



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YOL KENARINDAKİ PM_{2.5} ve BİLEŞENLERİNİN
KONSANTRASYONLARINA YOĞUN ARAÇ TRAFİĞİNİN
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Muhammet Ali AKTAŞ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hüseyin Kurtuluş ÖZCAN

II. DANIŞMAN

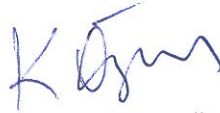
Dr. Hüseyin ÖZDEMİR

Haziran, 2018

İSTANBUL

Bu çalışma, 7.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı , Çevre Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

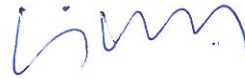
Tez Jürisi



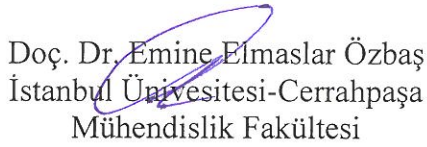
Doç. Dr. Hüseyin Kurtuluş ÖZCAN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Nilgün Balkaya
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Serdar Aydın
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Emine Elmaslar Özbaş
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Ebru Akkaya
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Öncelikle bu çalışmayı yöneten, çalışma süresince her türlü bilgi ve yardımlarını esirgmeden çalışmama büyük katkı sağlayan yüksek lisans tezimin oluşturulması aşamasında değerli katkılarını ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli danışman hocalarım Doç. Dr. Hüseyin Kurtuluş Özcan ve Dr. Hüseyin Özdemir'e

Tezimde kullandığım trafik verilerini temin etmem konusunda yardımlarını esirgemeyen İBB Trafik Müdürlüğüne,

Bu günlere gelmemde bana gösterdikleri sabır, yardım ve tüm katkılarından dolayı, babama ve anneme şükranlarımı sunarım.

Haziran 2018

Muhammet Ali AKTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xvii
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. HAVA KİRLİLİĞİ VE KAYNAKLARI.....	4
2.1.1. Noktasal Kaynaklar	5
2.1.2. Çizgisel Kaynaklar	5
2.1.3. Alansal Kaynaklar	6
2.1.4. Doğal Kaynaklar.....	7
2.2. HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	7
2.2.1. Meteorolojik Faktörler.....	8
2.2.1.1. Sıcaklık ve İnversiyon	8
2.2.1.2. Bulutluluk.....	9
2.2.1.3. Rüzgar.....	9
2.2.1.4. Basınç	9
2.2.1.5. Nisbi Nem ve Sis	10
2.2.1.6. Yağış	10
2.2.2. Topoğrafik Özellikler	11
2.2.3. Yakıtlar ve Yakma Sistemleri	12
2.3. HAVA KALİTESİ STANDARTLARI.....	12
2.4. HAVA KİRLİLİĞİNE NEDEN OLAN KİRLLETİCİLER.....	14
2.4.1. Karbonmonoksit (CO).....	14
2.4.2. Kükürt Oksitler (SO _x).....	14
2.4.3. Azot Oksitler (NO _x).....	15
2.4.4. Kurşun (Pb)	15

