tuzu	Yol Tozu	Endüstriyel Emisyon	Kontamine Toprak	Toprak Kaynağı	Yol Tozu	Endüstriyel Emisyon	Yanma Kaynağı	Kömür Yanma

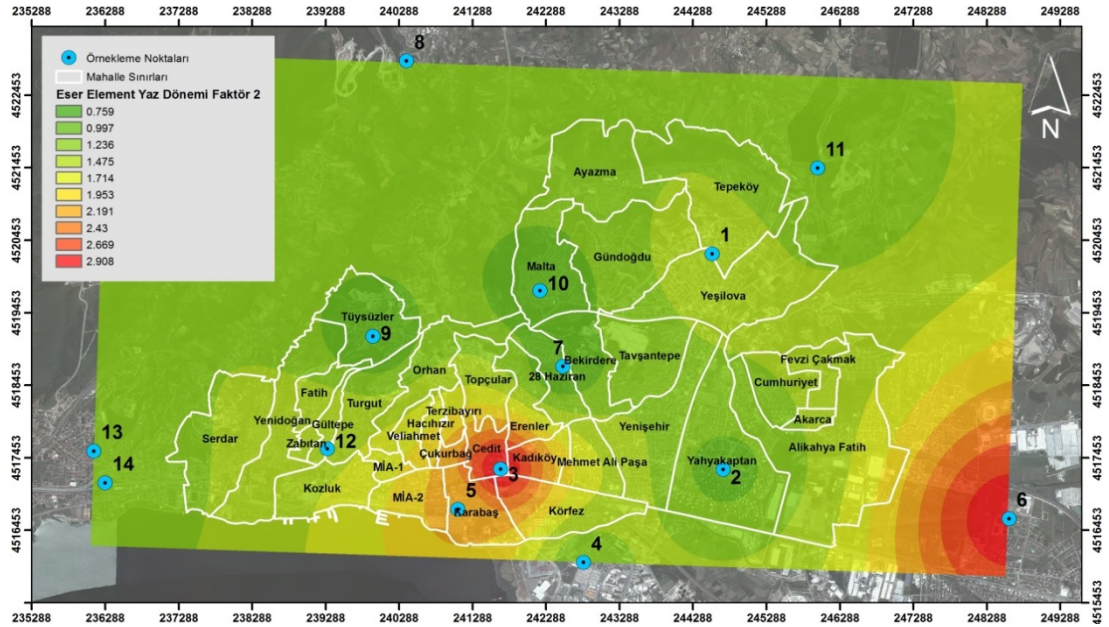
Tablo 4.20. Çeşitli kirlilik kaynakları için eser element izleri

Kaynak izleri		Element	Referans
Doğal Kaynak		Al, Mn, Ca, Si	González ve diğ., 2017
Antropojenik Kaynak		Ba, Zn, As, Cu, Cr, Ni, P ve Pb	Öztürk ve diğ., 2016; Onat ve diğ., 2013
Toprak (Kabuk)		K, Fe, Ca, Na, Al, Mg, Si, Ti	Ledoux ve diğ., 2017; Ventura ve diğ., 2017; Onat ve diğ., 2013; Öztürk ve diğ., 2016; Rivas ve diğ., 2014; Tepe ve diğ., 2020
	<i>Yol Tozu</i>	Fe, Al, Si, Ti, Ca, Mg, Mn	Sulong ve diğ., 2017; Onat ve diğ., 2013; Öztürk ve diğ., 2016; Pekey ve diğ., 2010; González ve diğ., 2017
	<i>Deniz Tuzu</i>	Na, Mg	Tepe ve diğ., 2020; Ledoux ve diğ., 2017
Endüstriyel Faaliyet	<i>Endüstriyel Emisyon</i>	Cd, As, Cu, Cr, Pb, Zn, Co, Ba, K	Rivas ve diğ., 2014; Sulong ve diğ., 2017; Ventura ve diğ., 2017
	<i>Metalürjik faaliyet</i>	Mn, Cu, Zn, Cr, Rb	Ledoux ve diğ., 2017; González ve diğ., 2017; Soleimani ve diğ., 2018
	<i>Demir-Çelik Endüstrisi</i>	Fe, Mn, Cr, Ni, Zn, Cd, Pb	Soleimani ve diğ., 2018; Li ve diğ., 2016; Ledoux ve diğ., 2017
	<i>Cam Endüstrisi</i>	As, Cr, Se, Zn	Aldabe ve diğ., 2011; Ledoux ve diğ., 2017
	<i>Rafineriler, enerji santralleri</i>	Cr, Cu, Fe, Pb	Soleimani ve diğ., 2018; Aldabe ve diğ., 2011
Yanma Emisyonları	<i>Kömür Yakma</i>	As, Pb, Zn, Sb, S	Hsu ve diğ., 2016; Öztürk ve diğ., 2016; González ve diğ., 2017
	<i>Fosil yakıt yakılması</i>	Ni, Cu	Soleimani ve diğ., 2018; Li ve diğ., 2016; Pekey ve diğ., 2010; Tepe ve diğ., 2020
	<i>Biyokütle yanması</i>	Cu, Zn, Cd, K	Sahu ve diğ., 2020; Öztürk ve diğ., 2016
	<i>Yağ yanması</i>	Ni ve V	Hsu ve diğ., 2016; Tepe ve diğ., 2020
Trafik Emisyonu	<i>Lastik aşınması, fren balatalarının, yağlayıcıların ve araç parçalarının korozyonu</i>	Cu, Zn, Sb, Ba, Fe	González ve diğ., 2017; Ledoux ve diğ., 2017; Li ve diğ., 2016; Aldabe ve diğ., 2011
	<i>Yakıt Yanması (Deniz nakliyesi)</i>	Ni, V	Salameh ve diğ., 2015; Rivas ve diğ., 2014; Pandolfi ve diğ., 2011; Ledoux ve diğ., 2017; Aldabe ve diğ., 2011
	<i>Trafik Emisyonu</i>	Pb, Zn, Cu, Ba, Cd, Cr	Onat ve diğ., 2013; Sulong ve diğ., 2017; Soleimani ve diğ., 2018; Ventura ve diğ., 2017; Hsu ve diğ., 2016; González ve diğ., 2017
	<i>Benzin Emisyonu</i>	Pb	Li ve diğ., 2016; González ve diğ., 2017; Soleimani ve diğ., 2018
	<i>Egzoz dışı trafik kaynağı</i>	Zn, Pb, Mn, Sb, Cu	Aldabe ve diğ., 2011; Ledoux ve diğ., 2017

Şekil 4.31’de faktör 2’nin mekânsal dağılımı incelendiğinde trafik yükünü temsil eden noktalar olan Cedit ve Karabaş örnekleme noktalarında baskınlık gözlemlenmiştir. Ayrıca Köseköy Dumlupınar örnekleme noktasındaki baskınlık ise TEM otoyolunun katkılarını düşündürmüştür.



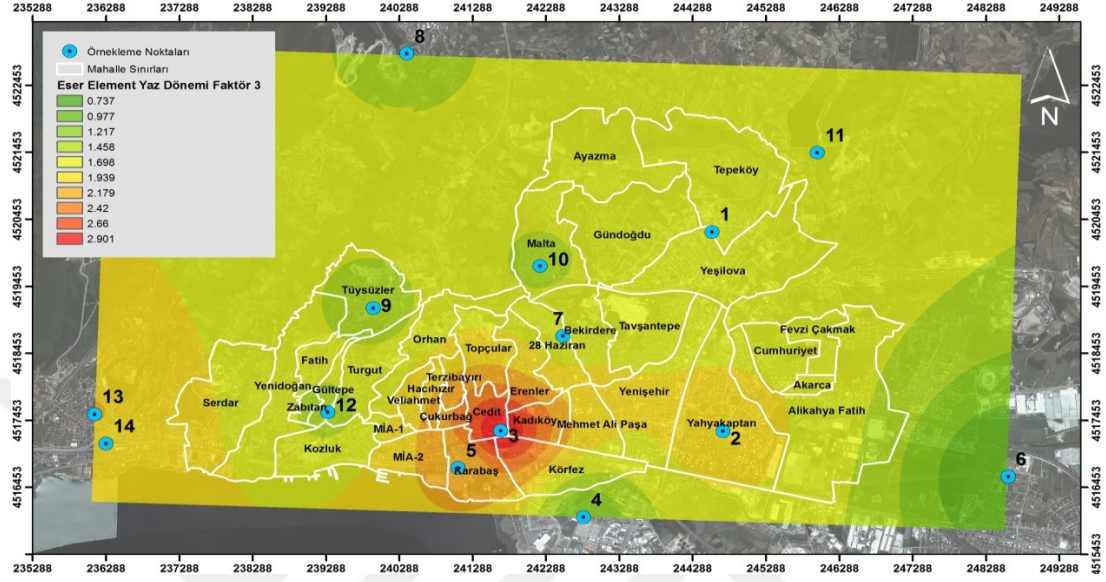
Şekil 4.30. Yaz dönemi faktör 1'in mekânsal dağılımı



Şekil 4.31. Yaz dönemi faktör 2'nin mekânsal dağılımı

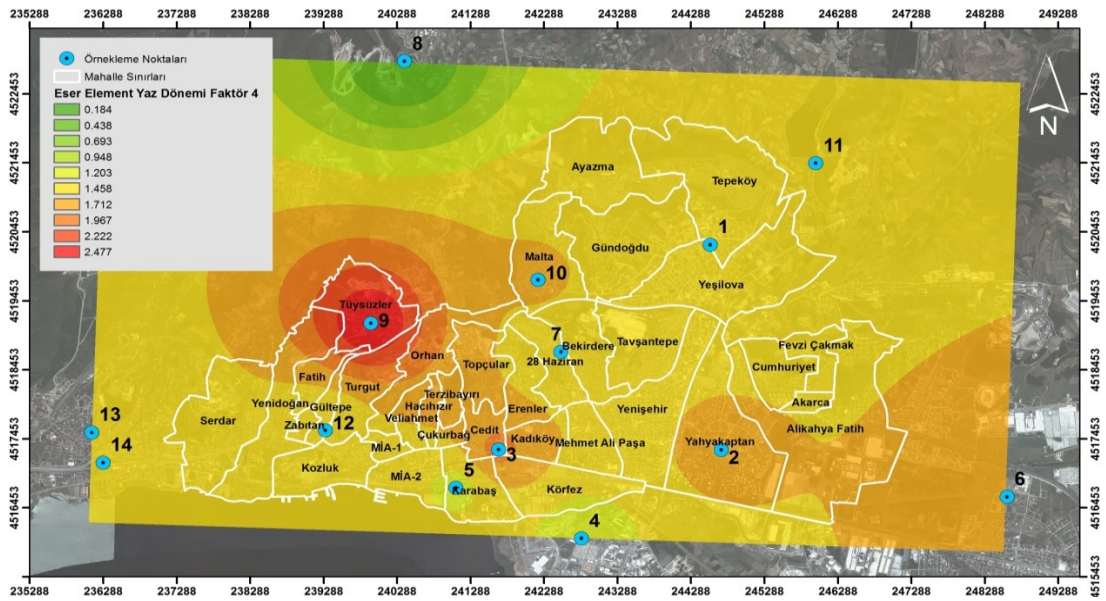
Toplam varyansa %16,17 katkı sağlayan üçüncü faktörde Mg elementinin yüksek yükü görülmüştür. Mg elementi deniz tuzu ve gemi emisyonlarından

kaynaklanmaktadır (Li ve diğ. 2016). Şekil 4.32’de faktör 3’ün mekânsal dağılımı verilmiş ve denize yakın örnekleme noktalarında bu kaynağın baskın olduğu tespit edilmiştir.



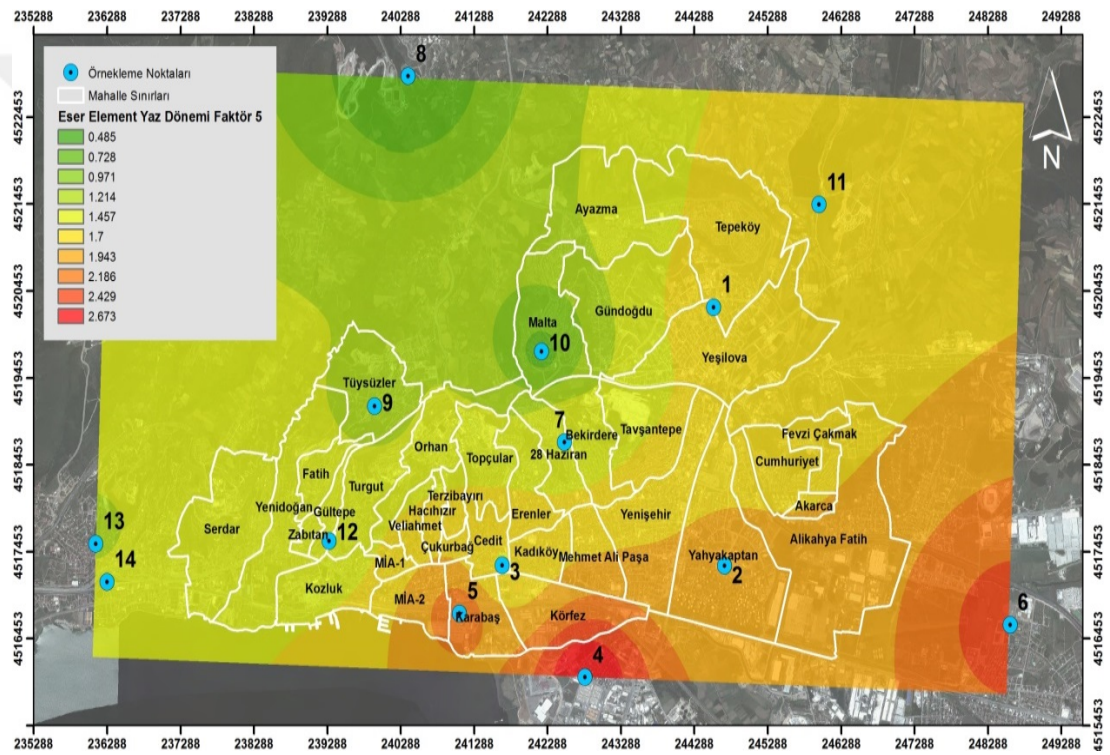
Şekil 4.32. Yaz dönemi faktör 3’ün mekânsal dağılımı

Faktör 4’te toplam varyansın %15,1’i açıklanmıştır. Rb, Cd, Tl, Cs elementlerinin yüksek yükleri belirlenmiştir. Rb, Tl ve Cs elementlerinin nadir toprak elementleri olduğu bilinmektedir (Balcılar, 2018). Bu faktörün Şekil 4.33’te mekânsal dağılımına baktığımızda Tüysüzler örnekleme noktasından baskınlık görülmüş olsa da genel olarak bakıldığında neredeyse homojen bir dağılım görülmüştür.



Şekil 4.33. Yaz dönemi faktör 4’ün mekânsal dağılımı

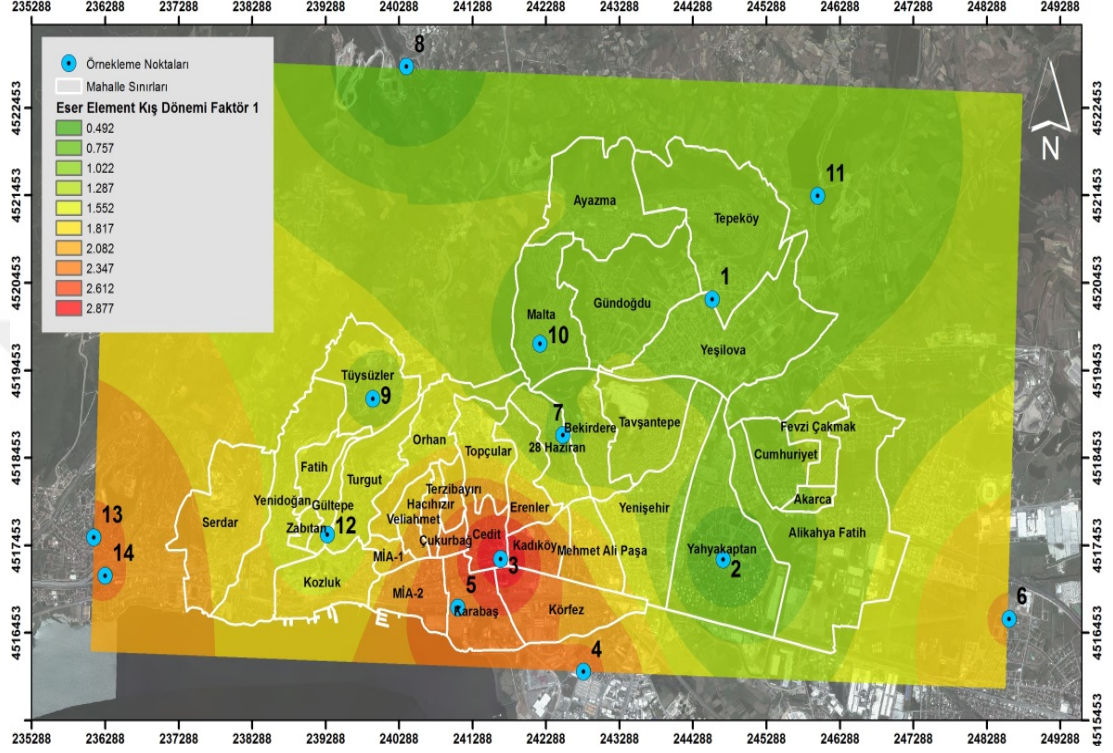
Faktör 5 toplam varyansın %8,0'ini açıklamaktadır. Partikülde Fe ve Mn, çelik ile ilgili metaller olarak kategorize edilebilir (Li ve diğ., 2016). Fe ve Mn demir çelik üretim faaliyetlerinden oluşmaktadır (Ledoux ve diğ., 2017). Ayrıca hem Fe hem de Mn, kabuk mineralleri ve yeniden süspansiyon edilmiş toprak tozu olarak doğal kaynaklardan elde edilebilir (Gonzalez ve diğ., 2017). Şekil 4.34'te bu faktörün mekânsal dağılımı incelendiğinde galvaniz ve demir çelik fabrikasına yakın Köseköy Dumlupınar örnekleme noktasında ve iki küçük sanayi sitesine yakın Sanayi örnekleme noktasındaki baskınlık bu faktörün endüstriyel emisyonlar ile ilişkili olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.34. Yaz dönemi faktör 5'in mekânsal dağılımı

Kış döneminde ilk faktör Rb, Cd, Bi, Tl, Cs, Ge, Sn, Sb, K, Fe ve Li'nin yüksek yükleri ile toplam varyansın %38,05'ini oluşturmuştur. Rb, Bi, Tl, Cs ve K elementi kömür ve odun yanma kaynaklıdır (Yenisoy Karakaş ve Tuncel, 2013). Ayrıca K, Fe, Li, Ti ve Rb gibi elementler tipik toprak kaynaklı elementlerdir (Pandolfi ve diğ., 2011). Bi, Cd ve Rb elementleri antropojenik elementler olarak tanımlanmaktadır (Amil, 2016). Sn ve Sb elementleride, genellikle kömür yanmasıyla ve özellikle trafik ile ilgili lastikler ve fren aşınmasıyla atılmaktadır (Aldabe ve diğ., 2011). Hem toprak hemde antropojenik faaliyetlerin etkisinin görülmesi bu kaynağın kontamine

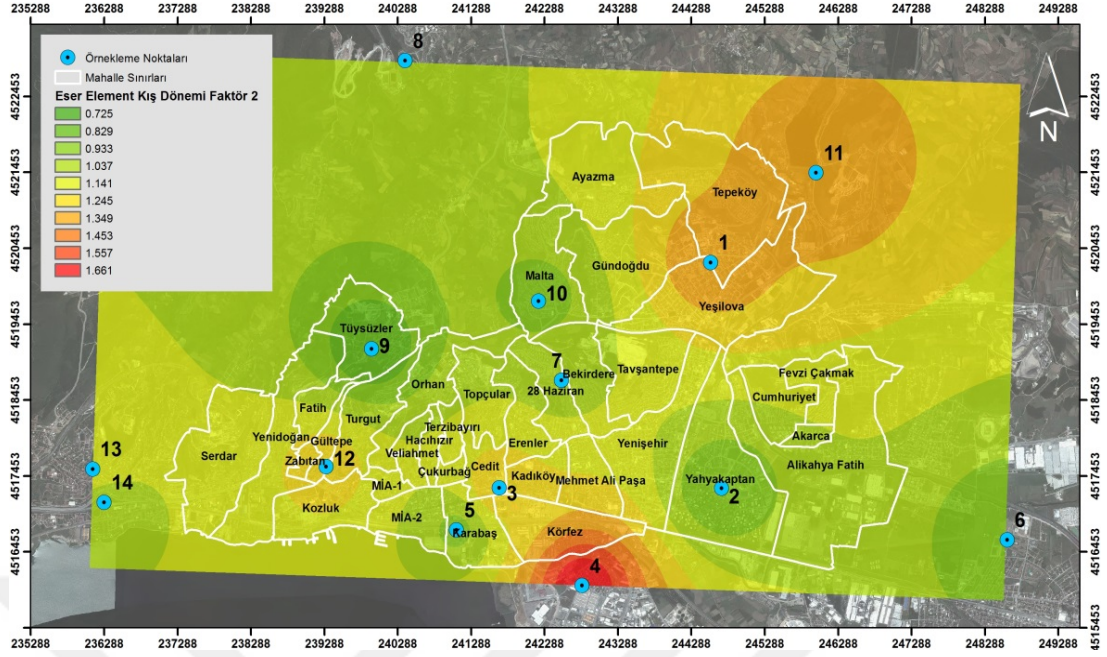
olmuş (kirlenmiş) toprak olabileceğini düşündürmektedir. Şekil 4.35'te mekânsal dağılımda incelendiğinde kent merkezinde Cedit örnekleme noktasında, sanayi sitelerine yakın Sanayi örnekleme noktasında ve trafik yükünü temsil eden Yeni örnekleme noktasında baskınlık gözlemlenmiştir.