2.4.5. Ozon (O ₃).....	16
2.4.6. Uçucu Organik Bileşikler (UOB).....	16
2.4.7. Partikül Madde (PM).....	17
2.5. HAVA KİRLİLİĞİNİN ÇEVRE VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ	20
2.6. İNCE PARTİKÜL MADDE (PM _{2.5})	22
2.6.1. İnce Partikül Maddelerin Genel Özellikleri	22
2.6.2. İnce Partikül Maddelerin Kaynakları ve Önemli Bileşenleri	23
2.6.3. İnce Partikül Maddelerin Çevresel Etkileri	29
2.6.4. İnce Partikül Maddelerin İnsan Sağlığına Etkileri	31
2.6.5. İnce Partikül Maddelerin Ölçüm Yöntemleri	37
2.6.5.1. On-line Yöntemler.....	37
2.6.5.2. Off-line Yöntemler	37
2.7. ORGANİK VE ELEMENTEL KARBON.....	39
2.7.1. Organik ve Elementel Karbonun Genel Özellikleri	39
2.7.1.1. Organik Karbon.....	39
2.7.1.2. Elementel Karbon	41
2.7.2. Organik ve Elementel Karbonun Kaynakları	42
2.7.2.1. Organik Karbon Kaynakları.....	42
2.7.2.2. Elementel Karbon Kaynakları	43
2.7.3. Organik ve Elementel Karbonun Çevresel Etkileri	44
2.7.4. Organik ve Elementel Karbonun İnsan Sağlığına Etkileri	47
2.7.5. Organik ve Elementel Karbonun Ölçüm Yöntemleri.....	48
2.7.5.1. Termal/Optik Analiz Metodu	48
2.7.5.2. VDI 2465 Analiz Yöntemi	51
2.8. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	52
2.8.1. Türkiye’de Yapılmış Bazı Çalışmalar	52
2.8.2. Uluslararası Alanda Yapılmış Bazı Çalışmalar	53
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	58
3.1. ÇALIŞMA BÖLGESİ.....	58
3.2. ÖRNEKLEME İŞLEMİ.....	61
3.2.1. Örnekleme Ekipmanı.....	61
3.2.2. Gravimetrik Analiz.....	61
3.3. ORGANİK VE ELEMENTEL KARBON ANALİZLERİ.....	63
3.4. HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	68

3.4.1. İnce Partikül Madde (PM _{2.5}) Konsantrasyonunun Hesaplanması	68
3.4.2. Organik ve Elementel Karbon Konsantrasyonlarının Hesaplanması	68
3.5. METEOROLOJİK ANALİZ	69
3.5.1. Meteorolojik Veriler	69
3.5.2. Geriye Doğru Yörünge Similasyonları (HYSPLIT) Modeli	70
3.6. TRAFİK VERİLERİ	72
3.7. VERİ KALİTE KONTROLÜ (QA/QC)	72
4. BULGULAR.....	75
4.1. İNCE PARTİKÜL MADDENİN (PM _{2.5}) ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	75
4.2. ORGANİK VE ELEMENTEL KARBON SONUÇLARI.....	76
4.2.1. Organik Karbon Sonuçları.....	76
4.2.2. Elementel Karbon Sonuçları.....	77
4.3. İNCE PARTİKÜL MADDE (PM _{2.5}) İÇERİSİNDEKİ ELEMENTEL VE ORGANİK KARBON İÇERİKLERİ	78
4.3.1. İnce Partikül Madde (PM _{2.5}) İçerisindeki Elementel ve Organik Karbon Yüzdeleri.....	78
4.3.2. İnce Partikül Madde (PM _{2.5}) ile Elementel ve Organik Karbon Korelasyonları.....	79
4.4. ARAÇ SAYISININ ÖLÇÜM ARALIĞINDAKİ GÜNLÜK DEĞİŞİMİ.....	80
4.5. İSTATİSTİKSEL ANALİZ	81
4.5.1. Genel İstatistik Bilgileri	81
4.5.2. Korelasyon Analizleri.....	82
4.6. METEOROLOJİK ANALİZ	83
4.6.1. Meteorolojik Verilerin Günlük Değişimi	83
4.6.2. Meteorolojik Verilere Ait İstatistik Bilgileri.....	87
4.6.3. Geriye Doğru Yörünge Simülasyonları (HYSPLIT).....	88
4.6.4. Rüzgar Gücü.....	89
4.7. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN LİTERATÜRLE KARŞILAŞTIRMASI	91
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	94
KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ	121

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Hava kirliliği kaynakları (NPS, 2018).	4
Şekil 2.2: Hava kirliliği noktasal kaynakları (EA, 2000).	5
Şekil 2.3: İnversiyon ve karışım tabakası (Ahrens, 2009).	8
Şekil 2.4: Rüzgar hızının düşük olduğu (a) ve yüksek olduğu (b) durumdaki kirletici madde konsantrasyonu (Ahrens, 2009).	9
Şekil 2.5: Gece vakitlerinde soğuk havanın vadi tabanına çökmesinin kirleticiler üzerindeki etkisi (Ahrens, 2009).	11
Şekil 2.6: İnce ve kaba modları ve çeşitli örnekleme cihazları ile toplanan kısımları gösteren partikül maddenin ideal boyut dağılımı (Wilson ve Suh, 1997).	18
Şekil 2.7: PM boyutunun insan saçı ve ince kum tanesi karşılaştırılması (U.S. EPA, 2013).	20
Şekil 2.8: Dünyada bölgesel olarak insanların hava kirliliğine bağlı meydana gelen ölüm sayıları (IHME, 2016).	22
Şekil 2.9: Partikül madde kaynakları (Kemp, 2004).	25
Şekil 2.10: Toplanan 6 ayrı partikülün taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri (a) Na zengini, (b) mineral, (c) sülfat ve organik aerosoller, (d) is, (e) metal ve (f) uçucu kül (Zhou ve diğ., 2014).	27
Şekil 2.11: Utah'da 2014 yılı sektör kaynaklı PM _{2.5} partikül emisyonları (U.S. EPA, 2016a).	27
Şekil 2.12: Global PM _{2.5} bileşenleri ve öncül kaynakları (Bond ve diğ. 2004, Cofala ve diğ., 2007, Heald ve Spracklen 2009, De Gouw ve Jimenez, 2009).	28
Şekil 2.13: 2011'de 1750'ye göre hesaplanan radyatif zorlama değerleri (IPCC, 2013).	30
Şekil 2.14: Partikül maddeler ve etkiledikleri bölgeler (Godish, 2004).	32
Şekil 2.15: 1990 ve 2015 yılları için ülkelere göre PM _{2.5} maruziyetleri (Brauer ve diğ., 2016).	33
Şekil 2.16: Her 100.000 kişiye ait ortam havasındaki ince partikül maddelere ait ölüm oranları (State of Global Air, 2017).	34

Şekil 2.17: 2015 yılında yıllık ortalama nüfus ağırlıklı PM _{2.5} konsantrasyonları (State of Global Air, 2017).	35
Şekil 2.18: 2015 yılında tüm yaşlar ve cinsiyetler için tüm nedenlerden kaynaklanan toplam ölümlerin küresel risk faktörleri sıralaması (State of Global Air, 2018).....	36
Şekil 2.19: Organik karbon başlıca kaynaklar ve prosesleri (Lavorivska ve diğ., 2016).....	40
Şekil 2.20: İsin yakın görünümü (Bachmann, 2009).	41
Şekil 2.21: Organik karbonun kaynakları (a) antropojenik kaynaklar, (b) doğal kaynaklar (Healy, 2006).	42
Şekil 2.22: Sektörel ve bölgesel elementel karbon emisyonu kaynakları (Bond ve diğ., 2013).....	44
Şekil 2.23: Organik ve elementel karbonun diğer kirleticilerle radyatif zorlama değerleri (Myhre ve diğ., 2014).....	45
Şekil 2.24: Elementel karbon kaynakları ve iklim değişikliği üzerine etkileri (Bond, 2013, U.S. EPA, 2012).	46
Şekil 2.25: IMPROVE (TOR) karbon termogramı (Chow ve diğ., 2001).....	51
Şekil 3.1: İstanbul nüfus sayısı (TUİK, 2017).	58
Şekil 3.2: Yıllara göre İstanbul'da bulunan motorlu araç sayısı (TUİK, 2017).....	59
Şekil 3.3: Örnekleme yerinin konumu (Beşiktaş, İstanbul).	60
Şekil 3.4: Zambelli ISO Plus 6000 hava örnekleycisi pompa ve başlığı.	61
Şekil 3.5: Desikatör (a), Ohaus Adventurer Pro-AV264 marka hassas terazi (b), örneklemeden önce filtre görüntüsü (c) ve örneklemeden sonraki filtre görüntüsü (d).	62
Şekil 3.6: Sunset Lab. (Oregon, ABD) termal-optik karbon aerosol analizörü.	63
Şekil 3.7: Sunset Lab. termal-optik karbon aerosol analizörü şematik görüntüsü.....	65
Şekil 3.8: Sunset Lab. termal-optik karbon aerosol analizörü şematik görüntüsü.....	65
Şekil 3.9: Okunacak numunelerin hazırlanması aşaması.....	66
Şekil 3.10: Kalibrasyon için kullanılan sükroz çözeltisi ve uygulaması.....	66
Şekil 3.11: Analizden önce ve sonra numunenin cihaza konulması ve alınması.....	67
Şekil 3.12: Sunset Lab. termal-optik karbon aerosol analizörünün termogramı (Birch, 2003).....	67