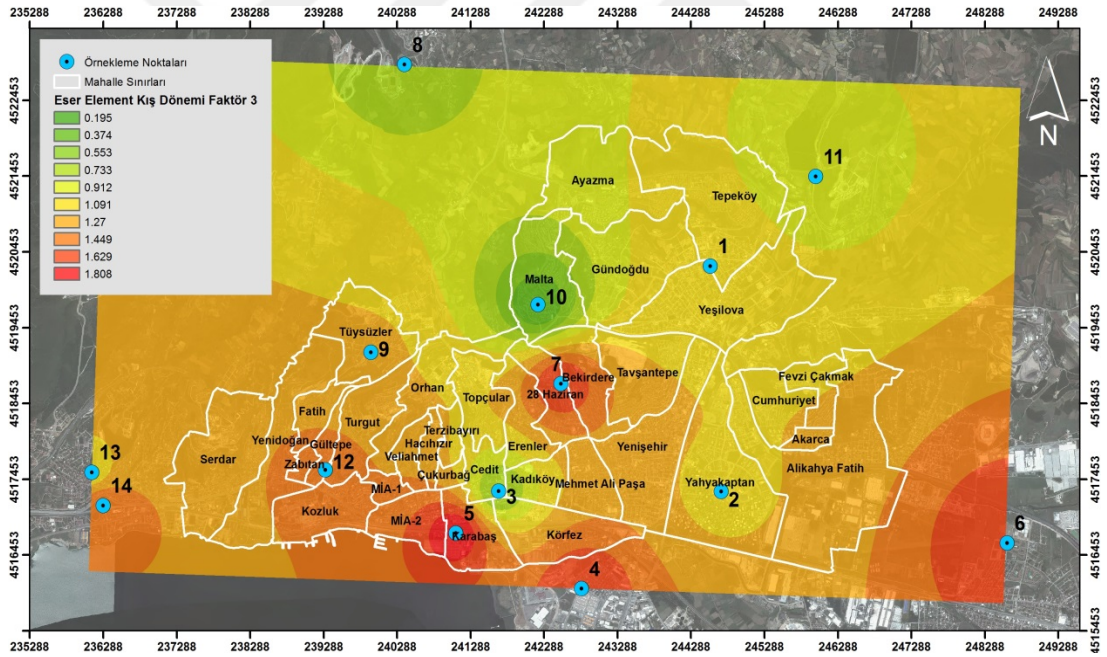
Şekil 4.35. Kış dönemi faktör 1'in mekânsal dağılımı

Varyansın %16,8'ini açıklayan ikinci faktörde Mn, Ti ve Co elementlerinin yüksek yükleri belirlenmiştir. Bu faktör toprak kaynağını temsil etmektedir. Şekil 4.36'da mekânsal dağılımı verilmiş ve incelendiğinde Sanayi, Yeşilova ve Sepetçiler örnekleme noktalarında baskınlık görülmüştür. Yaz dönemi ile karşılaştırıldığında benzer örnekleme noktalarında baskınlık söz konusu olmuştur.

Faktör 3, Mg ve Zn elementlerinin yüksek yükleri ile toplam varyansın %10,03'ünü açıklamaktadır. Zn ve Mg, ağırlıklı olarak antropojenik emisyonlardan kaynaklanmaktadır (Hsu ve diğ., 2016). Zn, trafik kaynaklarını yansıtır (Amil ve diğ., 2016). Saint-Omer PM_{2.5}'teki Zn içeriğinin %87'sini trafik kaynaklı yol tozu oluşturmuştur (Ledoux ve diğ., 2017). Şekil 4.37'de mekânsal dağılımda incelendiğinde trafik yükünü temsil eden yol kenarına yakın örnekleme yapılan Karabaş ve Yeni örnekleme noktalarında baskınlık görülmüştür.

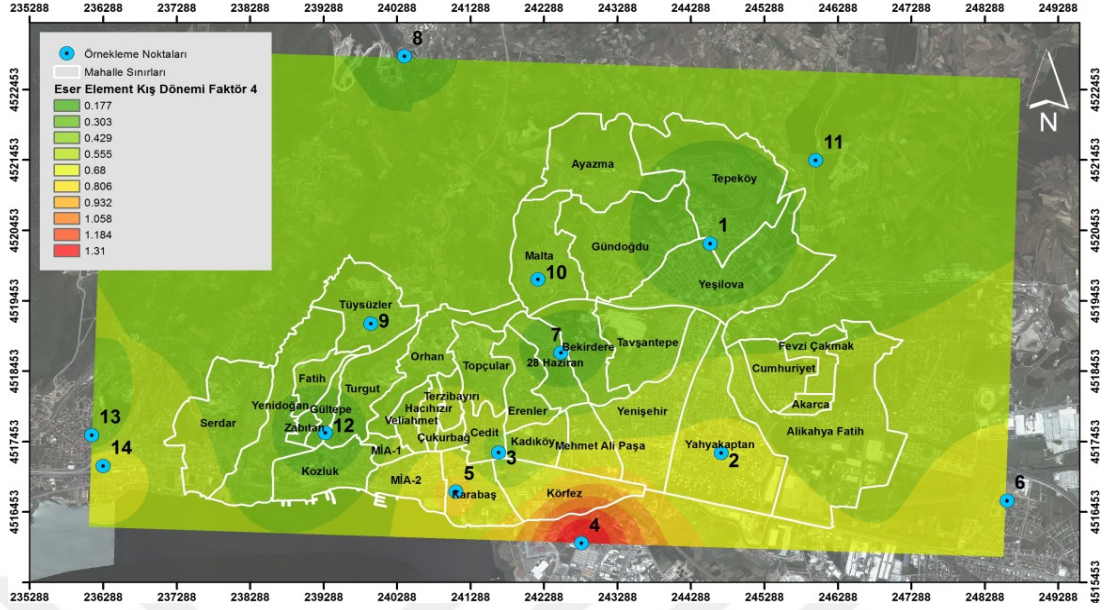


Şekil 4.36. Kış dönemi faktör 2'nin mekânsal dağılımı



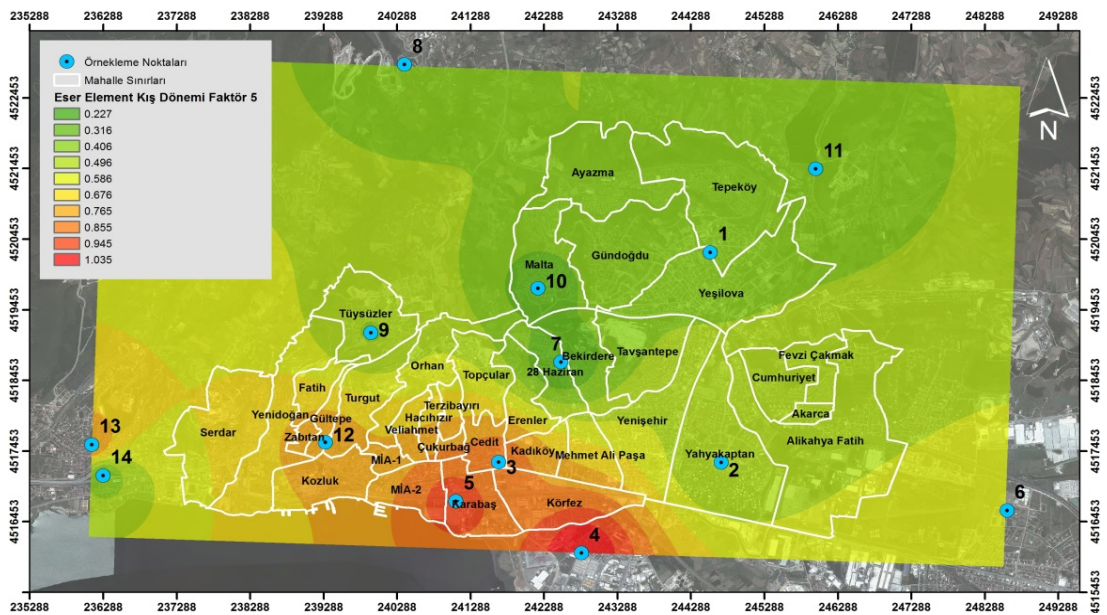
Şekil 4.37. Kış dönemi faktör 3'ün mekânsal dağılımı

Faktör 4 toplam varyansın %8,44'ünü oluşturmuştur. Bu faktörde endüstriyel faaliyetlerle ilişkili Eu ve Ho elementlerinin yüksek yükleri gözlemlenmiştir (Balcılar, 2018). Şekil 4.38'de mekânsal dağılımına da bakıldığında Sanayi, Karabaş ve Yeni örneklem noktalarında baskınlık tespit edilmiştir. Yeni örneklem noktası trafik yükünü temsil etsede örneklem noktasına yakın piston ve pim üretim fabrikası bu faktöre katkı sağlamış olabilir.



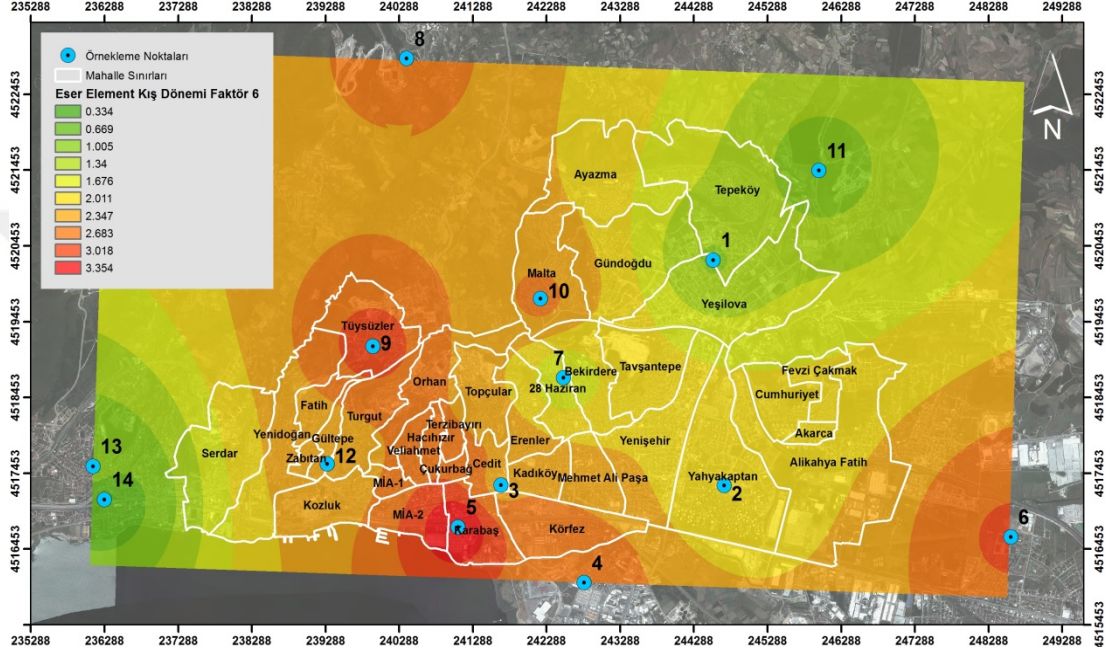
Şekil 4.38. Kış dönemi faktör 4'ün mekânsal dağılımı

Toplam varyansın %7,47'sini oluşturan beşinci kaynakta yüksek Ni ve Cu yükleri görülmüştür. Ni ve Cu kentsel atmosferde kömür ve fuel-oil gibi yakıtların yakılmasından oluşmaktadır (González ve diğ., 2017; Turalıoğlu ve diğ., 2008). Ayrıca bu elementler rafineri ve petrokimya komplekslerinde petrol yanmasını temsil etmektedir (Kara ve diğ., 2015). Faktörün Şekil 4.39'da mekânsal dağılımı verilmiş ve Sanayi, Kuruçeşme Kocatepe, Cedit ve Karabaş örnekleme noktalarında baskın olduğu görülmüştür. Örnekleme alanının petrol işleme rafinerisine yakın olması bu kaynağı etkilediğini düşündürmüştür.



Şekil 4.39. Kış dönemi faktör 5'in mekânsal dağılımı

Faktör 6 Se ile ilişkili toplam varyansın %6,36'sını oluşturmuştur. Selenyum kömür yanması sonucu atmosfere atılmaktadır (Karakaş, 2013). Bu faktör kömür yakma ile ilişkilidir. Şekil 4.40'da mekânsal dağılımına bakıldığında da nüfusun yoğun olduğu kent merkezine yakın noktalarda baskınlık belirlenmiştir. Son yıllarda ısıtma amaçlı odun ve kömür kullanımından doğalgaza geçiş yaşanmış olsa da bazı bölgelerde altyapı problemleri nedeni ile hala ısıtma amaçlı odun ve kömür kullanılmaktadır.



Şekil 4.40. Kış dönemi faktör 6'nın mekânsal dağılımı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kocaeli ilinin, İzmit ilçesinden seçilen 14 örnekleme noktasında PM_{2.5}'e bağlı PAH'ların ve eser elementlerin yaz ve kış dönemi konsantrasyonları belirlenmiştir. Yaz dönemi 42 örnek ve kış dönemi 42 örnek olmak üzere toplam 84 örnek analiz edilmiştir. Kış ve çalışma dönemi ortalama PM_{2.5} konsantrasyonlarının, 2008/50/EC sayılı Avrupa Direktifi ile insan sağlığının korunması için belirlenen yıllık PM_{2.5} sınır değerini aştığı görülürken, yaz döneminde daha çok trafiğin yoğun olduğu bölgelerde sınır değerini aştığı belirlenmiştir. Çalışma döneminde özellikle trafik ve kömür yakmanın yoğun olduğu bölgeler olan Cedit ve Sanayi Mahallelerinde PM_{2.5} konsantrasyon seviyelerinin en yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. PM_{2.5} konsantrasyonlarında yaz döneminden kış dönemine belirgin bir artış (K/Y, 1,36-5,69) gözlemlenmiştir. Toprak tozunun ve inşaat faaliyetlerinin olduğu örnekleme noktalarında yaz döneminde kış dönemine göre daha yüksek PM_{2.5} konsantrasyonları tespit edilmiştir.

\sum_{16} PAH konsantrasyonu 8,598 ng/m³ olarak bulunmuş ve ülkemizde yapılan çalışmaların verilerinin altında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmanın PAH verilerinin birçok ülkede kentsel örnekleme noktalarında yapılan çalışmaların verilerinden daha düşük ya da benzer olduğu görülmüştür. PM_{2.5}'te baskın PAH'ların BaP, BbF, Chy, BgP ve Pyr olduğu belirlenirken, özellikle yüksek molekül ağırlıklı PAH bileşiklerinin (%56) PM_{2.5}'te daha baskın olduğu tespit edilmiştir. Yıllık ortalama BaP konsantrasyonu, DSÖ sınır değerinin çok az üzerinde bulunmuştur. Kent merkezine yakın 6 örnekleme noktasında DSÖ sınır değerleri aşılmıştır. Genel olarak BaP konsantrasyonlarında kış döneminde artış yaşanmıştır. Yeşilova ve Malta örnekleme noktalarının kış dönemi örnekleme noktalarının yağışlı dönemde gerçekleşmesi, bu dönemde BaP konsantrasyonlarında düşüşe neden olduğu düşünülmüştür. Düşük molekül ağırlıklı PAH bileşikleri yaz döneminde daha baskın olduğu görülmüştür. Yanma kaynaklı PAH bileşik konsantrasyonlarının kış döneminde yaz dönemine göre artması, kışın evsel ısıtma amaçlı fosil yakıt tüketiminin etkisini göstermiştir. Toplam PAH konsantrasyonlarında kış döneminde, yaz dönemine göre

yaklaşık 1-53 katlık artış mevsimsel değişimi desteklemiştir. PM_{2.5}'teki PAH'ların mekânsal dağılımı incelendiğinde, Sanayi ve Gültepe örnekleme noktaları haricinde diğer kentsel örnekleme alanlarından trafiğe yakın olan örnekleme alanları daha yüksek konsantrasyonlar göstermiştir. Sanayi ve Gültepe örnekleme noktaları ise trafik yoğunluğunun yanında ısınma amaçlı kömür tüketiminin oldukça yoğun olduğu bölgeler olması nedeniyle yüksek konsantrasyonlara neden olmuştur. Çalışma dönemi baskın PAH bileşiklerinin mekânsal dağılımına göre BbF, BgP ve BaP'nin Gültepe, Cedit, Sanayi ve Karabaş örnekleme noktalarında baskın olduğu görülmüştür. Chy'nin yüksek konsantrasyonları Gültepe, Cedit, Sanayi, Kuruçeşme Kocatepe ve Yeni örnekleme noktalarında gözlemlenmiştir. Pyr ise baskın olan dört kirleticiden farklı olarak Gültepe, Yeni, Kocatepe ve Köseköy Dumlupınar noktalarında yüksek konsantrasyonlar göstermiştir. MDR sonuçları PM_{2.5}'teki PAH'ların ana kaynaklarının trafik emisyonu, kömür yakma kaynağı ve petrojenik kaynak olduğunu göstermiştir. Yaz dönemi MDR sonuçları trafik emisyonlarının baskınlığı gösterirken, kış döneminde bu kaynağa ek olarak kömür yakma kaynağını göstermiştir. PAH'ların kaynak tanımlamasında MDR'ye ek olarak yapılan PCA analizi ile yaz ve kış dönemi sırasıyla kümülatif varyansın %80,75'ini oluşturan iki kaynak ve kış döneminde %95,89'unu oluşturan altı kaynak belirlenmiştir. İlk faktör, yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin baskınlığı (toplam varyansın %38,22'si) ile trafik emisyonlarını göstermiştir. Mekânsal olarak bakıldığında bu kaynağa en yüksek katkıların trafiğe yükünü temsil eden noktalar olan Cedit ve Karabaş örnekleme noktalarından sağlanması trafik emisyon kaynağını doğrulamıştır. Yaz döneminde ikinci kaynak Ant, Chy, Pyr, BaA, BbF gibi bileşiklerin Köseköy Dumlupınar ve Sanayi örnekleme noktalarında baskınlığı ile endüstriyel emisyon kaynağı olduğu düşünülmüştür. Kış döneminde ilk faktör trafik yükünü temsil eden noktalar olan Yeni, Cedit ve Karabaş örnekleme noktalarında DahA, IcP, BaP, BgP, BkF, Chy, BaA gibi trafik emisyonunun izleyicileri olan bileşiklerin baskınlığı ile trafik emisyon kaynağı olarak tanımlanmıştır. İkinci faktörde kömür ve odun yakma kaynağının izleyicileri olan Flt, Phe, Pyr, Ant bileşiklerinin baskınlığı belirlenmiş ve villalar ve gecekonduların yoğun olduğu bölgeler yüksek katkı sağlamıştır. Üçüncü faktörde ise petrojenik kaynağın izleyicileri olan Nap ve Ace'nin yüksek yükleri belirlenmiş ve sanayi sitelerine yakın örnekleme noktasının yüksek katkıları gözlemlenmiştir.

PM_{2.5}'teki eser elementlerden Ca, K, Fe, Na, Mg, P, Al ve Zn elementlerinin en yüksek ortalama konsantrasyonlara (ng/m³) sahip elementler olduğu belirlenmiştir. Bu sekiz elementin toplam konsantrasyonu eser element konsantrasyonlarının yaklaşık %95'ini oluşturmuştur. Çalışma döneminde Cd, Pb, Mn ve Ni için elde edilen ortalama konsantrasyonların, Avrupa Direktifleri ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından kentsel alanlar için belirlenen sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Yaz dönemi eser elementlerin örnekleme noktalarındaki en yüksek konsantrasyonları K ve Ca elementlerinde görülürken, kış döneminde örnekleme noktalarındaki baskın eser elementler değişim göstermiştir. PM_{2.5} fraksiyonunda Al, Fe ve Ti gibi toprak kaynaklı elementlerin yaz döneminde (Y/K>1), Zn, Cu, P, Pb ve Se gibi antropojenik elementlerin kış döneminde (Y/K<1) yüksek konsantrasyonlar gösterdiği belirlenmiştir. PM_{2.5}'e bağlı eser elementlerin konsantrasyonları ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında toprak kaynaklı elementlerin (Al, Ca, Ti, Mg, Fe vb.) daha düşük ya da benzer seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Antropojenik elementler karşılaştırıldığında ise özellikle trafik kaynaklı Pb ve Cu elementleri diğer çalışmaların verilerinden daha düşükken (Avrupa hariç), Zn ve Sb diğer çalışmaların verilerinden daha yüksek seviyeler göstermiştir. Eser elementlerin yaklaşık %73'ü kış döneminde daha yüksek ZF seviyeleri göstermiş ve bu antropojenik faktörlerin bu elementlere daha fazla katkı sağladığını göstermiştir. ZF seviyelerine göre Ba, Mn, Ce, Na, K gibi elementlerde mevsimsel değişim gözlemlenmiştir. Ba, Mn, Na ve K'nın yaz döneminde kabuksal kaynaklı, kış döneminde karışık kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Çalışma dönemi ZF seviyeleri Li, Be, Mg, Al, Rb, Cs, Y, Eu, Tb, Ho, Lu ve Fe elementleri için kabuk kaynağını (ZF<10), Ni, Cr, Co, Tl, Cs, La, Ca ve P elementleri için karışık kaynak katkısını (10<ZF<100) ve Cu, Zn, Pb, Se, Cd, Bi, Mo, Rh, Sn, Sb ve Pt elementleri için antropojenik kaynakları (ZF>100) işaret etmiştir. PCA analizi ile yaz döneminde beş faktör kış döneminde 6 faktör belirlenmiştir. Yaz dönemi ilk faktörde toprak bileşenlerinin (Al, Y, Eu, Tb, Ho) yüksek yükleri belirlenmiş ve toprak tozunun yoğun olduğu Yeşilova ve Sepetçiler örnekleme noktalarının bu faktöre yüksek katkı sağladığı belirlenmiştir. İkinci faktörde Cu, Zn, Ba, Tl, Sn ve Sb gibi trafik emisyonları ve endüstriyel emisyonlar ile ilgili elementlerin yüksek yükleri belirlenmiştir. Mekânsal dağılımı incelendiğinde trafik yükünü temsil eden örnekleme noktalarındaki baskınlık trafik emisyon kaynağını işaret etmiştir. Üçüncü

faktörde deniz tuzu ve gemi emisyonları ile ilgili Mg elementinin baskınlığı belirlenmiş ve denize yakın örnekleme noktaları yüksek katkı sağlamıştır. Faktör 4'te Rb, Tl ve Cs gibi nadir toprak elementlerinin baskınlığı görülmüştür. Faktör 5'te hem demir-çelik üretimi hem de toprak tozunun izleyicileri olan Fe ve Mn elementlerinin yüksek yükleri belirlenmiştir. Endüstriyel bölgelerin yüksek katkıları (galvaniz ve demir-çelik üretim fabrikalarına) ile bu faktör endüstriyel emisyon olarak düşünülmüştür. Kış döneminde ilk faktör hem toprak kaynaklı hem de antropojenik emisyonlarının izleyicileri olan elementlerin (Rb, Cd, Bi, Tl, Cs, Ge, Sn, Sb, K, Fe, Li) yüksek yükleri nedeniyle kontamine olmuş toprak kaynağı olarak düşünülmüştür. İkinci kaynak ise Mn, Ti ve Co gibi toprak kaynağının izleyicileri olan elementlerin baskınlığı ve toprak tozunun yoğun olduğu bölgelerin yüksek katkıları nedeniyle toprak kaynağı olarak tanımlanmıştır. Faktör 3, yol tuzunun izleyicileri olan Zn ve Mg elementlerinden oluşmuş ve trafik yükünü temsil eden ve yola yakın olan örnekleme noktalarının yüksek katkıları ile yol tozu olarak tanımlanmıştır. Dördüncü faktöre piston ve pim üretim fabrikası yüksek katkı sağlamış ve Eu ve Ho elementlerinin yüksek yükleri görülmüştür. Faktör 5'te petrol yanmasının izleyicileri olan elementlerin yüksek yükleri belirlenmiş ve trafik yükünü temsil eden ve sanayi sitelerine yakın örnekleme noktalarının yüksek katkıları görülmüştür. Son olarak faktör 6 kömür yanması sonucu atmosfere karışan Se elementinin baskınlığı görülmüş ve nüfusun yoğun olduğu kent merkezine yakın noktaların yüksek katkıları belirlenmiştir. Son yıllarda kömürden doğal gaz geçiş yaşanmış olsa da, altyapı problemleri nedeniyle ısıtma amaçlı kömür kullanımı hala devam etmektedir.

KAYNAKLAR

Act No. 97, Air Pollution Control Act, Ministry of the Environment, Japan, 1968.

Act No. 14532, Clean Air Conservation Act, Ministry of Environment, South Korea, 2017.

Akhbarizadeh R., Dobaradaran S., Amouei Torkmahalleh M., Saeedi R., Aibaghi R., Faraji Ghasemi F., Suspended Fine Particulate Matter (PM_{2.5}), Microplastics (Mps), and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Air: Their Possible Relationships and Health Implications, *Environmental Research*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110339>.

Akyüz M., Çabuk H., Particle-Associated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Atmospheric Environment of Zonguldak, Turkey, *Science of the Total Environment*, 2008, **405**(1–3), 62–70.

Akyüz M., Çabuk H., Meteorological Variations of PM_{2.5}/PM₁₀ Concentrations and Particle-Associated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Atmospheric Environment of Zonguldak, Turkey, *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **170**(1), 13–21.

Akyüz M., Çabuk H., Gas-Particle Partitioning and Seasonal Variation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Atmosphere of Zonguldak, Turkey, *Science of the Total Environment*, 2010, **408**(22), 5550–5558.

Alam K., Rahman N., Khan H. U., Haq B. S., Rahman S., Particulate Matter and its Source Apportionment in Peshawar, Northern Pakistan, *Aerosol and Air Quality Research*, 2015, **15**(2), 634–647.

Aldabe J., Elustondo D., Santamaría C., Lasheras E., Pandolfi M., Alastuey A., Querol X., Santamaría, J. M., Chemical Characterisation and Source Apportionment of PM_{2.5} and PM₁₀ at Rural, Urban and Traffic Sites in Navarra (North Of Spain), *Atmospheric Research*, 2011, **102**(1–2), 191–205.

Alver E., Demirci A., Özcimder M., Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Sağlığa Etkileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2012, **3**(1), 45-52.

Alves C. A., Vicente A. M., Custódio D., Cerqueira M., Nunes T., Pio C., Lucarelli F., Calzolari G., Nava S., Diapouli E., Eleftheriadis K., Querol X., Musa Bandowe B. A., Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and their Derivatives (Nitro-PAHs, Oxygenated PAHs, and Azaarenes) in PM_{2.5} From Southern European Cities, *Science of the Total Environment*, 2017, **595**, 494–504.

Amatullah H., North M. L., Akhtar U. S., Rastogi N., Urch B., Silverman F. S., Chow C. W., Evans G. J., Scott J. A., Comparative Cardiopulmonary Effects of Size-fractionated Airborne Particulate Matter, *Inhalation Toxicology*, 2012, **24**(3), 161–171.

Amil N., Latif M. T., Khan M. F., Mohamad M., Seasonal Variability of PM_{2.5} Composition and Sources in the Klang Valley Urban-Industrial Environment, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, **16**(8), 5357–5381.

Anderson H. R., Air pollution and mortality: A history, *Atmospheric Environment*, 2009, **43**, 142-152.

Andreou G., Rapsomanikis S., Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and their Oxygenated Derivatives in the Urban Atmosphere of Athens, *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **172**(1), 363–373.

Arı A., Ertürk P., Gaga E. O., Yarı-Kentsel bir Bölgede Toplanan PM_{2.5} Örneklerinin Kimyasal Bileşiminin Belirlenmesi, *6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 7-9 Ekim 2015.

Aslan Kılavuz S., İmamoğlu İ., Tuncel S. G., Hava Kalitesine Yönelik , Kaynak Belirleme Çalışmaları ile Saptanabilen Kaynak Gruplarının Farklı Doğal İzleyiciler (Tracer) Kullanılarak Arttırılması, *TÜBİTAK*, Rapor No: 112Y036, 1-269, 2017.

Aslan Kılavuz S., Tuncel S. G., Doğu Karadeniz Bölgesi Aerosolünde Ölçülen Elementlerin Kaynak Bölgelerinin İncelenmesi, *Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)*, 112Y378, 1-87, 2014.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, U. S. Department of Health and Human Services, Atlanta, Georgia, 1995.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), T Toxicological Profile for Cadmium, U. S. Department of Health and Human Services, Atlanta, Georgia, 2012.

Balcılar İ., Chemical Composition of Atmospheric Particles as a Tool to Identify Sources Affecting Aerosol Population in the Eastern Black Sea Atmosphere, Doctoral Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2018, 503464.

Banerjee T., Kumar M., Singh N., Aerosol, Climate, and Sustainability, Editors: Dellasala D. A., Goldstein M. I., *Encyclopedia of the Anthropocene*, 1st ed., Elsevier Inc., United State, 419-428, 2017.

Barbieri M., the Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination, *Journal of Geology Geophysics*, 2016, **5**(1), 1–4.

Barrado A. I., García S., Barrado E., Pérez R. M., PM_{2.5}-bound PAHs and Hydroxy-PAHs in Atmospheric Aerosol Samples: Correlations with Season and with Physical and Chemical Factors, *Atmospheric Environment*, 2012 **49**, 224–232.

Bayraktar H., Turalioğlu F. S., Tuncel G., Average Mass Concentrations Of TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} in Erzurum Urban Atmosphere, Turkey, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2010, **24**(1), 57–65.

Bell M. L., Belanger K., Ebisu K., Gent J. F., Lee H. J., Koutrakis P., Leaderer B. P., Prenatal Exposure to Fine Particulate Matter and Birth Weight: Variations by Particulate Constituents and Sources, *Epidemiology*, 2010, **21**(6), 884–891.

Betha R., Pavagadhi S., Sethu S., Hande M. P., Balasubramanian R., Comparative in Vitro Cytotoxicity Assessment of Airborne Particulate Matter Emitted from Stationary Engine Fuelled with Diesel and Waste Cooking Oil-Derived Biodiesel, *Atmospheric Environment*, 2012, **61**, 23–29.

Bjørseth A., Ramdahl T., Sources and Emissions of PAH, Editors: Bjørseth A., Ramdahl T., *Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Emission Sources and Recent Progress in Analytical Chemistry*, 1st ed., Marcel Dekker, United States of America, 1-20, 1985.

Bolognin S., Messori L., Zatta P., Metal Ion Physiopathology in Neurodegenerative Disorders. *Neuromolecular Medicine*, 2009, **11**(4), 223–238.

Boogaard, H., Kos, G. P. A., Weijers, E. P., Janssen, N. A. H., Fischer, P. H., Zee, S. C. Van Der, Hartog, J. J. De, Hoek, G., Contrast in air pollution components between major streets and background locations: Particulate matter mass, black carbon, elemental composition, nitrogen oxide and ultra fine particle number, *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(3), 650–658.

Bozkurt Z., PM₁₀ ve PM_{2.5} Boyutundaki Atmosferik Partiküllerin Bölgesel, Mevsimsel Değişimlerinin ve Meteorolojik Parametrelerle İlişkilerinin İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2018, **6**, 1305-1320.

Bragato M., Joshi K., Carlson J. B., Tenório J. A. S., Levendis Y. A., Combustion of Coal, Bagasse and Blends there of: Part II: Speciation of PAH Emissions, *Fuel*, 2012, **96**, 51–58.

Bralewska K., Rogula-Kozłowska W., Health Exposure of users of Indoor Sports Centers Related to the Physico-Chemical Properties of Particulate Matter, *Building and Environment*, 2020, **180**, 1–22.

Brauer M., Amann M., Burnett R. T., Cohen A., Dentener F., Ezzati M., Henderson S. B., Krzyzanowski M., Martin R. V., Dingenen R. V., Van Donkelaar A., Thurston G. D., Exposure Assessment for Estimation of the Global Burden of Disease Attributable to Outdoor Air Pollution, *Environmental Science and Technology*, 2012, **46**(2), 652–660.

CAAQS, California Ambient Air Quality Standard, California Air Resources Board, 2016.

CEPA/FPAC, National Ambient Air Quality Objectives For Particulate Matter, Environmental Health Directorate, Ontario, 1998.

Callén M. S., Iturmendi A., López J. M., Source Apportionment of Atmospheric PM_{2.5}-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by a PMF Receptor Model. Assessment of Potential Risk for Human Health, *Environmental Pollution*, 2014, **195**, 167–177.

Carey I. M., Anderson H. R., Atkinson R. W., Beevers S. D., Cook D. G., Strachan D. P., Dajnak D., Gulliver J., Kelly F. J., Are Noise and Air Pollution Related to the Incidence of Dementia? A Cohort Study in London, England, *BMJ Open*, 2018, **8**(9), 1–11.

Carle D., *Introduction to Air in California*, 1st ed., University of California Press, Ltd., London, England, 2006.

Chen C. R., Lai H. C., Liao M. I., Hsiao M. C., Ma H., Health Risk Assessment of Trace Elements of Ambient PM_{2.5} under Monsoon Patterns, *Chemosphere*, DOI: <https://doi.org/10.1016/J.chemosphere.2020.128462>.

Chen Y. C., Chiang H. C., Hsu C. Y., Yang T. T., Lin T. Y., Chen M. J., Chen N. T., Wu Y. S., Ambient PM_{2.5}-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Changhua County, Central Taiwan: Seasonal Variation, Source Apportionment and Cancer Risk Assessment. *Environmental Pollution*, 2016, **218**, 372–382.

Cheng S., Lang J., Zhou Y., Han L., Wang G., Chen D., A New Monitoring-Simulation-Source Apportionment Approach For investigating The Vehicular Emission Contribution to the PM_{2.5} Pollution in Beijing, China, *Atmospheric Environment*, 2013, **79**, 308–316.

Choung S., Oh J., Han W. S., Chon C. M., Kwon Y., Kim D. Y., Shin W., Comparison of Physicochemical Properties Between Fine (PM_{2.5}) and Coarse Airborne Particles at Cold Season in Korea, *Science of the Total Environment*, 2016, **541**, 1132–1138.

Choi, J., Heo, J., Ban, S., Yi, S., Zoh, K., Source apportionment of PM_{2.5} at the coastal area in Korea, *Science of the Total Environment*, 2013, **447**, 370–380.

Chu C., Zhang H., Cui S., Han B., Zhou L., Zhang N., Sua X., Niu Y., Chend W., Chene R., Zhang R., Zheng Y., Ambient PM_{2.5} Caused Depressive-Like Responses Through Nrf2/NLRP3 Signaling Pathway Modulating Inflammation, *Journal of Hazardous Materials*, 2019, **369**, 180–190.

Civan M., Kara M., Risk assessment of PBDEs and PAHs in house dust in Kocaeli, Turkey: levels and sources, *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, **23**(23), 1-16.

Colbeck I., Lazaridis M., Introduction, Editors: Lazaridis M., Colbeck I., *Aerosol Science: Technology and Applications*, 1st ed., John Wiley & Sons, United Kingdom, 1-14, 2014a.

Colbeck I., Lazaridis M., Air Pollution and Health and the Role of Aerosols, Editors: Goodman P., Hänninen O., *Aerosol Science: Technology and Applications*, 1st ed., John Wiley & Sons, United Kingdom, 207-220, 2014b.

CŞB (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), Kocaeli İli 2013 Yılı Çevre Durum Raporu, Kocaeli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2014.

CŞB (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), Kocaeli İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu, Kocaeli Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2020.

Das R., Khezri B., Srivastava B., Datta S., Sikdar P. K., Webster R. D., Wang X., Trace Element Composition of PM_{2.5} and PM₁₀ From Kolkata–A Heavily Polluted Indian Metropolis, *Atmospheric Pollution Research*, 2015, **6**(5), 742–750.

De Miranda R. M., De Fatima andrade M., Fornaro A., Astolfo R., De andre P. A., Saldiva P., Urban Air Pollution: A Representative Survey of PM_{2.5} Mass Concentrations in Six Brazilian Cities, *Air Quality, Atmosphere and Health*, 2012, **5**(1), 63–77.

Demir T., Yenisoy-Karakaş S., Karakaş D., PAHs, Elemental and Organic Carbons in a Highway Tunnel Atmosphere and Road Dust: Discrimination of Diesel and Gasoline Emissions, *Building and Environment*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106166>.

Deng J., Guo J., Zhou X., Zhou P., Fu X., Zhang W., Lin K., Hazardous Substances in Indoor Dust Emitted from Waste TV Recycling Facility, *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, **21**(12), 7656–7667.

Dieme D., Cabral-Ndior M., Garçon G., Verdin A., Billet S., Cazier F., Courcot D., Diouf A., Shirali P., Relationship Between Physicochemical Characterization and Toxicity of fine Particulate Matter (PM_{2.5}) Collected in Dakar City (Senegal), *Environmental Research*, 2012, **113**, 1–13.

Ding X., Wang X. M., Xie Z. Q., Xiang C. H., Mai B. X., Sun L. G., Zheng M., Sheng G. Y., Fu J. M., Pöschl U., Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Observed over the North Pacific Ocean and the Arctic Area: Spatial Distribution and Source Identification, *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(10), 2061–2072.

Dobaradaran S., Soleimani F., Nabipour I., Saeedi R., Mohammadi M. J., Heavy Metal Levels of Ballast Waters in Commercial Ships Entering Bushehr Port Along the Persian Gulf, *Marine Pollution Bulletin*, 2018, **126**, 74–76.

Dongarrà G., Manno E., Varrica D., Lombardo M., Vultaggio M., Study on Ambient Concentrations of PM₁₀, PM_{10-2.5}, PM_{2.5} and Gaseous Pollutants. Trace Elements and Chemical Speciation of Atmospheric Particulates, *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(39), 5244–5257.

Dursun Ş., Ayturan Z. C., Kunt F., Ulusoy Ç., Çimen Mesutoğlu Ö., Selçuk Üniversitesi Yerleşkesi Açık Alanlarda Ortam PM_{2.5} Seviyesinin Belirlenmesi, *VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, 1-3 Kasım 2017, 190–202.

Dutta T. K., Mukta V., Trace Elements, *Medicine Update*, 2012, **6**(10), 353-357.

EEA (European Environment Agency), European Union emission inventory report 1990–2014 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP), European Environment Agency, 16/2016, 1-122, 2016.

Eeftens, M., Tsai, M. Y., Ampe, C., Anwander, B., Beelen, R., Bellander, T., Cesaroni, G., ..., Hoek, G., Spatial variation of PM_{2.5}, PM₁₀, PM_{2.5} absorbance and PM_{coarse} concentrations between and within 20 European study areas and the relationship with NO₂ - Results of the ESCAPE project, *Atmospheric Environment*, 2012, **62**, 303–317.

EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu), Doğal Gaz Piyasası 2013 Yılı Sektör Raporu, 2013.

EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu), Doğal Gaz Piyasası 2019 Yılı Sektör Raporu, 2019.

Faraji Ghasemi F., Dobaradaran S., Saeedi R., Nabipour I., Nazmara S., Ranjbar Wakil Abadi D., Arfaeinia H., Ramavandi B., Spitz J., Mohammadi M. J., Keshtkar M., Levels and Ecological and Health Risk Assessment of PM_{2.5}-bound Heavy Metals in the Northern Part of the Persian Gulf, *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, **27**(5), 5305–5313.

Franck U., Odeh S., Wiedensohler A., Wehner B., Herbarth O., The Effect of Particle Size on Cardiovascular Disorders– the Smaller the Worse, *Science of the Total Environment*, 2011, **409**(20), 4217– 4221.

Fuzzi S., Baltensperge, U., Carslaw K., Decesari S., Denier Van Der Gon H., Facchini M. C., Fowler D., Koren I., Langford B., Lohmann U., Nemitz E., Pandis S., Riipinen I., Rudich Y., Schaap M., Slowik J. G., Spracklen D. V., Vignati E., Wild M., Williams M., Gilardoni S., Particulate Matter, Air Quality and Climate: Lessons Learned and Future Needs, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, **15**(14), 8217–8299.

Gaga E. O., Döğeroğlu T., Özden Ö., Ari A., Yay O. D., Altuğ H., Akyol N., Örnektekin S., Van Doorn, W., Evaluation of Air Quality by Passive and Active Sampling in an Urban City in Turkey: Current Status and Spatial Analysis of Air Pollution Exposure, *Environmental Science and Pollution Research*, 2012, **19**(8), 3579–3596.

Gaga E., Tuncel G., Döğeroğlu T., Kara S., Yenisoğ Karakaş S., Karakaş D., Gül H., Eskişehir İlinin Hava Kalitesinin Belirlenmesi : Karakterizasyon, Kaynak Belirleme ve Sağlık Etkileri, *TÜBİTAK*, Rapor No: 104Y263, 1-188, 2008.

Gao J., Tian H., Cheng K., Lu L., Wang Y., Wu Y., Zhu C., Liu K., Zhou J., Liu X., Chen J., Hao J., Seasonal and Spatial Variation Of Trace Elements in Multi-Size Airborne Particulate Matters of Beijing, China: Mass Concentration, Enrichment Characteristics, Source Apportionment, Chemical Speciation and Bioavailability, *Atmospheric Environment*, 2014, **99**, 257–265.

GB 3095-2012, National Standard of the People's Republic of China, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2012.