Şekil 3.13: HYSPLIT model kirleticinin havadaki konsantrasyonu görüntüsü.....	71
Şekil 4.1: Ölçüm periyodu ve zamanına göre günlük PM _{2.5} ölçüm değerleri.....	75
Şekil 4.2: Ölçüm periyodu ve zamanına göre günlük organik karbon değerleri.	76
Şekil 4.3: Ölçüm periyodu ve zamanına göre günlük elementel karbon değerleri.	77
Şekil 4.4: PM _{2.5} içindeki organik, elementel ve toplam karbon kütlece yüzdeleri.	78
Şekil 4.5: Organik ve elementel karbon ile PM _{2.5} arasındaki korelasyonlar.....	79
Şekil 4.6: Örnekleme yapılan günlerdeki saatlik ortalama araç sayısı değişimi.	80
Şekil 4.7: Örnekleme yapılan zaman aralığına ait günlük araç sayısı.....	81
Şekil 4.8: PM _{2.5} , toplam, organik ve elementel karbon değerlerinin box-whisker plot grafiği.	82
Şekil 4.9: Elde edilen verilere ait korelasyon matrisi.	83
Şekil 4.10: Her örnekleme aralığına ait sıcaklık değişimi.	84
Şekil 4.11: Her örnekleme aralığına ait yağış değişimi.	85
Şekil 4.12: Her örnekleme aralığına ait nem değişimi.	85
Şekil 4.13: Her örnekleme aralığına ait rüzgar değişimi.....	86
Şekil 4.14: Her örnekleme aralığına ait basınç değişimi.....	87
Şekil 4.15: Yüksek konsantrasyonlara sahip 18 ve 20 Mayıs günleri için HYSPLIT model sonuçları.	89
Şekil 4.16: Örnekleme periyodu için rüzgar gülü.	90
Şekil 4.17: Örnekleme periyodu için rüzgar hızı frekans dağılımı.	90

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Birincil kirleticiler için hava kalitesi standartları ve limit değerleri.	13
Tablo 2.2: Oluşum şekillerine göre partikül maddeler (Seinfeld ve Pandis, 2006).....	19
Tablo 2.3: İnce partikül maddelerin (PM _{2.5}) özellikleri (Wilson ve Suh, 1997).....	24
Tablo 2.4: Partikül madde filtreleri, hedef türler ve uygulanan yöntemler (Medparticle, 2013).	38
Tablo 2.5: IMPROVE protokolünde kullanılan OK ve EK sıcaklıkları.	49
Tablo 3.1: OK/EK analiz süresi boyunca oluşan piklerin sıcaklığı.	64
Tablo 4.1: Araç sayısı, PM _{2.5} , organik ve elementel karbon değerlerine ait istatistik bilgiler.....	81
Tablo 4.2: 32 Ölçüm gününe ait meteorolojik verilerin genel değerlendirilmesi.	87
Tablo 4.3: Bu çalışmada ölçülen PM _{2.5} , organik ve elementel konsantrasyon değerlerinin literatürle karşılaştırılması (µg/m ³).	92

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
Ba	: Baryum
Br	: Brom
°C	: Santigrat
Cd	: Kadmiyum
cm²	: Santimetrekaare
Cl	: Klor
CO	: Karbonmonoksit
COHb	: Karboksihemoglobin
CO₂	: Karbondioksit
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
dk	: Dakika
Dp	: Stokes Çapı
E	: Doğu
Fe	: Demir
HC	: Hidrokarbon
He	: Helyum
H₂O	: Su
H₂SO₄	: Sülfirik Asit
hPa	: Hektopascal
I	: İyot
K	: Potasyum
K	: Kuzey
km	: Kilometre
l	: Litre
m	: Metre
mbar	: Milibar