Gehring U., Beelen R., Eeftens M., Hoek G., De Hoogh K., De Jongste J. C., Keuken M., Koppelman G. H., Meliefste K., Oldenwening M., Postma D. S., Van Rossem L., Wang M., Smit H. A., Brunekreef B., Particulate Matter Composition and Respiratory Health The PIAMA Birth Cohort Study, *Epidemiology*, 2015, **26**(3), 300–309.

Genç Tokgöz D.D., Temporal Variation in Aerosol Composition at Northwestern Turkey, Doctoral Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2013, 338276.

Gibson, M. D., Duck, T. J., Beauchamp, S., Canada, E., King, G. H., Identifying the sources driving observed PM_{2.5} temporal variability over Halifax , Nova Scotia, during BORTAS-B, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**, 7199-7213.

Gietl J. K., Lawrence R., Thorpe A. J., Harrison R. M., Identification of Brake Wear Particles and Derivation of a Quantitative Tracer for Brake Dust at a Major Road, *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(2), 141–146.

González L. T., Longoria Rodríguez F. E., Sánchez-Domínguez M., Cavazos A., Leyva-Porras C., Silva-Vidaurre L. G., Askard K. A., Kharissova B.I., Villarreal Chiue J.F., Alfaro Barbosa J. M., Determination Of Trace Metals in TSP and PM_{2.5} Materials Collected in the Metropolitan Area of Monterrey, Mexico: A Characterization Study by XPS, ICP-AES and SEM-EDS, *Atmospheric Research*, 2017, **196**, 8–22.

Guo H., Wang T., Louie P. K. K., Source Apportionment of Ambient Non-Methane Hydrocarbons in Hong Kong: Application of a Principal Component Analysis/Absolute Principal Component Scores (PCA/APCS) Receptor Model, *Environmental Pollution*, 2004, **129**(3), 489–498.

Guo L., Hu J., Xing Y., Wang H., Miao S., Meng Q., Wang X., Bai S., Jia J., Wang P., Zhang R., Gao P., Sources, Environmental Levels, and Health Risks of PM_{2.5}-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Energy-Producing Cities in Northern China, *Environmental Pollution*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116024>.

Gül, İ., Tekirdağ İli 2014-2016 Yılları Arasında Dış Ortam Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi, *Balıkesir Medical Journal*, 2020, **4**(1), 37–40.

Han, F., Harsha, S., Wang, Y., Zhang, H., Source apportionment of PM_{2.5} in Baton Rouge, Louisiana during 2009 – 2014, *Science of the Total Environment*, 2017, **586**, 115–26.

Hanedar A., Alp K., Kaynak B., Avşar E., Toxicity Evaluation and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) at Three Stations in Istanbul, Turkey, *Science of the Total Environment*, 2014, **488–489**(1), 437–446.

Harrison, R. M., Bousiotis, D., Mohorjy, A. M., Alkhalaf, A. K., Shamy, M., Alghamdi, M., Khoder, M., Costa, M., Health risk associated with airborne particulate matter and its components in Jeddah, Saudi Arabia, *Science of the Total Environment*, 2017, 590–591, 531–39.

Hassanvand M. S., Naddafi K., Faridi S., Nabizadeh R., Sowlat M. H., Momeniha F., Gholampour A., Arhami M., Kashani H., Zare A., Niazi S., Rastkari N., Nazmara S., Ghani M., Yunesian M., Characterization of PAHs and Metals in Indoor/Outdoor PM₁₀/PM_{2.5}/PM₁ in A Retirement Home and a School Dormitory, *Science of the Total Environment*, 2015, **527–528**, 100–110.

HEI (Health Effects Institute), State of Global Air/2020, A Special Report on Global Exposure to Air Pollution and its Health Impacts, Boston, 2020.

Herrera Murillo, J., Campos Ramos A., Ángeles García F., Blanco Jiménez S., Cárdenas B., Mizohata A., Chemical Composition of PM_{2.5} Particles in Salamanca, Guanajuato Mexico: Source Apportionment with Receptor Models, *Atmospheric Research*, 2012, **107**, 31–41.

RG-26898, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2008.

Hleis D., Fernández-Olmo I., Ledoux F., Kfoury A., Courcot L., Desmonts T., Courcot D., Chemical Profile Identification of Fugitive and Confined Particle Emissions from an Integrated Iron and Steelmaking Plant, *Journal of Hazardous Materials*, 2013, **250–251**, 246–255.

Hsu C. Y., Chiang H. C., Lin S. L., Chen M. J., Lin T. Y., Chen Y. C., Elemental Characterization and Source Apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in the Western Coastal Area of Central Taiwan, *Science of the Total Environment*, 2016, **541**, 1139–1150.

Huang W., Long E., Wang J., Huang R., Ma L., Characterizing Spatial Distribution and Temporal Variation of PM₁₀ and PM_{2.5} Mass Concentrations in an Urban Area of Southwest China, *Atmospheric Pollution Research*, 2015, **6(5)**, 842–848.

Hueglin C., Gehrig R., Baltensperger U., Gysel M., Monn C., Vonmont H., Chemical Characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and Coarse Particles at Urban, Near-City and Rural Sites in Switzerland, *Atmospheric Environment*, 2005, **39(4)**, 637–651.

Hwang H. M., Foster G. D., Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Stormwater Runoff Flowing into the Tidal Anacostia River, Washington, DC, USA, *Environmental Pollution*, 2006, **140(3)**, 416–426.

IARC (International Agency for Research on Cancer), IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures, Lyon, France, 2010.

IARC 2020, International Agency for Research on Cancer (IARC) Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans - Agents Classified by the IARC Monographs, World Health Organization International Agency for Research on Cancer, <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php> (Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2020).

IARC (International Agency for Research on Cancer), IARC: Outdoor Air Pollution a Leading Environmental Cause of Cancer Deaths, WHO, 2013.

Iavicoli I., Leso V., Fontana L., Bergamaschi A., Occupational Exposure to Urban Airborne Particulate Matter: A Review on Environmental Monitoring and Health Effects, Editors: Zereini F., Wiseman C. L. S., *Urban Airborne Particulate Matter: Origin, Chemistry, Fate and Health Impacts*, 1st ed., Springer Science & Business Media, Berlin, Germany, 501-526, 2011.

Iskandar A., Andersen Z. J., Bønnelykke K., Ellermann T., Andersen K. K., Bisgaard H., Coarse and Fine Particles but not Ultrafine Particles in Urban Air Trigger Hospital Admission for Asthma in Children, *Thorax*, 2012, **67**(3), 252– 257.

İmal M., Karapınar Ç., Doğan O., Hava Kalitesine Doğalgazın Etkisi : Kahramanmaraş Örnek Çalışması, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2013, **16**(2), 22–28.

Jamhari A. A., Sahani M., Latif M. T., Chan K. M., Tan H. S., Khan M. F., Mohd Tahir N., Concentration and Source Identification Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in PM₁₀ Of Urban, Industrial and Semi-Urban Areas in Malaysia, *Atmospheric Environment*, 2014, **86**, 16–27.

Jiang Y. F., Wang X. T., Wang F., Jia Y., Wu M. H., Sheng G. Y., Fu J. M., Levels, Composition Profiles and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Soil Of Shanghai, China, *Chemosphere*, 2009, **75**(8), 1112–1118.

Kalisa E., Nagato E., Bizuru E., Lee K., Tang N., Pointing S., Hayakawa K., Archer S., Lacap-Bugler D., Pollution Characteristics and Risk Assessment of Ambient PM_{2.5}-bound PAHs and NPAHs in Typical Japanese and New Zealand Cities and Rural Sites, *Atmospheric Pollution Research*, 2019, **10**(5), 1396–1403.

Kalisa E., Nagato E. G., Bizuru E., Lee K. C., Tang N., Pointing S. B., Hayakawa K., Archer S., Lacap-Bugler D. C., Characterization and Risk Assessment of Atmospheric PM_{2.5} and PM₁₀ Particulate-Bound PAHs and NPAHs in Rwanda, Central-East Africa, *Environmental Science and Technology*, 2018, **52**(21), 12179–12187.

Kara M., Hopke P. K., Dumanoglu Y., Altıok H., Elbir T., Odabasi M., Bayram A., Characterization of PM Using Multiple Site Data in a Heavily Industrialized Region Of Turkey, *Aerosol and Air Quality Research*, 2015, **15**(1), 11–27.

Karababa O., Atlı B., Çağlayan Ç., Varol G., Ersoy G., Gacal F., Etiler N., Özfirat P., Ayta S., Kara Rapor 2020: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, *Temiz Hava Hakkı Platformu*, 6-106, 2020.

Karadeniz H., Yenisoy-Karakaş S., Spatial Distributions and Seasonal Variations of Organochlorine Pesticides in Water and Soil Samples in Bolu, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, **187**(3), 1-12.

Karakatsani A., Analitis A., Perifanou D., Ayres J. G., Harrison R. M., Kotronarou A., Kavouras I. G., Pekkanen J., Hämeri K., Kos G. P., Hartog J. J., Hoek G., Katsouyanni K., Particulate Matter Air Pollution and Respiratory Symptoms in Individuals having Either Asthma or Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A European Multicentre Panel Study, *Environmental Health*, 2012, **11**(75), 1-16.

Karakavuz E., Yıldırım Y., Zonguldak Kentsel Atmosferinde Partikül Madde Boyut Dağılımı, *VII. Ulusal Hava Kirliliği Ve Kontrolü Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, 1-3 Kasım 2017.

Karnaev S., John K., Source Apportionment of PM_{2.5} Measured in South Texas Near U.S.A. – Mexico Border, *Atmospheric Pollution Research*, 2019, **10**(5), 1663–1676.

Kendall, M., Pala, K., Ucakli, S., Gucer, S., 2011. Airborne particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and associated metals in urban Turkey, *Air Quality, Atmosphere and Health*, 2011, **4**(3), 235–42.

KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü), 2020 Yılı Trafik ve Ulaşım Bilgileri: Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020.

Khan M. F., Latif M. T., Saw W. H., Amil N., Nadzir M. S. M., Sahani M., Tahir N. M., Chung J. X., Fine Particulate Matter in the Tropical Environment: Monsoonal Effects, Source Apportionment, and Health Risk Assessment, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, **16**(2), 597–617.

Khan, M. F., Latif M. T., Lim C. H., Amil N., Jaafar S. A., Dominick D., Nadzir M. S. M., Sahani M., Tahir N. M., Seasonal Effect and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in PM_{2.5}, *Atmospheric Environment*, 2015, **106**, 178–190.

Khodeir, M., Shamy, M., Alghamdi, M., Zhong, M., Sun, H., Costa, M., Chen, L. C., Maciejczyk, P., Source apportionment and elemental composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in Jeddah City, Saudi Arabia, *Atmospheric Pollution Research*, 2012, **3**(3), 331–40.

Kim K. H., Jahan S. A., Kabir E., Brown R. J. C., A Review of Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and their Human Health Effects. *Environment International*, 2013, **60**, 71–80.

Kim, S., Kim, T., Yi, S., Heo, J., Source apportionment of PM_{2.5} using positive matrix factorization (PMF) at a rural site in Korea, *Journal of Environmental Management*, 2018, **214**, 325–34.

Kimani N. G., Environmental Pollution and Impact To Public Health, *The United Nations Environment Programme (Unep)*, 1-40, 2007.

Kılıç S., Yenisoy-Karakaş S., Kılıç M., Metal Contamination in Fruit Juices in Turkey: Method Validation and Uncertainty Budget, *Food Analytical Methods*, 2015, **8**(10), 2487–2495.

Knudsen H., Rasmussen N., *Particulate Matter: Sources, Emission Rates, and Health Effects*, Nova Science Publishers, Inc., New York, 2012.

KSO (Kocaeli Sanayi Odası), Rakamlarla Kocaeli, 2021.

Kuntasal O.O., Karman D., Wang D., Tuncel S.G., Tuncel G., Determination of Volatile Organic Compounds in Different Microenvironments by Multibed Adsorption and Short-Path Thermal Desorption Followed by Gas Chromatographic-Mass Spectrometric Analysis, *Journal of Chromatography A*, 2005, **1099**(1-2), 43–54.

Laden F., Schwartz J., Speizer F. E., Dockery D. W., Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality: Extended Follow-Up of the Harvard Six Cities Study, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2006, **173**(6), 667–672.

Ledoux F., Kfoury A., Delmaire G., Roussel G., El Zein A., Courcot D., Contributions Of Local and Regional Anthropogenic Sources of Metals in PM_{2.5} at an Urban Site in Northern France, *Chemosphere*, 2017, **181**, 713–724.

Li H., Wang Q., Yang M., Li F., Wang J., Sun Y., Wang C., Wu H., Qian X., Chemical Characterization and Source Apportionment of PM_{2.5} Aerosols in a Megacity of Southeast China, *Atmospheric Research*, 2016, **181**, 288–299.

Li Y., Zhang Z., Liu H., Zhou H., Fan Z., Lin M., Wu D., Xia B., Characteristics, Sources and Health Risk Assessment of Toxic Heavy Metals in PM_{2.5} at a Megacity of Southwest China, *Environmental Geochemistry and Health*, 2016, **38**(2), 353–362.

Lin Y., Ma Y., Qiu X., Li R., Fang Y., Wang J., Zhu Y., Hu D., Sources, Transformation, and Health Implications of PAHs and Their Nitrated, Hydroxylated, and Oxygenated Derivatives in PM_{2.5} in Beijing *Journal of Geophysical Research*, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015, **120**, 7219–7228.

Liu A., Ma Y., Deilami K., Egodawatta P., Goonetilleke A., Ranking the Factors Influencing Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Build-Up on Urban Roads, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, **139**, 416–422.

Liu D., Xu Y., Chaemfa C., Tian C., Li J., Luo C., Zhang G., Concentrations, Seasonal Variations, and Outflow Of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) at Ningbo Site, Eastern China, *Atmospheric Pollution Research*, 2014, **5**(2), 203–209.

Liu Y., Wang S., Lohmann R., Yu N., Zhang C., Gao Y., Zhao J., Ma L., Source Apportionment of Gaseous and Particulate PAHs from Traffic Emission Using Tunnel Measurements in Shanghai, China, *Atmospheric Environment*, 2015, **107**, 129–136.

Luo X., Zhao Z., Xie J., Luo J., Chen Y., Li H., Jin L., Pulmonary Bioaccessibility of Trace Metals in PM_{2.5} from Different Megacities Simulated by Lung Fluid Extraction and DGT Method, *Chemosphere*, 2019, **218**, 915–921.

Ma L., Li B., Liu Y., Sun X., Fu D., Sun S., Thapa S., Geng J., Qi H., Zhang A., Tian C., Characterization, Sources and Risk Assessment of PM_{2.5}-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Nitrated PAHs (NPAHs) in Harbin, A Cold City in Northern China, *Journal of Cleaner Production*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121673>.

Ma Y., Cheng Y., Qiu X., Lin Y., Cao J., Hu D., A Quantitative Assessment of Source Contributions to Fine Particulate Matter (PM_{2.5})-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and their Nitrated and Hydroxylated Derivatives in Hong Kong, *Environmental Pollution*, 2016, **219**, 742–749.

Malm W. C., *Introduction to visibility*, Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIRA), NPS Visibility Program, Colorado State University, Fort Collins, 1999.

Martellini T., Giannoni M., Lepri L., Katsoyiannis A., Cincinelli A., One Year intensive PM_{2.5}-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Monitoring in the Area of Tuscany, Italy. Concentrations, Source Understanding and Implications, *Environmental Pollution*, 2012, **164**, 252–258.

Marx S. K., Lavin K. S., Hageman K. J., Kamber B. S., O’Loingsigh T., Mctainsh G. H., Trace Elements and Metal Pollution in Aerosols at an Alpine Site, New Zealand: Sources, Concentrations and Implications, *Atmospheric Environment*, 2014, **82**, 206–217.

Mason B., Moore C. B., *Principles Of Geochemistry*, 4th ed., John Wiley & Sons, United States of America, 1982.

Mazziotti Tagliani S., Carnevale M., Armiento G., Montereali M. R., Nardi E., Inglessis M., Sacco F., Palleschi S., Rossi B., Silvestroni L., Gianfagna A., Content, Mineral Allocation and Leaching Behavior of Heavy Metals in Urban PM_{2.5}, *Atmospheric Environment*, 2017, **153**, 47–60.

Miri M., Alahabadi A., Ehrampush M. H., Rad A., Lotfi M. H., Sheikha M. H., Sakhvidi M. J. Z., Mortality and morbidity due to exposure to ambient particulate matter, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, **165**, 307-313.

Mohammed, G., Karani, G., Mitchell, D., Trace Elemental Composition in PM₁₀ and PM_{2.5} Collected in Cardiff, Wales, *Energy Procedia*, 2017, **111**, 540–47.

Morais S., Garcia e Costa F., de Lourdes Pereira M., Heavy Metals and Human Health, Editors: Oosthuizen J., *Environmental Health: Emerging Issues and Practice*, 1st ed., InTech, Croatia, 227-246, 2012.

Morawska L., Zhang J., Combustion Sources of Particles. 1. Health Relevance and Source Signatures, *Chemosphere*, 2002, **49**(9), 1045–1058.

Möller W., Felten K., Sommerer K., Scheuch G., Meyer G., Meyer P., Häussinger K., Kreyling W. G., Deposition, Retention, and Translocation of Ultrafine Particles from the Central Airways and Lung Periphery, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2008, **177**(4), 426-432.

Murillo J. H., Villalobos M. C., Rojas Marín J. F., Guerrero V. H. B., Solórzano Arias D., Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in PM_{2.5} and PM₁₀ Atmospheric Particles in The Metropolitan Area of Costa Rica: Sources, Temporal and Spatial Variations, *Atmospheric Pollution Research*, 2017, **8**(2), 320–327.

Nagato E. G., Fundamental Chemistry and General Characteristics, PAHs and NPAHs in Airborne Particulate Matter: Initial Formation and Atmospheric Transformations, Editors: Hayakawa K., *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*, 1st Ed., Springer, Singapur 11–25, 2018.

NEPM 1998, National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure, National Environment Protection Council, Australian, 1998.

Nisbet I. C. T., Lagoy P. K., Toxic Equivalency Factors (TEFs) for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 1992, **16**, 290-300.

NOM-025-SSA1-1993, Normas Oficiales Mexicanas de Calidad del Aire (Air Quality Mexican Official Standards) – six standards regulating seven criteria pollutants, Ministry of Health, 1993.

Nriagu J. O., Natural Versus Anthropogenic Emissions of Trace Metals to the Atmosphere, Editors: Pacyna J. M., Ottar B., *Control and Fate of Atmospheric Trace Metals*, 1st Ed., Springer, Dordrecht, 3–13, 1989.

Odabasi M., Cetin B., Bayram A., Persistent Organic Pollutants (Pops) on Fine and Coarse Atmospheric Particles Measured at Two (Urban and Industrial) Sites, *Aerosol and Air Quality Research*, 2015, **15**(5), 1894–1905.

OG-158, CONAMA Resolution 003/90, National Air Quality Program (PRONAR), Brazilian, 1990.

OJ-L 23/3, Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of The Council of 15 December 2004 Relating To Arsenic, Cadmium, Mercury, Nickel And Polycyclic Aromatic Hydrocarbons In Ambient Air, European Parliament and of the Council, 2004.

OJ-L 152/1, Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality And Cleaner Air For Europe, European Parliament and of the Council, 2008.

OJ-L 163, Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, European Parliament and of the Council, 1999.

- Onat B., Sahin U. A., Akyuz T., Elemental Characterization of PM_{2.5} and PM₁ in Dense Traffic Area in Istanbul, Turkey, *Atmospheric Pollution Research*, 2013, **4**(1), 101–105.
- Ooki A., Uematsu M., Miura K., Nakae S., Sources of Sodium in Atmospheric Fine Particles, *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(27), 4367–4374.
- Owoade, K. O., Hopke, P. K., Olise, F. S., Adewole, O. O., Ogundele, L. T., Fawole, O. G., Source apportionment analyses for fine (PM_{2.5}) and coarse (PM_{2.5-10}) mode particulate matter (PM) measured in an urban area in southwestern Nigeria, *Atmospheric Pollution Research*, 2016, **7**(5), 843–857.
- Özdemir H., Borucu G., Demir G., Yiğit S., Namik A. K., Examining the Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀) Pollution on the Playgrounds in Istanbul, *Ekoloji*, 2010, **79**(77), 72–79.
- Öztürk F., Keleş M., Wintertime Chemical Compositions of Coarse and Fine Fractions of Particulate Matter in Bolu, Turkey, *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, **23**(14), 14157–14172.
- Pandey A. K., Pandey M., Tripathi B. D., Assessment of Air Pollution Tolerance Index of Some Plants to Develop Vertical Gardens Near Street Canyons of a Polluted Tropical City, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, **134**, 358–364.
- Pandolfi M., Gonzalez-Castanedo Y., Alastuey A., De La Rosa J. D., Mantilla E., De La Campa A. S., Querol X., Pey J., Amato F., Moreno T., Source Apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} at Multiple Sites in the Strait of Gibraltar by PMF: Impact of Shipping Emissions, *Environmental Science and Pollution Research*, 2011, **18**(2), 260–269.
- Pant P., Shukla A., Kohl S. D., Chow J. C., Watson J. G., Harrison R. M., Characterization of Ambient PM_{2.5} at a Pollution Hotspot in New Delhi, India and inference of Sources, *Atmospheric Environment*, 2015, **109**, 178–189.
- Park S. U., Kim J. G., Jeong M. J., Song B. J., Source Identification of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Industrial Complex Using Diagnostic Ratios and Multivariate Factor Analysis, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2011, **60**(4), 576–589.
- Pekey B., Bozkurt Z. B., Pekey H., Doğan G., Zararsiz A., Efe N., Tuncel G., Indoor/Outdoor Concentrations and Elemental Composition of PM₁₀/PM_{2.5} in Urban/Industrial Areas of Kocaeli City, Turkey, *Indoor Air*, 2011, **20**(2), 112–125.
- Pekey H., The Distribution and Sources of Heavy Metals in Izmit Bay Surface Sediments Affected by a Polluted Stream, *Marine Pollution Bulletin*, 2006, **52**(10), 1197–1208.
- Pekey H., Pekey B., Arslanbas D., Bozkurt Z., Dogan G., Tuncel G., Türkiye’de Endüstriyel ve Şehirleşmiş Bir Alanda Uçucu Organik Bileşik ve Partikül Madde Kaynaklarının Tanımlaması, *Ekoloji*, 2015, **24**(94), 1–9.

Pérez, N., Pey, J., Reche, C., Cortés, J., Alastuey, A., Querol, X., 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*, 2016, **571**, 237–250.

Perrone, M.R., Vecchi, R., Romano, S., Becagli, S., Traversi, R., Paladini, F., Weekly cycle assessment of PM mass concentrations and sources, and impacts on temperature and wind speed in Southern Italy, *Atmospheric Research*, 2019, **218**, 129–44.

Phalen R. F., Phalen R. N., *Introduction to Air Pollution Science: A Public Health Perspective*, 1st ed., Jones & Bartlett Publishers, United States of America, 2013.

Pipal A. S., Gursumeeran Satsangi P., Study of Carbonaceous Species, Morphology and Sources of Fine (PM_{2.5}) and Coarse (PM₁₀) Particles Along with their Climatic Nature in India, *Atmospheric Research*, **154**, 103–115.

Polat Z. A., Memduhoğlu A., Hacı M., Duman H., Kentsel Büyüme ile Motorlu Araç Trafığı Yoğunluğu Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi: İstanbul Örneği, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017, **6(2)**, 442–451.

Pozo K., Harner T., Lee S. C., Wania F., Muir D. C. G., Jones K. C., Seasonally Resolved Concentrations of Persistent Organic Pollutants in The Global Atmosphere from the First Year of the GAPS Study, *Environmental Science and Technology*, 2009, **43(3)**, 796–803.

Rai P. K., Impacts of Particulate Matter Pollution on Plants: Implications for Environmental Biomonitoring, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, **129**, 120–136.

Ravindra K., Sokhi R., Van Grieken R., Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Source Attribution, Emission Factors and Regulation, *Atmospheric Environment*, 2008, **42(13)**, 2895–2921.

REGD.NO.D.L.-33004/99, National Ambient Air Quality Standards, Ministry of Environment and Forest, New Delhi, 2009.

Rengarajan R., Sudheer A. K., Sarin M. M., Wintertime PM_{2.5} and PM₁₀ Carbonaceous and Inorganic Constituents from Urban Site in Western India, *Atmospheric Research*, 2011, **102(4)**, 420–431.

RG-26898, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2008.

Rivas I., Viana M., Moreno T., Pandolfi M., Amato F., Reche C., Bouso L., Álvarez-Pedrerol M., Alastuey A., Sunyer J., Querol X., Child Exposure to indoor and Outdoor Air Pollutants in Schools in Barcelona, Spain, *Environment International*, 2014, **69**, 200–212.

Sahu C., Basti S., Trace Metal Pollution in the Environment: A Review, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2021, **18**(1), 211–224.

Salameh D., Detournay A., Pey J., Pérez N., Liguori F., Saraga D., Bove M. C., Brotto P., Cassola F., Massabò D., Latella A., Pillon S., Formenton G., Patti S., Armengaud A., Piga D., Jaffrezo L., Bartzis J., Tolis E., Prati P., Querol X., Wortham H., Marchand N., PM_{2.5} Chemical Composition in Five European Mediterranean Cities: A 1-Year Study, *Atmospheric Research*, 2015, **155**, 102–117.

Saliba N. A., Massoud R., A Comparative Review of PM Levels, Sources, and their Likely Fates in the Eastern Mediterranean Region, Editors: Zereini F., Wiseman C. L. S., *Urban Airborne Particulate Matter: Origin, Chemistry, Fate and Health Impacts*, 1st ed., Springer Science & Business Media, Berlin, Germany, 3-17, 2011.

Sarkar S., Khillare P. S., Profile of PAHs in The inhalable Particulate Fraction: Source Apportionment and Associated Health Risks in a Tropical Megacity, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, **185**(2), 1199–1213.

Seinfeld J. H., Pandis S.N., *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*, 3rd ed., John Wiley and Sons, Inc., Canada, 2016.

Shahid I., Kistler M., Mukhtar A., Ghauri B. M., Ramirez-Santa Cruz C., Bauer H., Puxbaum H., Chemical Characterization and Mass Closure of PM₁₀ and PM_{2.5} at an Urban Site in Karachi - Pakistan, *Atmospheric Environment*, 2016, **128**, 114–123.

Sharma H., Jain V. K., Khan Z. H., Characterization and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Urban Environment of Delhi, *Chemosphere*, 2007, **66**(2), 302–310.

Soleimani M., Amini N., Sadeghian B., Wang D., Fang L., Heavy Metals and their Source Identification in Particulate Matter (PM_{2.5}) in Isfahan City, Iran, *Journal of Environmental Sciences (China)*, 2018, **72**, 166–175.

Spindler G., Grüner A., Müller K., Schlimper S., Herrmann H., Long-Term Size-Segregated Particle (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁) Characterization Study at Melpitz - Influence of Air Mass inflow, Weather Conditions and Season, *Journal of Atmospheric Chemistry*, 2013, **70**(2), 165–195.

Sulong N. A., Latif M. T., Khan M. F., Amil N., Ashfold M. J., Wahab M. I. A., Chan K. M., Sahani M., Source Apportionment and Health Risk Assessment Among Specific Age Groups During Haze and Non-Haze Episodes in Kuala Lumpur, Malaysia, *Science of the Total Environment*, 2017, **601–602**, 556–570.

Sulong N. A., Latif M. T., Sahani M., Khan M. F., Fadzil M. F., Tahir N. M., Mohamad N., Sakai N., Fujii Y., Othman M., Tohno S., Distribution, Sources and Potential Health Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in PM_{2.5} Collected During Different Monsoon Seasons and Haze Episode in Kuala Lumpur, *Chemosphere*, 2019, **219**, 1–14.

Szigeti T., Mihucz V. G., Óvári M., Baysal A., Atilgan S., Akman S., Záray G., Chemical Characterization of PM_{2.5} Fractions of Urban Aerosol Collected in Budapest and Istanbul, *Microchemical Journal*, 2013, **107**, 86–94.

Şahin Ü. A., Scherbakova K., Onat B., Size Distribution and Seasonal Variation of Airborne Particulate Matter in Five Areas in Istanbul, Turkey, *Environmental Science and Pollution Research*, 2012, **19**(4), 1198–1209.

Talbi A., Kerchich Y., Kerbachi R., Boughedaoui M., Assessment of Annual Air Pollution Levels with PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and Associated Heavy Metals in Algiers, Algeria, *Environmental Pollution*, 2018, **232**, 252–263.

Tecer L. H., Tuncel G., Alagha O., Karaca F., Süren P., Zonguldak İli Hava Kalitesinin İncelenmesi: Hava Kaynaklı Aerosollerin PM_{2.5} ve PM₁₀ Boyut Dağılımında İncelenmesi ve Bölge Halk Sağlığına olan Etkilerinin Değerlendirilmesi, *Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)*, 104Y022, 1-90, 2000.

Tecer L. H., Tuncel G., Karaca F., Alagha O., Süren P., Zararsız A., Kirmaz R., Metallic Composition and Source Apportionment of Fine and Coarse Particles Using Positive Matrix Factorization in the Southern Black Sea Atmosphere, *Atmospheric Research*, 2012, **118**, 153–169.

Tecer L. H., Fıçıcı M., Sofuoğlu S., Özmetin C., Kent (Çorlu) ve Sanayi (Çerkezköy) Bölgesi Atmosferinde PM Kütle Konsantrasyonlarının Değişiminin İncelenmesi, *VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, 1-3 Kasım 2017.

Teixeira E. C., Mattiuzi C. D. P., Agudelo-Castañeda D. M., De Oliveira Garcia K., Wiegand F., Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Study in Atmospheric Fine and Coarse Particles Using Diagnostic Ratios and Receptor Model in Urban/industrial Region, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, **185**(11), 9587–9602.

Tepe A. M., Doğan G., Chemical Characterization of PM_{2.5} and PM_{2.5-10} Samples Collected in Urban Site in Mediterranean Coast of Turkey, *Atmospheric Pollution Research*, 2021, **12**(1), 46–59.

Thorpe A., Harrison R. M., Sources and Properties of Non-Exhaust Particulate Matter from Road Traffic: A Review, *Science of the Total Environment*, 2008, **400**(1–3), 270–282.

Tian H., Wang Y., Xue Z., Qu Y., Chai F., Hao J., Atmospheric Emissions Estimation of Hg, As, and Se From Coal-Fired Power Plants in China, 2007, *Science of the Total Environment*, 2011, **409**(16), 3078–3081.

Tiwari S., Hopke P. K., Pipal A. S., Srivastava A. K., Bisht D. S., Tiwari S., Singh A. K., Soni V. K., Attri S. D., Intra-Urban Variability of Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and its Relationship with Optical Properties of Aerosols Over Delhi, India, *Atmospheric Research*, 2015, **166**, 223–232.

Tobiszewski M., Namieśnik J., PAH Diagnostic Ratios for the Identification of Pollution Emission Sources, *Environmental Pollution*, 2012, **162**, 110–119.

Turalioğlu S., Tuncel G., Bayraktar H., Kentsel Atmosferde Partikül Madde Bileşimlerinin Belirlenmesi, *TÜBİTAK*, Rapor No: 104Y176, 1-160, 2008.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), Motorlu Kara Taşıtları, 2021.

URL-1: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>, (Ziyaret Tarihi: 25 Haziran 2020).

URL-2: <https://cfpub.epa.gov/roe/indicator.cfm?i=19#6>, (Ziyaret Tarihi: 12 Ağustos 2020).

URL-3: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>, (Ziyaret Tarihi: 9 Eylül 2020).

URL-4: <https://www.epa.gov/acidrain/effects-acid-rain#materials>, (Ziyaret Tarihi: 9 Eylül 2020).

URL-5: <https://www.epa.gov/lead>, (Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2020).

URL-6: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>, (Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2020).

URL-7: <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KOCAELI>, (Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2020).

URL-8: <https://www.tupras.com.tr/rafineriler>, (Ziyaret Tarihi: 16 Şubat 2021).

USEPA (Environmental Protection Agency), Guidelines for Performing Regulatory Impact Analysis, 1983.

USEPA (Environmental Protection Agency), Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Washington, DC, 2008.

USEPA (Environmental Protection Agency), National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, Environmental Protection Agency, 2013, 3085-3287.

Valko M., Jomova K., Rhodes C. J., Kuća K., Musílek K., Redox- and Non-Redox-Metal-induced Formation Of Free Radicals and their Role in Human Disease, *Archives of Toxicology*, 2016, **90**, 1-37.

Ventura L. M. B., Mateus V. L., De Almeida A. C. S. L., Wanderley K. B., Taira F. T., Saint’Pierre T. D., Gioda A., Chemical Composition of Fine Particles (PM_{2.5}): Water-Soluble Organic Fraction and Trace Metals, *Air Quality, Atmosphere and Health*, 2017, **10**(7), 845–852.

Venkataraman V., Thomas S., Kulkarni P., Size Distributions of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons-Gas/Particle Partitioning to Urban Aerosols, *Journal of Aerosol Science*, 1999, **30**(6), 759-770.

Wang J., Geng N. B., Xu Y. F., Zhang W. D., Tang X. Y., Zhang R. Q., PAHs in PM_{2.5} in Zhengzhou: Concentration, Carcinogenic Risk Analysis, and Source Apportionment, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014, **186**(11), 7461–7473.

Wang J., Li X., Jiang N., Zhang W., Zhang R., Tang X., Long Term Observations of PM_{2.5}-Associated PAHs: Comparisons Between Normal and Episode Days, *Atmospheric Environment*, 2015, **104**(2015), 228–236.

Wang Q., Liu M., Yu Y., Li Y., Characterization and Source Apportionment of PM_{2.5}-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Shanghai City, China, *Environmental Pollution*, 2016, **218**, 118–128.

WHO (World Health Organization), *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*, Geneva, Switzerland, 2005.

WHO (World Health Organization), Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), WHO Regional Office for Europe, *Air Quality Guidelines*, 2nd ed., Copenhagen, Denmark, 2000.

Wimolwattanapun, W., Hopke, P.K., Pongkiatkul, P., Atmospheric Pollution Research PM_{2.5-10} at residential sites in metropolitan Bangkok, *Atmospheric Pollution Research*, 2011, **2**(2), 172–81.

Wu T. H. Y., An Analysis of using Semi-permeable Membrane Devices to Assess Persistent Organic Pollutants in Ambient Air of Alaska, Doctoral Thesis, University of Alaska Fairbanks, College of Natural Sciences and Mathematics, Alaska, 2006, 11122/8901.

Xu G., Jiao L., Zhang B., Zhao S., Yuan M., Gu Y., Liu J., Tang X., Spatial and Temporal Variability of the PM_{2.5}/PM₁₀ Ratio in Wuhan, Central China, *Aerosol and Air Quality Research*, 2017, **17**(3), 741–751.

Xu J., Jia C., Yu H., Xu H., Ji D., Wang C., Xiao H., He J., Characteristics, Sources, and Health Risks of PM_{2.5}-bound Trace Elements in Representative Areas of Northern Zhejiang Province, China, *Chemosphere*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129632>.

Yan D., Wu S., Zhou S., Tong G., Li F., Wang Y., Li B., Characteristics, Sources and Health Risk Assessment of Airborne Particulate PAHs in Chinese Cities: A Review, *Environmental Pollution*, 2019, **248**, 804–814.

Yang H., Chen J., Wen J., Tian H., Liu X., Composition and Sources of PM_{2.5} Around the Heating Periods of 2013 and 2014 in Beijing: Implications For Efficient Mitigation Measures, *Atmospheric Environment*, 2016, **124**, 378–386.

Yang Yang, Li X., Shen R., Liu Z., Ji D., Wang Y., Seasonal Variation and Sources of Derivatized Phenols in Atmospheric Fine Particulate Matter in North China Plain, *Journal of Environmental Sciences (China)*, 2020, **89**, 136–144.

Yang Y., Guo P., Zhang Q., Li D., Zhao L., Mu D., Seasonal Variation, Sources and Gas/Particle Partitioning of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Guangzhou, China, *Science of the Total Environment*, 2010, **408**(12), 2492–2500.

Yatkın S., Bayram A., Source Apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} Using Positive Matrix Factorization and Chemical Mass Balance in Izmir, Turkey, *Science of the Total Environment*, 2008, **390**(1), 109–123.

Yatkın S., Bayram A., İzmir Havaındaki Partikül Madde Kirliliği: Ölçüm ve Değerlendirme, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2007, **9**(2), 15-27.

Yazar I., Yavuz H. S., Çay M. A., Temel Bileşen Analizi Yönteminin ve Bazı Klasik ve Robust Uyarlamalarının Yüz Tanıma Uygulamaları, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2009, **22**(1), 49–63.

Yazıcı H., Akçay M., Çay Y., Sekmen Y., Yılmaz İ. T., Gölcü M., Hava Kirliliğinin Doğalgaz Kullanımı ile Değişimi, Denizli İl Örneği, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 2010, **9**(3), 205-215.

Yenisoy-Karakaş, S., Estimation of Uncertainties of the Method to Determine the Concentrations of Cd, Cu, Fe, Pb, Sn and Zn in Tomato Paste Samples Analysed by High Resolution ICP-MS, *Food Chemistry*, 2012, **132**(3), 1555–1561.

Yenisoy Karakaş S., Tuncel G., Kuzeybatı Türkiye Yarı Kırsalındaki Atmosferik Partiküler Maddenin Kimyasal Kompozisyonu : Orta Anadolu Platosu'na Taşınım, *TÜBİTAK*, Rapor No: 111Y321, 1-76, 2013.

Yin G., Liu C., Hao L., Chen Y., Wang W., Huo J., Zhao Q., Zhang Y., Duan Y., Fu Q., Chen R., Kan H., Associations Between Size-Fractionated Particle Number Concentrations and COPD Mortality in Shanghai, China, *Atmospheric Environment*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116875>.

Yuan W., Fulgar C. C., Sun X., Vogel C. F. A., Wu C. W., Zhang Q., Bein K. J., Young D. E., Lic W., Weia H., Pinkerton K. E., In Vivo and in Vitro Inflammatory Responses to Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) from China and California, *Toxicology Letters*, 2020, **328**, 52–60.

Yunker M. B., Macdonald R. W., Vingarzan R., Mitchell H., Goyette D., Sylvestre S., PAHs in the Fraser River Basin: A Critical Appraisal of PAH Ratios as Indicators of PAH Source and Composition, *Organic Geochemistry*, 2002, **33**, 489–515.

Zhang K., Chai F., Zheng Z., Yang Q., Zhong X., Fomba K. W., Zhou G., Size Distribution and Source of Heavy Metals in Particulate Matter on the Lead and Zinc Smelting Affected Area, *Journal of Environmental Sciences (China)*, 2018, **71**, 188–196.

Zhang M., Xie J., Wang Z., Zhao L., Zhang H., Li M., Determination and Source Identification of Priority Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in PM_{2.5} in Taiyuan, China, *Atmospheric Research*, 2016, **178–179**, 401–414.

Zhang R., Jing J., Tao J., Hsu S. C., Wang G., Cao J., Lee C. S. L., Zhu L., Chen Z., Zhao Y., Shen Z., Chemical Characterization and Source Apportionment of PM_{2.5} in Beijing: Seasonal Perspective, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**(14), 7053–7074.

Zhang Y. L., Cao F., Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) in China at a City Level, *Scientific Reports*, 2015, **5**, 1–12.

Zereini F., Wiseman C. L. S., *Urban Airborne Particulate Matter*, 1st ed., Springer, Berlin, 2010.

Zeydan Ö., Wang Y., Using MODIS Derived Aerosol Optical Depth to Estimate Ground-Level PM_{2.5} Concentrations over Turkey, *Atmospheric Pollution Research*, 2019, **10**(5), 1565–1576.