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: Mikrogram/Metreküp
μm	: Mikrometre
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
MnO_2	: Mangan Dioksit
N	: Azot
Na	: Sodyum
NaCl	: Sodyum Klorür
NaNO_3	: Sodyum Nitrat
NH_3	: Amonyak
NH_4^+	: Amonyum
NH_4NO_3	: Amonyum Nitrat
Ni	: Nikel
nm	: Nanometre
NO	: Azot Monoksit
NO_2	: Azot Dioksit
NO_3^-	: Nitrat
NO_x	: Azot Oksitler
OH	: Hidroksit
O_2	: Oksijen
O_3	: Ozon
Pb	: Kurşun
PCCDD/Fs	: Polychlorinated Dibenzo-P-Dioxins and Polychlorinated Dibenzofurans
r	: Korelasyon Katsayısı
s	: Saniye
sa	: Saat
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum
SO	: Kükürt Oksit
SO_2	: Kükürt Dioksit
SO_3	: Kükürt Trioksit
SO_4^{2-}	: Sülfat
SO_x	: Kükürt Oksitler

Ti	: Titanyum
V	: Hacim
V	: Vanadyum
W	: Watt
Zn	: Çinko
%	: Yüzde

Kısaltmalar Açıklama

AAS	: Atomic Absorption Spectrometry (Atomik Absorpsiyon Spektrometresi)
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devleti
BC	: Siyah Karbon
BUOB	: Birincil Uçucu Organik Bileşikler
CC	: Carbonate Carbon
CCN	: Cloud Condensation Nuclei
CFC	: Chlorofluorocarbon.
CVAAS	: Cold Vapor-Atomic Absorption Spectrophotometry
ED-XRF	: Energy Dispersive X-ray Fluorescence
EEA	: European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
EK	: Elementel Karbon
EMS	: Environmental Monitoring Station
EPA	: Environmental Protection Agency-Çevre Koruma Örgütü
EUSAAR	: European Supersites for Atmospheric Aerosol Research
FAAS	: Flame Atomic Absorption Spectroscopy
FID	: Flame Ionization Detector (Alev İyonizasyon Dedektörü)
GDAS	: Geniş Dağılımlı Aerosol Sınıflandırıcısı
GBD	: Global Burden of Disease
GFAAS	: Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy
HCFC	: Hydrochlorofluorocarbons
Hi-vol	: Yüksek Hacimli Örneklem Cihazı
HKDYY	: Hava Kalite Değerlendirme Yönetimi Yönetmeliği
HKS	: Hava Kalite Standartları
HYSPLIT	: Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory
IC	: Ion Chromatography (İyon Kromatografisi)

ICCT	: International Council on Clean Transportation
ICP	: Inductively Coupled Plasma (İndüktif Eşleşmiş Plazma)
ICP-AES	: Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy
IHME	: Institute for Health Metrics and Evaluation
IMPROVE	: Interagency Monitoring of Protected Visual Environments
IN	: Ice Nuclei
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli)
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KOAH	: Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
LOD	: Low of Dedection
MARGA	: Monitor for AeRosols and GAses
MS	: Mass Spectrometry
NCEP	: National Center for Environmental Prediction
NIOSH	: National Institute for Occopational Safety and Health
NMHC	: Non-Methane Hydrocarbons (Metan İçermeyen Hidrokarbonlar)
NAA	: Nötron Aktivasyon Analizi
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
NPS	: Natural Park Service
OK	: Organik Karbon
OP	: Pirolize Karbon
PAH	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
PESA	: Particle Elastic Scattering Analysis
PILS-IC	: Particle Into Liquid Sampler
PIXE	: Proton-Induced X-ray Emission
PM	: Partikül Madde
PM_{2.5}	: 2.5 Mikrometreden Küçük Partiküller
PM₁₀	: 10 Mikrometreden Küçük Partiküller
PM_{10-2.5}	: 10-2.5 µm Arasındaki Partikül Boyutuna Sahip " <i>Kaba Partiküller</i> "
POC	: Primary Organic Carbon
ppb	: Parts Per Billion (Milyarda Bir Parçacık)
ppm	: Parts Per Million (Milyonda Bir Parçacık)
PTFE	: Polytetrafluoroethylene
PVC	: Polivinil Klorür