EKLER

EK-A

Tablo A.1. Yaz dönemi örnekleme bilgileri

Filtre	Örnekleme Noktası	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Akış Hacmi (m ³)	Analizde Kullanılan Filtre Ağırlığı
5	Yeşilova Mahallesi	12.07.2018	13.07.2018	1630,08	0,2257
6	Cedit Mahallesi	12.07.2018	13.07.2018	1467,92	0,2233
7	Yeşilova Mahallesi	17.07.2018	18.07.2018	1630,08	0,2256
8	Cedit Mahallesi	17.07.2018	18.07.2018	1630,08	0,229
9	Yeşilova Mahallesi	19.07.2018	20.07.2018	1630,08	0,226
10	Cedit Mahallesi	19.07.2018	20.07.2018	1630,08	0,229
11	Yeşilova Mahallesi	21.07.2018	22.07.2018	1630,08	0,2269
12	Yeşilova Mahallesi	22.07.2018	23.07.2018	1545,18	0,2277
13	Kabaoğlu Mahallesi	25.07.2018	26.07.2018	2037,6	0,2268
14	Karabaş Mahallesi	25.07.2018	26.07.2018	1630,08	0,2276
15	Köseköy Mahallesi Dumlupınar	25.07.2018	26.07.2018	1548,58	0,2268
16	Kabaoğlu Mahallesi	27.07.2018	28.07.2018	1592,72	0,2263
17	Köseköy Mahallesi Dumlupınar	27.07.2018	28.07.2018	1355,57	0,2397
19	Köseköy Mahallesi Dumlupınar	28.07.2018	29.07.2018	1630,08	0,2224
20	Kabaoğlu Mahallesi	28.07.2018	29.07.2018	2037,6	0,2096
21	Kabaoğlu Mahallesi	29.07.2018	30.07.2018	2037,6	0,212
22	Köseköy Mahallesi Dumlupınar	29.07.2018	30.07.2018	1630,08	0,2213
23	Karabaş Mahallesi	29.07.2018	30.07.2018	1630,08	0,2287
24	Karabaş Mahallesi	30.07.2018	31.07.2018	1630,08	0,2292
25	Şahit				0,2045
26	Tüysüzler Mahallesi	1.08.2018	2.08.2018	1630,08	0,2078
27	Yahyakaptan Mahallesi	1.08.2018	2.08.2018	1630,08	0,1969
28	Yahyakaptan Mahallesi	3.08.2018	4.08.2018	1630,08	0,2054
29	Tüysüzler Mahallesi	3.08.2018	4.08.2018	1630,08	0,1956
30	Yahyakaptan Mahallesi	4.08.2018	5.08.2018	1634,33	0,1909
31	Tüysüzler Mahallesi	4.08.2018	5.08.2018	1699,7	0,1965
32	Gültepe Mahallesi	7.08.2018	8.08.2018	1501,03	0,2111
33	Sanayi Mahallesi	7.08.2018	8.08.2018	1630,08	0,1942
34	Gültepe Mahallesi	9.08.2018	10.08.2018	1694,6	0,2058
35	Sanayi Mahallesi	9.08.2018	10.08.2018	1630,08	0,1974
36	Gültepe Mahallesi	11.08.2018	12.08.2018	1630,08	0,2056
37	Sanayi Mahallesi	11.08.2018	12.08.2018	1630,08	0,2043
38	Malta Mahallesi	14.08.2018	15.08.2018	1630,08	0,1922
39	28 Haziran Mahallesi	14.08.2018	15.08.2018	1630,08	0,2036
40	Malta Mahallesi	16.08.2018	17.08.2018	1630,08	0,1936
41	28 Haziran Mahallesi	16.08.2018	17.08.2018	1368,59	0,2048
42	Malta Mahallesi	18.08.2018	19.08.2018	1630,08	0,2023
43	28 Haziran Mahallesi	18.08.2018	19.08.2018	1630,08	0,2022
44	Yeni Mahallesi	28.08.2018	29.08.2018	1694,6	0,2052

Tablo A.1 (Devam) Yaz dönemi örnekleme bilgileri

45	Kuruçesme Mahallesi	Kocatepe	28.08.2018	29.08.2018	1630,08	0,1961
46	Kuruçesme Mahallesi	Kocatepe	30.08.2018	31.08.2018	1630,08	0,2081
47	Yeni Mahallesi		30.08.2018	31.08.2018	1630,08	0,2089
48	Kuruçesme Mahallesi	Kocatepe	1.09.2018	2.09.2018	1630,08	0,2068
49	Yeni Mahallesi		1.09.2018	2.09.2018	1630,08	0,2043
50	Sepetçiler Mahallesi		4.09.2018	5.09.2018	1686,54	0,2003
51	Sepetçiler Mahallesi		6.09.2018	7.09.2018	1630,08	0,1876
52	Cedit Mahallesi		8.09.2018	9.09.2018	1630,08	0,1984
53	Şahit					0,1995
54	Sepetçiler Mahallesi		8.09.2018	9.09.2018	1630,08	0,1955
45	Kuruçesme Mahallesi	Kocatepe	28.08.2018	29.08.2018	1630,08	0,1961
46	Kuruçesme Mahallesi	Kocatepe	30.08.2018	31.08.2018	1630,08	0,2081
47	Yeni Mahallesi		30.08.2018	31.08.2018	1630,08	0,2089
48	Kuruçesme Mahallesi	Kocatepe	1.09.2018	2.09.2018	1630,08	0,2068
49	Yeni Mahallesi		1.09.2018	2.09.2018	1630,08	0,2043
50	Sepetçiler Mahallesi		4.09.2018	5.09.2018	1686,54	0,2003
51	Sepetçiler Mahallesi		6.09.2018	7.09.2018	1630,08	0,1876
52	Cedit Mahallesi		8.09.2018	9.09.2018	1630,08	0,1984
53	Şahit					0,1995
54	Sepetçiler Mahallesi		8.09.2018	9.09.2018	1630,08	0,1955

EK-B

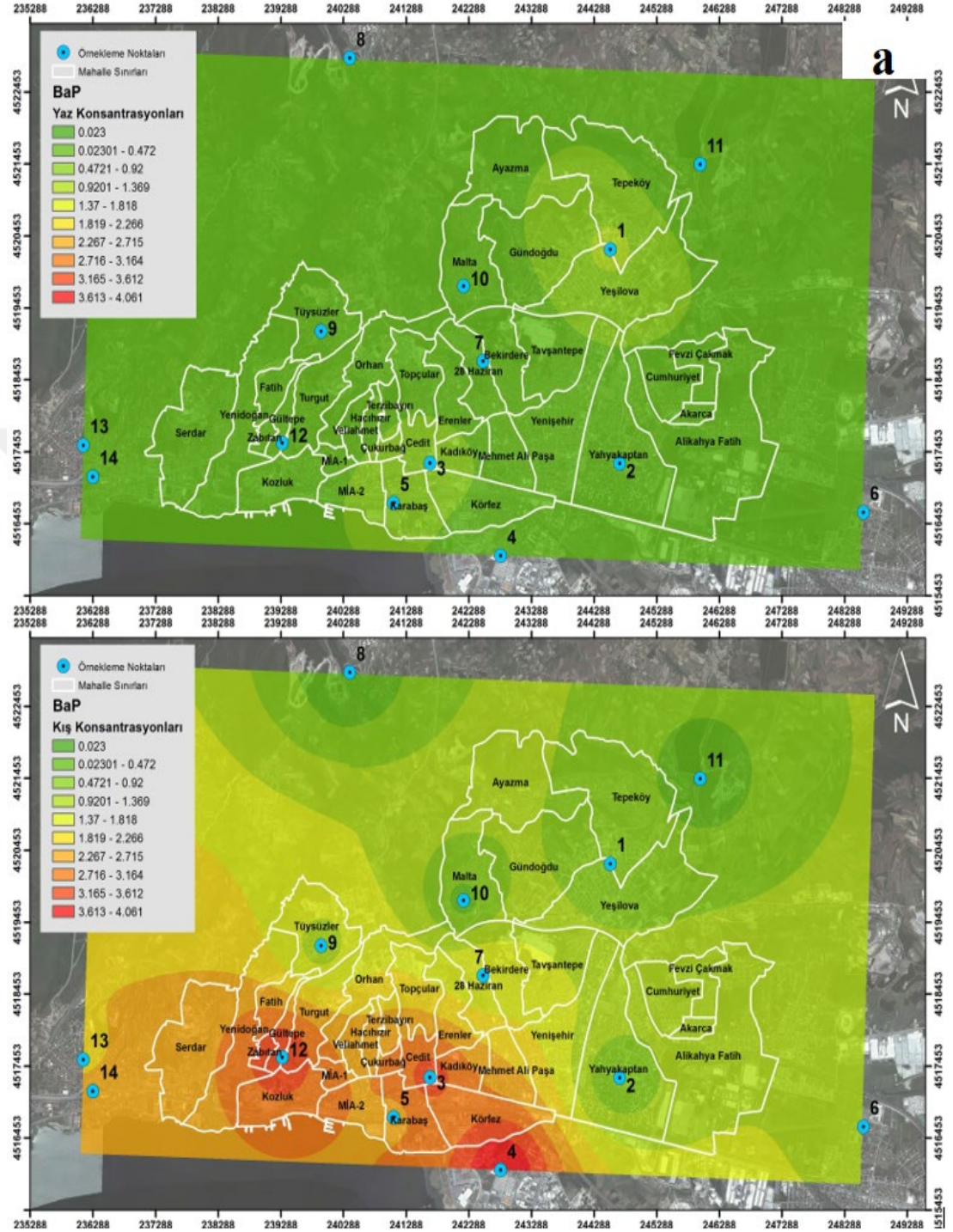
Tablo B.1. Kış dönemi örnekleme bilgileri

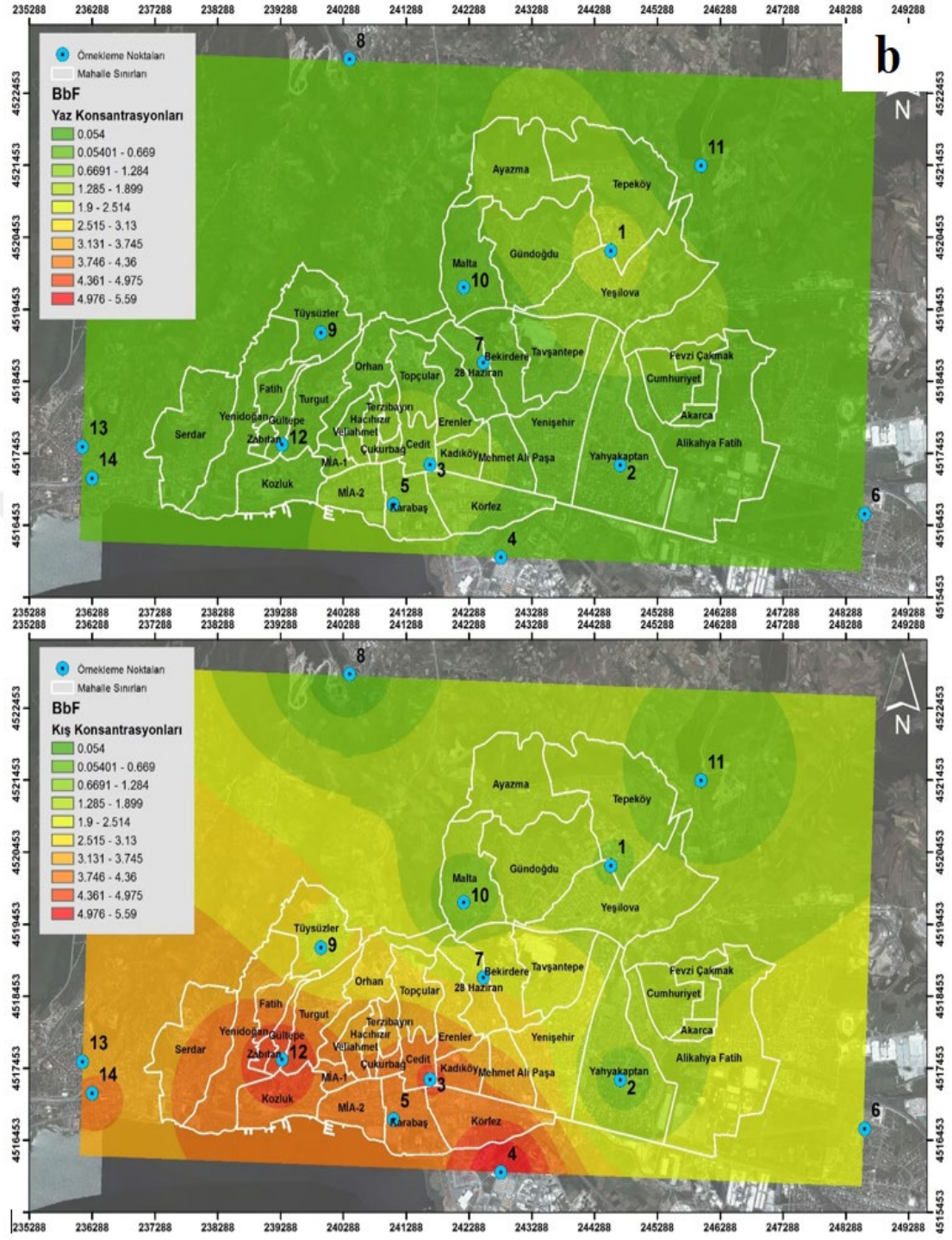
Filtre	Örnekleme Noktası	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Akış Hacmi (m ³)	Analizde Kullanılan Filtre Ağırlığı
1	Sepetçiler Mahallesi	28.11.2018	29.11.2018	1630,08	0,193
2	Yeşilova Mahallesi	28.11.2018	29.11.2018	1630,08	0,1896
3	Sepetçiler Mahallesi	29.11.2018	30.11.2018	1630,08	0,1896
4	Yeşilova Mahallesi	29.11.2018	30.11.2018	1630,08	0,198
5	Sepetçiler Mahallesi	1.12.2018	2.12.2018	1651,31	0,2004
6	Yeşilova Mahallesi	1.12.2018	2.12.2018	1630,08	0,1957
8	28 Haziran Mahallesi	4.12.2018	5.12.2018	1630,08	0,1998
10	28 Haziran Mahallesi	6.12.2018	7.12.2018	1630,08	0,1869
11	28 Haziran Mahallesi	8.12.2018	9.12.2018	1630,08	0,1873
13	Gültepe Mahallesi	11.12.2018	12.12.2018	1518,01	0,1884
14	Sanayi Mahallesi	11.12.2018	12.12.2018	1592,72	0,2012
15	Gültepe Mahallesi	13.12.2018	14.12.2018	1572,35	0,1959
16	Sanayi Mahallesi	13.12.2018	14.12.2018	1630,08	0,2021
18	Sanayi Mahallesi	15.12.2018	16.12.2018	1630,08	0,2065
19	Cedit Mahallesi	18.12.2018	19.12.2018	1630,08	0,2224
20	Cedit Mahallesi	20.12.2018	21.12.2018	1630,08	0,218
21	Cedit Mahallesi	22.12.2018	23.12.2018	1630,08	0,2126
22	Karabaş Mahallesi	25.12.2018	26.12.2018	1630,08	0,2095
23	Tüysüzler Mahallesi	25.12.2018	26.12.2018	1630,08	0,2234
24	Kabaoğlu Mahallesi	25.12.2018	26.12.2018	2037,6	0,2134
25	Karabaş Mahallesi	27.12.2018	28.12.2018	1630,08	0,2272
26	Tüysüzler Mahallesi	27.12.2018	28.12.2018	1630,08	0,2255
27	Kabaoğlu Mahallesi	27.12.2018	28.12.2018	2037,6	0,2245
28	Karabaş Mahallesi	29.12.2018	30.12.2018	1630,08	0,2202
29	Tüysüzler Mahallesi	29.12.2018	30.12.2018	1630,08	0,2249
30	Kabaoğlu Mahallesi	29.12.2018	30.12.2018	2037,6	0,2242
31	Köseköy Mahallesi Dumlupınar	2.01.2019	3.01.2019	1630,08	0,231
33	Köseköy Mahallesi Dumlupınar	3.01.2019	4.01.2019	1630,08	0,2342
35	Şahit	15.01.2019	16.01.2019		0,2221
36	Köseköy Mahallesi Dumlupınar	5.01.2019	6.01.2019	1630,08	0,2342
37	Malta Mahallesi	8.01.2019	9.01.2019	1630,08	0,243
38	Yahyakaptan Mahallesi	10.01.2019	11.01.2019	1630,08	0,2323
39	Malta Mahallesi	10.01.2019	11.01.2019	1630,08	0,2311
40	Yahyakaptan Mahallesi	12.01.2019	13.01.2019	1630,08	0,2415
41	Malta Mahallesi	12.01.2019	13.01.2019	1630,08	0,2341
42	Yahyakaptan Mahallesi	14.01.2019	15.01.2019	1630,08	0,2347
43	Kuruçeşme Mahallesi Kocatepe	15.01.2019	16.01.2019	1630,08	0,2295

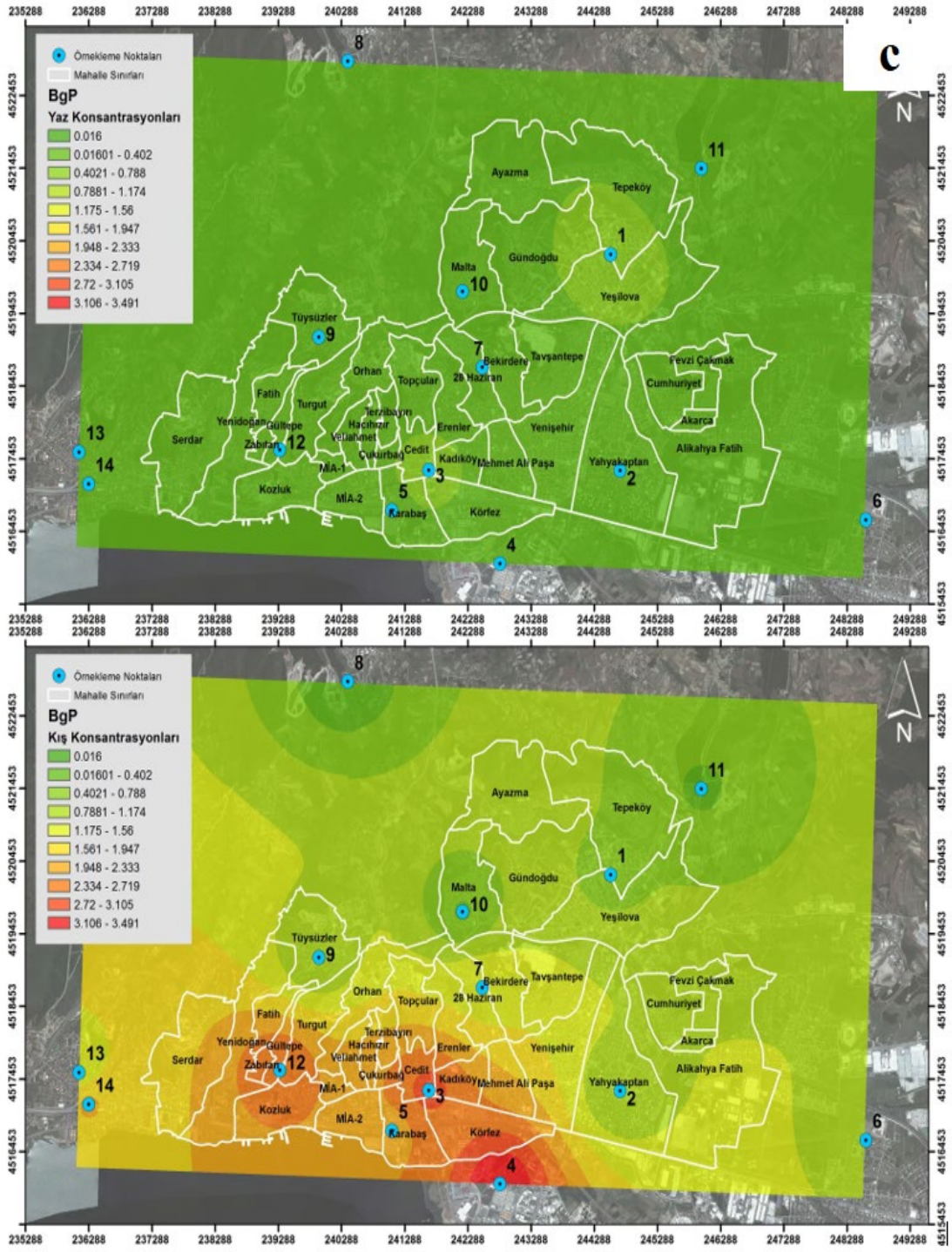
Tablo B.2 (Devam) Kış dönemi örnekleme bilgileri

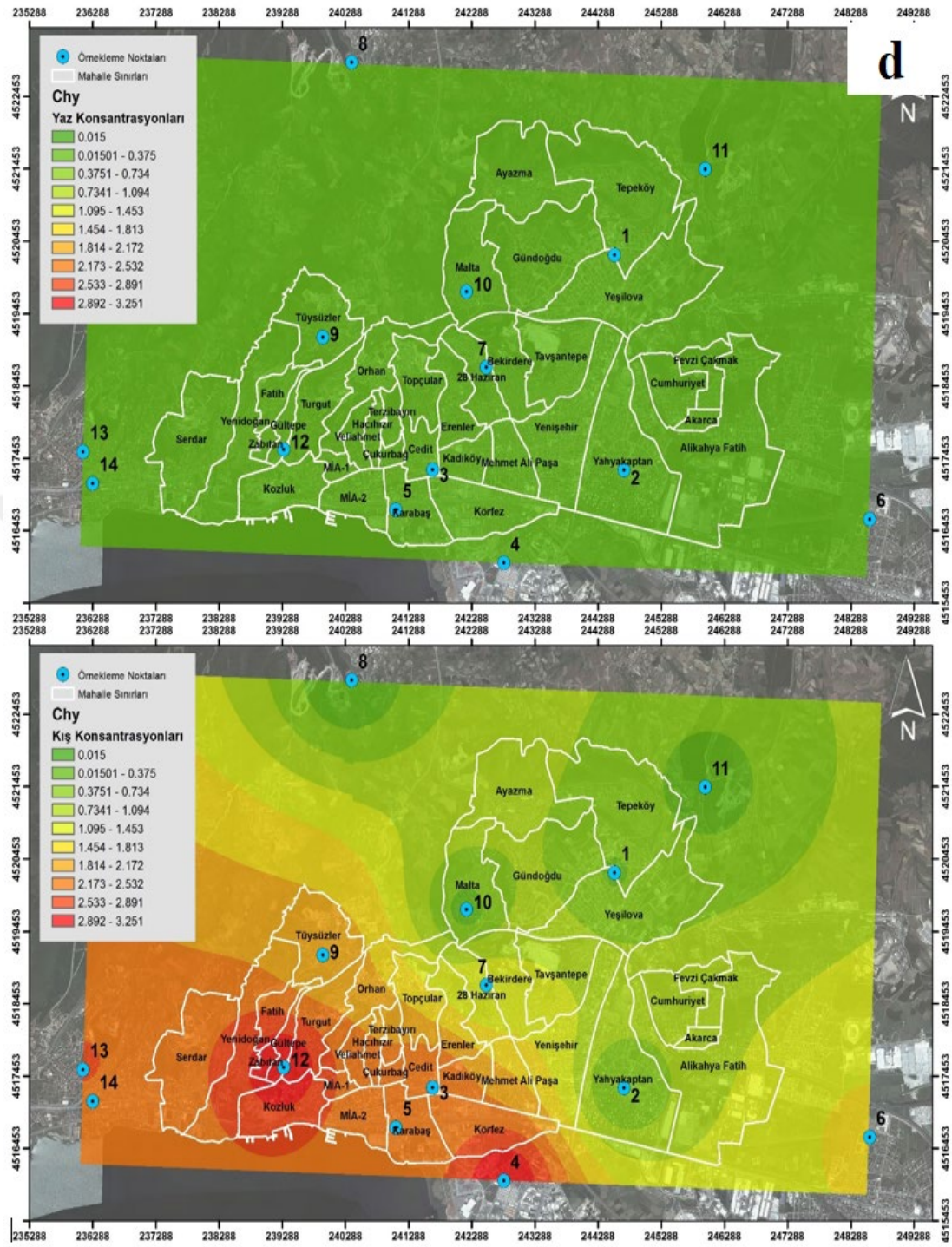
44	Kuruçesme Mahallesi	Kocatepe	17.01.2019	18.01.2019	1630,08	0,2211
45	Kuruçesme Mahallesi	Kocatepe	19.01.2019	20.01.2019	1630,08	0,2343
46	Gültepe Mahallesi		19.01.2019	20.01.2019	1630,08	0,2334
47	Yeni Mahallesi		22.01.2019	23.01.2019	1630,08	0,2365
48	Yeni Mahallesi		24.01.2019	25.01.2019	1630,08	0,2466
49	Yeni Mahallesi		26.01.2019	27.01.2019	1630,08	0,2439
50	Şahit		14.01.2019	15.01.2019		0,2413

EK-C

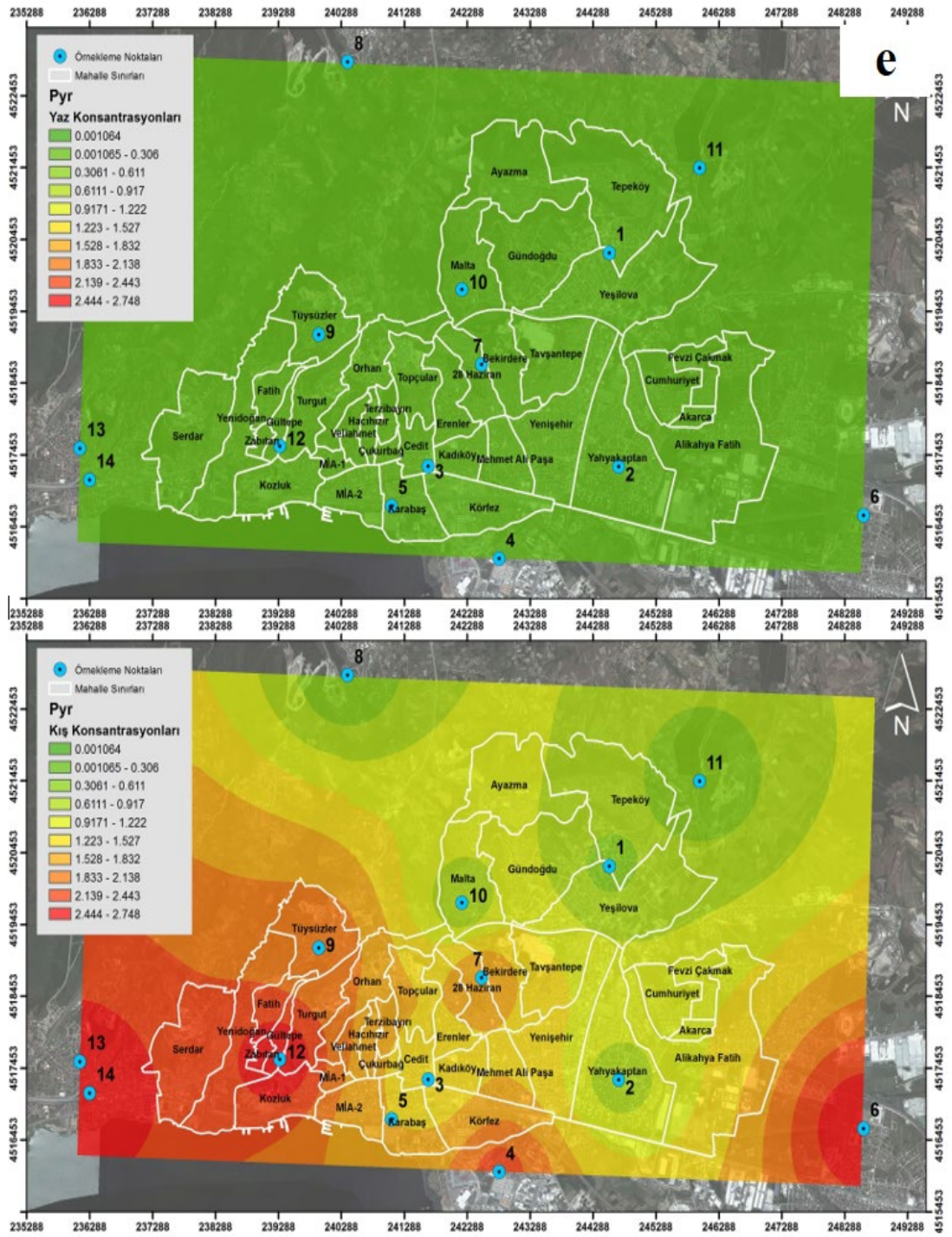








Şekil C.4. Chy kirleticisi yaz ve kış dönemi mekânsal dağılımı



EK-DTablo D.1. Örnekleme noktalarının yaz dönemi PAH konsantrasyonları (ng/m³)

Bileşik	Mahalle													
	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	Köseköy Dumlupınar	Malta	Yahyakaptan	Kuruçeşme Kocatepe	Yeni
Nap	0,011	0,057	0,056	0,021	0,039	0,090	0,077	LOD	0,034	0,067	0,080	0,071	0,015	0,018
Acy	0,002	0,002	0,001	0,009	0,001	0,003	LOD	0,001	LOD	LOD	LOD	0,002	0,004	0,001
Ace	0,001	0,043	0,015	0,023	0,100	0,025	0,034	0,020	0,036	0,057	LOD	0,015	LOD	LOD
Flu	0,008	LOD	LOD	LOD	LOD	0,013	LOD	LOD	LOD	0,265	LOD	LOD	0,011	0,191
Phe	0,011	0,112	0,011	0,009	0,012	0,070	0,111	LOD	0,000	0,036	0,031	0,101	0,025	0,034
Ant	0,006	0,022	0,033	0,043	0,055	0,057	0,070	0,012	0,012	0,069	0,071	0,029	0,027	0,072
Flt	0,005	0,069	0,036	0,029	0,039	0,032	0,030	0,005	0,004	0,016	0,020	0,026	0,009	0,009
Pyr	0,023	0,241	0,102	0,178	0,147	0,130	0,116	0,020	0,001	0,135	0,158	0,102	0,054	0,046
BaA	0,017	0,247	0,100	0,166	0,094	0,132	0,177	0,011	LOD	0,097	0,165	0,077	0,026	0,061
Chy	0,027	0,235	0,093	0,173	0,067	0,152	0,139	0,015	LOD	0,274	0,162	0,107	0,056	0,079
BbF	0,054	1,641	0,191	0,571	0,445	1,245	0,929	0,073	LOD	0,332	0,670	0,437	0,200	0,196
BkF	0,007	0,174	0,014	0,064	0,045	0,122	0,108	0,005	LOD	0,048	0,070	0,036	0,162	0,247
BaP	0,023	0,988	0,098	0,383	0,249	0,649	0,582	0,028	0,038	0,157	0,434	0,224	0,104	0,102
IcP	0,017	0,782	0,128	0,297	0,227	0,581	0,394	0,046	0,004	0,130	0,163	0,204	0,117	0,085
DahA	0,002	0,075	LOD	0,029	0,020	0,056	0,046	LOD	0,004	0,013	0,010	0,045	0,014	0,006
BgP	0,016	0,661	0,096	0,271	0,206	0,517	0,370	0,032	LOD	0,116	0,140	0,171	0,107	0,076
Σ16PAH	0,230	5,350	0,972	2,266	1,746	3,874	3,184	0,268	0,132	1,813	2,175	1,647	0,932	1,222

EK-E

Tablo E.1. Örnekleme noktalarının kış dönemi PAH konsantrasyonları (ng/m³)

Bileşik	Mahalle													
	Sepetçiler	Yeşilova	28 Haziran	Gültepe	Sanayi	Cedit	Karabaş	Tüysüzler	Kabaoğlu	Köseköy Dumlupınar	Malta	Yahyakaptan	Kuruçeşme Kocatepe	Yeni
Nap	0,015	0,045	0,037	0,113	0,145	0,035	0,070	0,049	0,158	0,037	0,001	0,036	0,057	0,062
Acy	0,017	0,032	0,066	0,078	0,106	0,054	0,070	0,080	0,033	0,110	0,027	0,046	0,093	0,094
Ace	0,006	0,009	0,031	0,141	0,314	0,019	0,107	0,115	0,090	0,029	0,005	0,011	0,039	0,033
Flu	0,012	0,018	0,046	0,071	0,114	0,038	0,055	0,069	0,036	0,101	0,014	0,036	0,088	0,105
Phe	0,150	0,226	0,692	0,588	0,719	0,370	0,445	0,498	0,216	1,074	0,288	0,362	0,807	0,771
Ant	0,013	0,043	0,094	0,144	0,141	0,052	0,095	0,119	0,041	0,144	0,025	0,051	0,126	0,150
Flt	0,374	0,493	1,745	2,269	1,916	0,990	1,236	1,847	0,416	2,681	0,687	0,777	2,303	2,591
Pyr	0,387	0,537	1,764	2,714	2,273	1,251	1,525	2,062	0,385	2,681	0,682	0,781	2,488	2,748
BaA	0,120	0,292	0,963	3,022	2,929	2,066	1,992	1,732	0,093	1,160	0,204	0,309	2,054	1,900
Chy	0,216	0,353	1,193	3,198	3,251	2,527	2,393	1,966	0,116	1,506	0,252	0,394	2,610	2,288
BbF	0,666	1,235	2,526	4,917	5,590	4,494	3,795	2,371	0,351	2,440	0,645	0,971	3,698	3,789
BkF	0,115	0,256	0,530	1,211	1,431	1,318	0,832	0,599	0,078	0,575	0,119	0,248	0,747	0,899
BaP	0,253	0,545	1,659	3,480	4,061	3,339	2,665	1,253	0,147	1,267	0,371	0,616	2,171	2,492
IcP	0,309	0,569	1,216	2,325	2,973	2,482	1,821	0,715	0,161	0,936	0,306	0,479	1,192	1,806
DahA	0,061	0,126	0,435	0,636	0,775	0,666	0,457	0,198	0,031	0,242	0,058	0,357	0,325	0,472
BgP	0,363	0,691	1,428	2,705	3,491	2,866	2,246	0,774	0,193	1,071	0,366	0,864	1,304	2,004
Σ16PAH	3,079	5,472	14,424	27,610	30,229	22,567	19,805	14,448	2,546	16,053	4,050	6,339	20,102	22,204

EK-F

Tablo F.1. İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM_{2.5}'e bağlı eser element konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m³)

	Türkiye									
	Bu çalışma	Zonguldak	Eskişehir	Erzurum	Bolu	Gümüşhane	Ankara, Çankaya	Ankara, Yenimahalle, Ankara Üniversitesi	İstanbul, Bakırköy	İstanbul, Maslak
Örnekleme Alanı	Kentsel	Kentsel	Kentsel	Kentsel	Yarı-kırsal	Kırsal	Yarı-kentsel	Kentsel	Kentsel	Kentsel
n	84	236	260	95	147		149	174	19	
Na	202,69		88		217,00	420	145,90	115,25	429,5	
Mg	79,79	70,18		29,55	73,00	101	86,62	62,82	66,3	
Ti	2,97	11,73	10,4	5,89	11,00	10,5	9,06	17,83	167,5	
Cr	4,36	3,75	2,3	0,89	20,00	3,05	7,10	5,21	121,7	2,80
Fe	204,78	52,44	139	112,19	199,00	158	279,68	338,47	117,3	460,00
Ni	1,74	3,02	3,35	0,76	6,00	2,57	3,26	2,38		4,00
Zn	67,04	58,42	69,2	43,98	27,00	19,72	38,72	180,35	384,7	72,00
As					1,00	0,91	0,29	0,32	0,75	
Rb	0,35				1,00	0,27	0,19	0,32	1,05	0,91
Mo	0,65		0,26		0,30		0,58	0,39	1,08	0,69
Cd	0,20		0,13		5,00	0,57	0,18	0,40		0,56
Sb	0,94		0,37		1,00		0,38	1,00		3,00
Ba	6,00		2,1			89	2,23	5,10	241,9	
Ce	0,16		0,29		0,30		0,15	0,19		
Lu	0,00					0,0016				
Pt	0,35				0,01					0,00
Pb	6,24	12,11	3,91	4,07	12,00	17,8	4,95	6,00		13,00
Be	0,00				0,01	0,023	0,01	0,01		
Al	74,29	95,21	597	85,53	1342,00	398	1242,11	1532,76	602,1	
Ca	510,20	197,36	354	102,82	756,00	735	917,32	680,63	437,5	
V			0,54		1,00	0,5	1,42	1,35	2,54	10,00
Mn	7,09	8	1,81	2,7	4,00	2,61	3,87	6,23	42,1	12,00
Co	0,09		0,25		2,00	2,92	0,12	0,14	0,52	0,20
Cu	7,15	60,84	3,37	12,06	6,00	2,01	5,48	198,80	19,6	14,00
Se	4,06		27,5		0,40	0,27	0,20	0,27		
Rh	0,00									
Sn	0,95		1,32		1,00	0,54	1,28	1,84		3,40
Cs	0,03				0,10	0,018	0,02	0,02		
La	0,13		0,092		0,10	0,201	0,08	0,10		
Bi	0,11				0,10	0,0183	0,07	0,10		0,17
P	77,18		20,1		8,00	10,1	26,25	36,88	24	
K	215,04	208,96	71	229	184,00	97	89,54	123,26	107,4	
	Bu çalışma	Tecer ve diğ., 2000	Gaga ve diğ., 2008	Turaltoğlu ve diğ., 2018	Yenisoy Karakaş ve diğ., 2013	Aslan Kılavuz ve diğ., 2017	Aslan Kılavuz ve diğ., 2014	Onat ve diğ., 2013	Szigei ve diğ., 2013	

Tablo F.1 (Devam) İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM_{2.5}'e bağlı eser element konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m³)

	Türkiye		Avrupa				
	Bolu	Antalya	İspanya, Navarra, Iturrama	İspanya, Navarra, Plaza de la Cruz	İspanya, La Linea	İspanya, Barrios	Los Alcañices
Örnekleme Alanı	Kentsel	Kentsel	Kentsel	Trafik			
n	66	169	80	77	195	79	82
Na	52	82,00			500	500	400
Mg	57	91,00			100	100	100
Ti	29	7,60	6,31	4,11	7,00	10,00	6,00
Cr			2,39	1,55	12,00	8,00	4,00
Fe	178	93,00			0	200	0
Ni			1,31	0,89	13,00	9,00	8,00
Zn	17	18,00	17,98	18,47	53,00	42,00	27,00
As	0,93	0,40	0,16	0,11	0,50	0,30	0,40
Rb			0,25	0,36	0,30	0,30	0,20
Mo							
Cd			0,05	0,13			
Sb			0,70	1,34	0,5	0,5	0,6
Ba	9		12,08	6,09			
Ce			0,21	0,18	0,2	0,3	0,2
Lu							
Pt							
Pb	16	8,60	2,29	3,36	9	5	6
Be			0,02	0,01			
Al	255	78,00					
Ca	527	337,00			300	500	300
V	0,67	1,00			21,00	16,00	20,00
Mn	14	9,00	2,57	2,29	8,00	7,00	4,00
Co			0,99	0,42			
Cu	5	5,60	11,98	12,61	11,00	13,00	12,00
Se			0,23	0,23	0,40	0,30	0,30
Rh							
Sn			0,94	1,42	0,9	0,5	0,9
Cs			0,01	0,02			
La			0,12	0,11	0,2	0,2	0,2
Bi							
P			24,39	11,37	7,00	10,00	9,00
K	165	114			100	100	100
	Öztürk ve diğ., 2016	Tepe ve diğ., 2020	Aldabe ve diğ., 2011		Pandolfi ve diğ., 2011		

Tablo F.1 (Devam) İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM_{2.5}'e bağlı eser element konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m³)

	Avrupa						Asya		
	İspanya, Barcelona, Sant Cugat del Vallès	Macaristan, Budapeşte, Széna Meydanı	Macaristan, Budapeşte, Széna Meydanı	İspanya, Barcelona, Palau Reial	Fransa, Marsilya, Cinq avenues	Kuzey Fransa, Saint-Omer	Malezya, Lumpur, Valley	Kuala Klang	Tayvan, Changhua
Örnekleme Alanı	Trafik	Kentsel	Kentsel	Kırsal	Kırsal	Kentsel	Kentsel-Endüstriyel	Kırsal	
n	75			68	54	103	81	66	
Na	340,00					186			
Mg	190,00			47	144	25,2		320,00	
Ti	59,00					3,73		18,00	
Cr	3,40	1,40	0,12	1,3	2,1	0,74	3,936	26,10	
Fe	580,00	214,00	24,00	155	265	52,1	1000	171,00	
Ni	3,30	0,72	0,39	3	4	2,91	0,48	5,73	
Zn	55,00	28,00	25,00	42	24	21,2	189	102,90	
As	0,50					1,35	0,38	3,35	
Rb		0,44	0,33			0,67	1,008		
Mo		0,46	0,18					1,52	
Cd	0,17	0,27	0,19			0,51	0,125	0,79	
Sb	1,10	2,00	0,83			2,4		2,65	
Ba	20,00					0,67	36	8,12	
Ce								0,24	
Lu								0,00	
Pt		0,01							
Pb	8,10	11,00	3,00	6	8	18,2	108	23,10	
Be							0,002		
Al						21,8	1063	1010,00	
Ca	820,00			145	1092	51		890,00	
V	5,90	0,51	0,33	6	6	3,98	0,915	7,78	
Mn	16,00	5,40	2,50	5	11	4,18	0,934	12,40	
Co	0,22	0,05	0,03			0,18	0,015	0,26	
Cu	8,80	9,10	4,20	7	17	3,11	2,74	9,11	
Se	0,37						0,107		
Rh									
Sn	3,30	1,50	0,04			3,1			
Cs							0,035		
La	0,55							0,20	
Bi		0,08	0,01				0,03		
P									
K	400			128	225	107			
	Rivas ve diğ., 2014	Szigeti ve diğ., 2013		Salameh ve diğ., 2015		Ledoux ve diğ., 2017	Amil ve diğ., 2016	Hsu ve diğ., 2016	

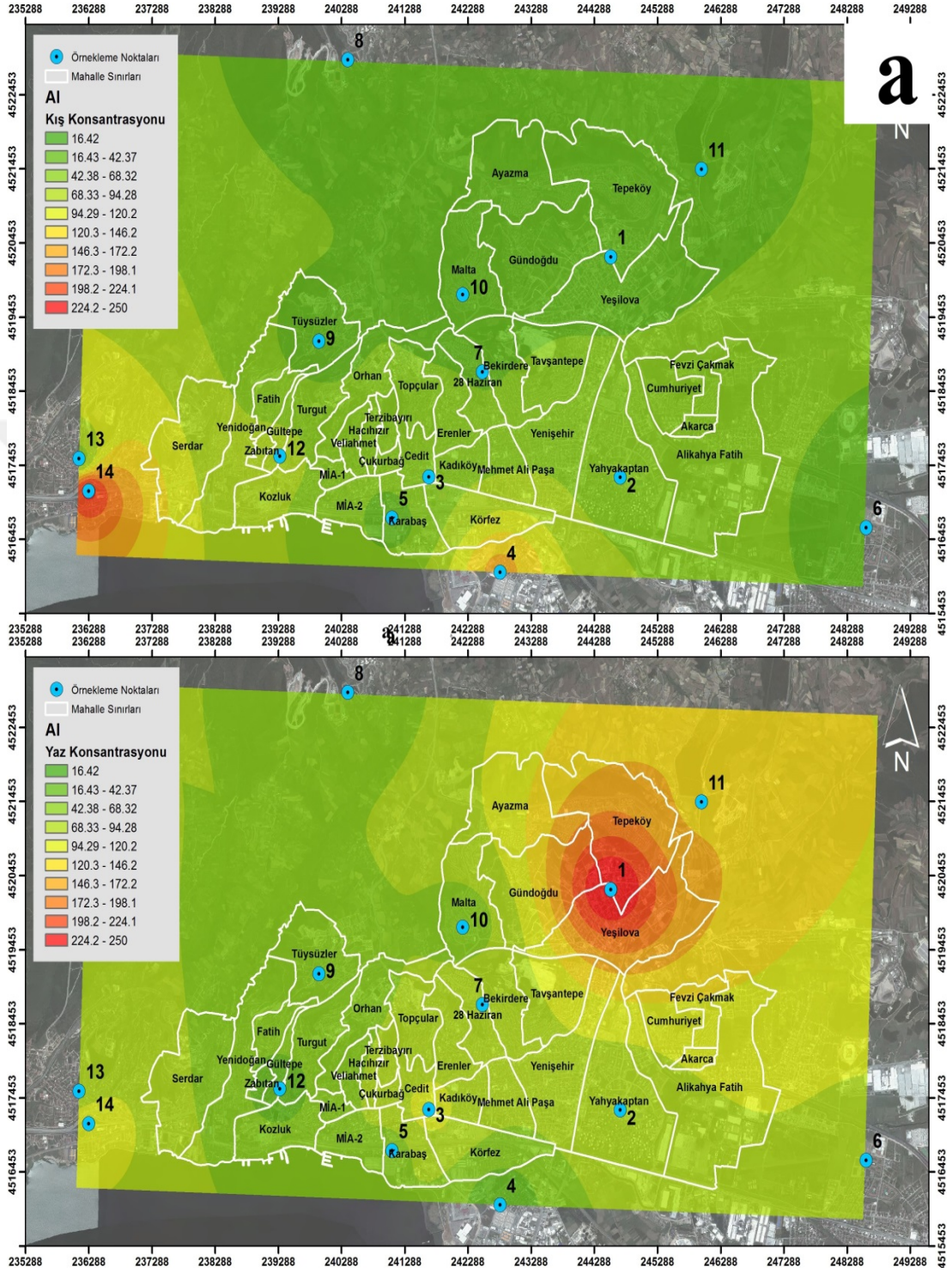
Tablo F.1 (Devam) İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM_{2.5}'e bağlı eser element konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m³)