PyOC	: Pirolize Edilmiş Organik Karbon
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
SJU	: Shandong Jianzhu University
SOA	: Seconder Organic Aerosol
SOC	: Seconder Organic Carbon
SR	: Synchrotron Radiation
TSP	: Toplam Askıda Katı Madde
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TOR	: Thermal/Optical Reflectance
TOT	: Thermal/Optical Transmittance
TXRF	: Total Reflection X-Ray Fluorescence
UOB	: Uçucu Organik Bileşikler
UN-HABITAT	: United Nations Human Settlements Programme
US	: United States
QA	: Kalite Güvence
QC	: Kalite Kontrol
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
WSOC	: Water-Soluble Organic Carbon
XRF	: X-ray Florasans

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOL KENARINDAKİ PM_{2.5} ve BİLEŞENLERİNİN KONSANTRASYONLARINA YOĞUN ARAÇ TRAFİĞİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Muhammet Ali AKTAŞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Hüseyin Kurtuluş ÖZCAN

II. Danışman : Dr. Hüseyin ÖZDEMİR

Günümüzde özellikle mega şehirlerde sayıları her geçen gün artan motorlu taşıtlar hava kirliliği kaynaklarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Motorlu taşıt emisyonlarından ince partikül maddeler insan sağlığı ve çevre açısından olumsuz etkilere sahip önemli bir kirleticidir. İnce partikül maddelerin önemli bir kısmını organik (OK) ve elementel karbon (EK) oluşturmaktadır. Bu amaçla çalışmada yoğun araç trafiğine sahip İstanbul Beşiktaş Barbaros Bulvarında Mayıs ve Haziran aylarında ince partikül madde, organik ve elementel karbon seviyesi araştırılmıştır. İnce partikül madde (PM_{2.5}) ortalama değerleri 33,01±14,89 µg/m³ olarak Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Birliği (AB) sınır değerlerinin üzerinde bulunmuştur. Çalışma dönemine ait ortalama OK ve EK konsantrasyonları sırasıyla 6,56±2,08 µg/m³ ve 2,36±1,0 µg/m³ olarak bulunmuştur. Bu çalışma ile İstanbul gibi yoğun araç trafiğinin bulunduğu mega şehirlerde özellikle yoğun trafiğe yakın yaşayan insanların ve yayaların trafik emisyonlarından kaynaklanan PM_{2.5} ve önemli bileşenleri olan organik ve elementel karbon kirliliğine yüksek seviyelerde maruz kaldığı görülmüştür.

Haziran 2018, 138 sayfa.

Anahtar kelimeler: Araç trafiği, elementel karbon, ince partikül madde (PM_{2.5}), İstanbul, organik karbon.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF EFFECT OF HIGH TRAFFIC JAM ON CONCENTRATION PM_{2.5} AND ITS COMPONENTS ON ROADSIDE

Muhammet Ali AKTAŞ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Kurtuluş ÖZCAN

Co-Supervisor : Dr. Hüseyin ÖZDEMİR

Nowadays, motor vehicles, which increasing in number every other day, constitutes a significant part of the sources of air pollution especially in mega cities. Fine particular matter (PM_{2.5}) emitted from motor vehicle emissions is an important pollutant which has adverse effects on human health and environment. The significant components of the PM_{2.5} are organic (OC) and elemental carbon (EC). For this purpose, PM_{2.5}, OC and EC levels were investigated in May and June at Beşiktaş Barbaros Boulevard, which has heavy vehicle traffic in operation. The average value of fine particulate matter was measured as $33,01 \pm 14,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ which is above World Health Organization (WHO) and European Union (EU) limits. The average of OC and EC concentrations in the period of this study were found as $6,56 \pm 2,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $2,36 \pm 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. In this study, it has been observed that in the mega-cities where intensive vehicle traffic is present, such as Istanbul, people living in close proximity to intensive traffic are exposed to high levels of PM_{2.5}, and its major component OC and EC pollution.

June 2018, 138 pages.

Keywords: Elemental carbon, fine particulate matter (PM_{2.5}), Istanbul, organic carbon, vehicle traffic.