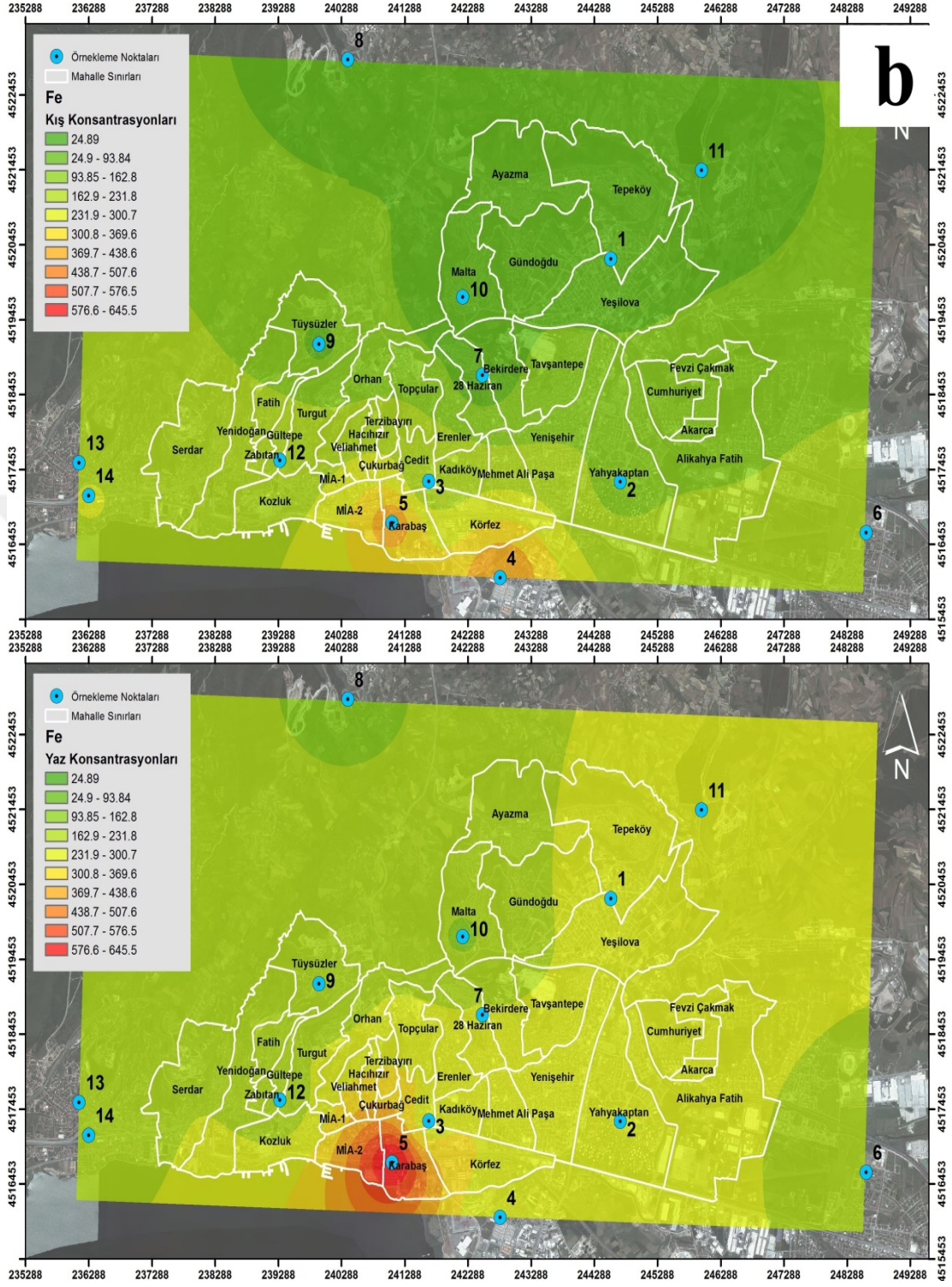
	Asya								
	Güneydoğu Çin, Nanjing, Xianlin	Güneydoğu Çin, Nanjing, Gulou	İran, Isfahan, Ostandari	İran, Isfahan, Elyaderan	İran, Isfahan, Ahmadabad	İran, Isfahan, Khajoo	İran, Isfahan, Vahid	İran, Isfahan, Segzi	İran, Isfahan, Mobarakeh
Örnekleme Alanı	Kentsel	Kentsel-Trafik	Endüstriyel						
n	70	70							
Na									
Mg									
Ti	72,6	71,7							
Cr	28,8	30,1	57,43	73,44	27,11	152,67	40,81	34,67	94,22
Fe	943	861							
Ni	16	16,1	7,43	35,66	5,25	50,28	76,17	18,98	7,87
Zn	494	500							
As	13,4	13,5	32,47	36,3	31,55	33,71	25,37	38,54	22,63
Rb									
Mo	4,28	4,41							
Cd	5,16	4,85	5,77	10,27	0,8	10,96	8,44	11,55	7,35
Sb									
Ba	21,9	20,9							
Ce									
Lu									
Pt									
Pb	231	237	46,72	55,38	12,91	43,92	47,7	62,36	27,54
Be									
Al	867	756							
Ca									
V	5,35	5,03							
Mn	74	72,5	29,93	29,07	18,29	38,16	41,76	43,72	12,01
Co	0,76	0,82							
Cu	70,2	72,8	13,76	166,82	5,33	29,69	28,09	10,96	11,02
Se									
Rh									
Sn									
Cs									
La									
Bi									
P									
K									
	Li ve diğ., 2016		Soleimani ve diğ., 2018						

Tablo F.1 (Devam) İzmit kentsel örnekleme bölgesinin PM_{2.5}'e bağlı eser element konsantrasyonlarının literatür verileri ile karşılaştırılması (ng/m³)

	Asya	Afrika				Amerika
	İran, Buşehr	Senegal, Dakar, Ngaparou	Senegal, Dakar, Fann	Senegal, Dakar, Faidherbe	Cezayir, Cezayir (Algiers)	Meksika, Monterrey, Obispado
Örnekleme Alanı	Kentsel	Kırsal	Kentsel	Kentsel	Kentsel-Trafik	Trafik
n	46				62	
Na		657,00	791,00	830,00		
Mg		200,00	654,00	910,00		
Ti		22,00	168,00	256,00		
Cr	18,18	< LQ	2,00	3,00	45,47	3,8
Fe	1335,94	393,00	3027,00	4567,00	7202,63	1026,18
Ni	26,87	< LQ	1,00	2,00		1,76
Zn		2,00	24,00	54,00		39,19
As		< LQ	< LQ	< LQ	93,20	3,36
Rb		< LQ	1,00	1,00		
Mo		< LQ	< LQ	1,00	49,11	
Cd	7,89					0,48
Sb						
Ba		4,00	26,00	40,00	4279,12	
Ce		1,00	3,00	4,00		
Lu						
Pt						
Pb	21,15	< LQ	7,00	19,00	370,57	28,24
Be						
Al		918,00	2785,00	2755,00		
Ca		23,00	192,00	261,00	5751,70	
V	7,20	< LQ	2,00	4,00		
Mn		4,00	27,00	36,00	3298,70	29,78
Co	6,03	< LQ	< LQ	1,00		
Cu		1,00	5,00	6,00	2662,18	522,96
Se					30,20	
Rh						
Sn		< LQ	1,00	1,00		
Cs						
La		< LQ	2,00	2,00		
Bi						
P						
K						
	Faraji Ghasemi ve diğ., 2020	Dieme ve diğ., 2012			Talbi ve diğ., 2018	Gonzalez ve diğ., 2017

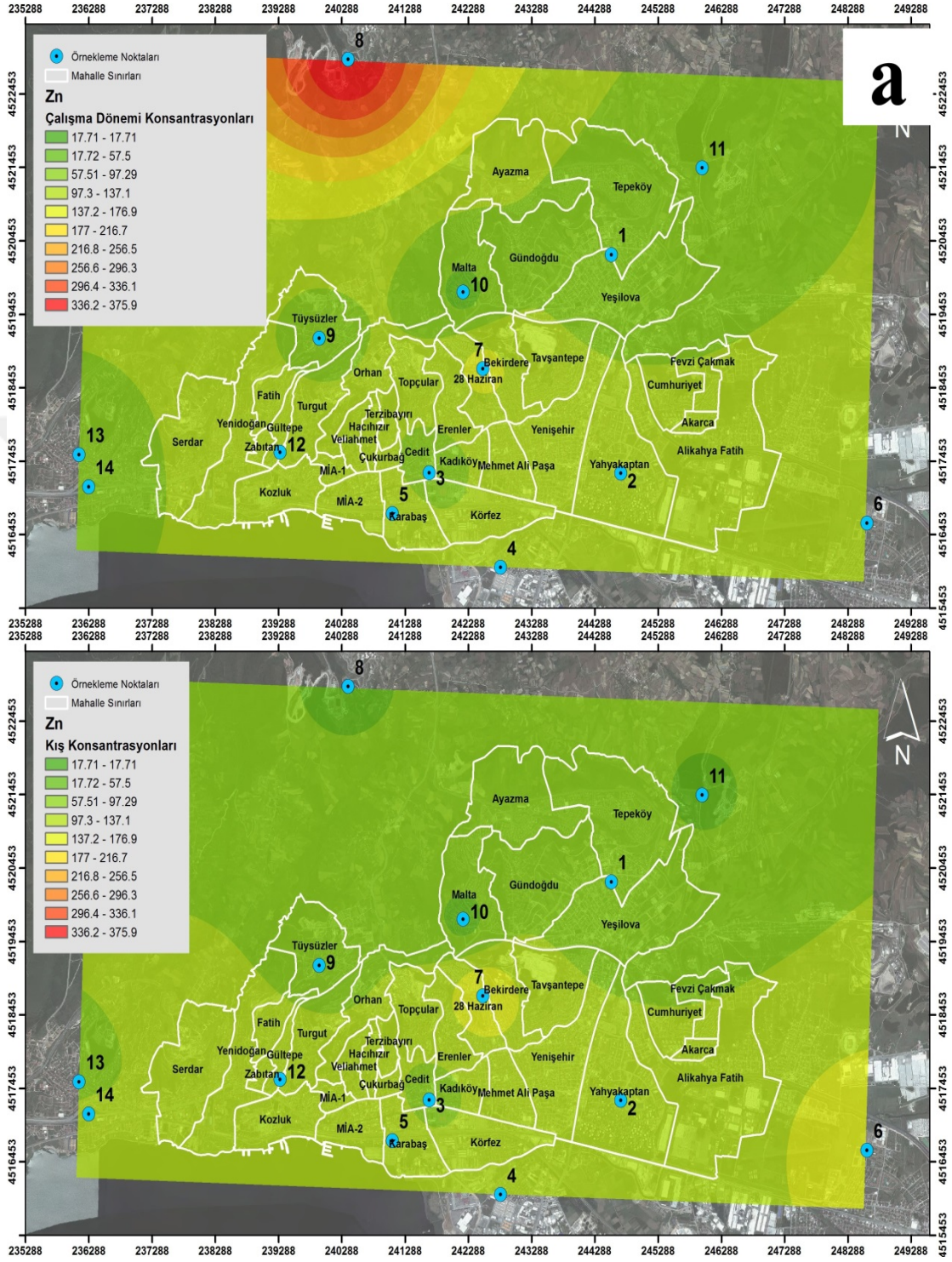
EK-G



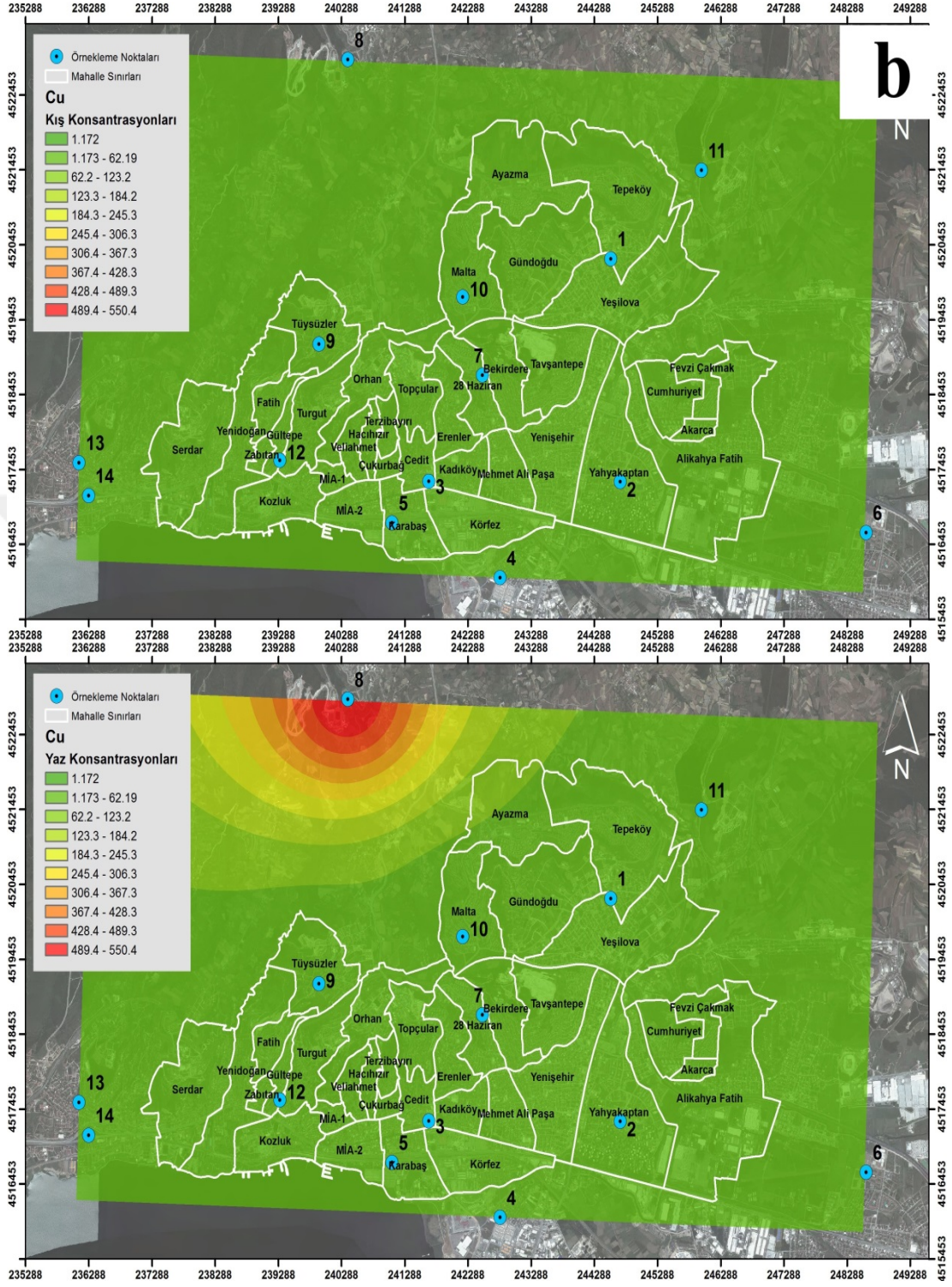


Şekil G.2. Fe elementinin yaz ve kış mekânsal dağılımı

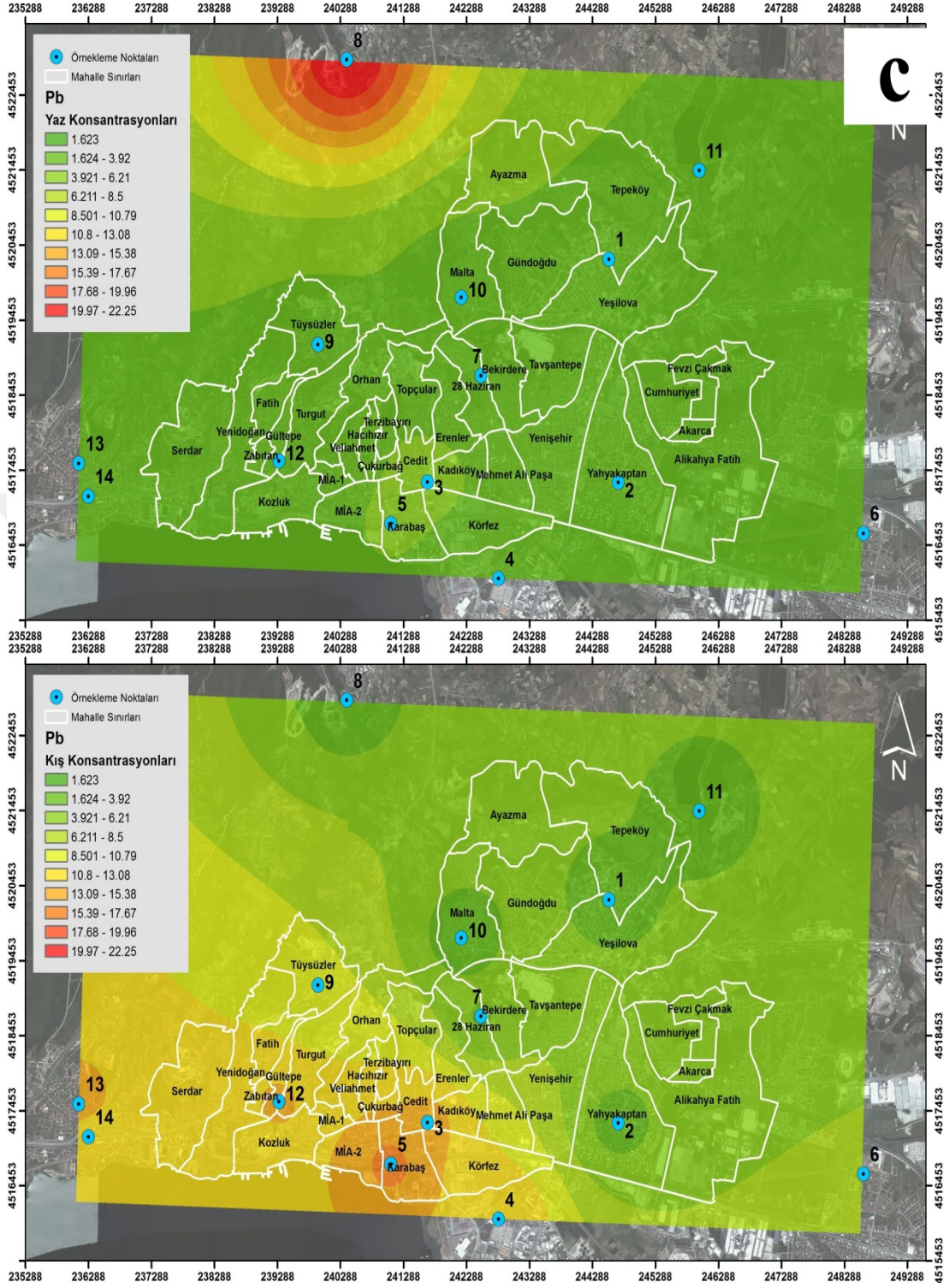
EK-H



Şekil H.1. Zn elementinin yaz ve kış mekânsal dağılımı



Şekil H.2. Cu elementinin yaz ve kış mekânsal dağılımı



Şekil H.3. Pb elementinin yaz ve kış mekânsal dağılımı

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Öztürk S., Gerçek D., Güven İ. T., Gaga E., Üzmez Ö. Ö., Civan M., Kocaeli İzmit İlçesi'nde Partikül Madde (PM_{2.5}) Konsantrasyon Seviyeleri, Mekânsal ve Mevsimsel Değerlendirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Yayın Aşamasında.



ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimini Başiskele’de ve ortaöğrenimini İzmit’te tamamladı. 2012 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldu. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