1. GİRİŞ

Hava kirliliği, 21. yüzyılda önemli bir çevresel problem haline gelmiştir. Endüstriyel faaliyetler, evsel ısınma, motorlu araçlar hava kirliliğini oluşturan temel kaynaklardır. Son yıllarda gelişen sanayi ve teknoloji ile birlikte hava kirliliği önemli boyutlara ulaşmıştır. Hava kirliliği sadece çevreye zarar vermekle kalmayıp, insan sağlığı açısından da büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Yaşanılan ortam ve çevrenin hava kirlilik derecesinin yüksek olması o bölgedeki yaşayan insan ve canlıların sağlığı açısından büyük bir tehdit haline gelmiştir. Hava kirliliği miktarı kritik seviyeyi geçtiğinde özellikle çocuklar, yaşlılar ve kronik hastalığı olan duyarlı kişiler başta olmak üzere tüm toplumda özellikle pulmoner ve kardiyovasküler gibi birçok sistem bu zararlı etkilere maruz kalmaktadır (Kardeşoğlu ve diğ., 2011). Bölgesel ve lokal olarak havanın kirlilik derecesinin tespit edilmesi ve azaltılması yönünde önleyici çalışmaların yapılması önümüzdeki yıllar için büyük önem taşımaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) dış ortamdan hava kirliliğine bağlı olarak meydana gelen hastalıklardan dolayı her yıl yaklaşık olarak 3 milyon insanın öldüğünü tahmin etmektedir (WHO, 2016).

10 milyondan fazla nüfusa sahip olarak tanımlanan mega şehirler hızlı nüfus artışının meydana getirdiği gelişmelerle birlikte hava kirlilik derecesinin yüksek seviyelere çıkmasına neden olmaktadır. Sanayi faaliyetleri, trafik, vb. aktiviteler mega şehirlerin temel hava kirliliği kaynaklarıdır. Trafik, mega şehirlerdeki hava kirliliğinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Her geçen gün Dünya’da araç sayısı artarak bu oranı gittikçe yükseltmektedir. İstanbul, Londra, New York, Paris, Pekin gibi büyük mega şehirlerde trafik sıkışıklığı nedeniyle akış hızının düşmesi lokal ve bölgesel kirlilik seviyesini artırmaktadır. Şehirleşmenin büyük bir kısmı 1-5 milyon nüfuslu kentsel alanlarda gerçekleşmesine rağmen, 10 milyon veya daha fazla nüfusu olan mega şehirler bu gelişimde önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle mega şehirlerde insanlar çeşitli sağlık sorunları ile karşı karşıya kalmaktadır (UN-HABITAT, 2006).

Geçmişte hava kirliliğine neden olan başlıca nedenler, endüstriyel faaliyetler ve evsel ısınma olurken; günümüzde mobilitenin artmasının bir sonucu olarak, mevcut kentsel hava kirlleticileri trafikten kaynaklı olmaktadır (Borrego ve diğ., 2000). Trafik, kentsel alanlardaki aerosol emisyonlarının en önemli kaynaklarından biridir. Doğrudan dış ortamda bulunan insanları ve hatta iç ortam hava kalitesinde etkilemektedir (Hofman ve diğ., 2013). Motorlu taşıtlar, yerel,

bölgesel ve global ölçekte hava kirliliğine etki eden önemli kaynaklardır (Jain ve Khare, 2010). Gelişmekte olan ülkelerin mega kentlerinde motorlu araç taşımacılığındaki artan değişim, hava kirleticilerinin seviyelerini yükseltmektedir (Kumar ve diğ., 2013). Motorlu taşıtlar, kentsel alanlardaki partikül madde (PM), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x) ve metan harici hidrokarbonlar (NMHC) gibi hava kirleticilerinin ana kaynağıdır (Hung-Lung ve Yao Sheng, 2009). Ayrıca trafiğin yaydığı atmosferik partiküllerin iki ana bileşeni (hem dizel hem de benzin) organik karbon (OK) ve elementel karbondur (EK) (Fraser ve diğ., 1999). Yoğun trafik emisyonlarından kaynaklı hava kirleticileri; astımın şiddetlenmesine, akciğer fonksiyonlarının bozulmasına, kardiyovasküler hastalıkları ve bu hastalığa bağlı ölen insan sayısının artmasına, istenmeyen doğum sonuçlarının yükselmesine ve bilişsel yeteneğin azalmasına neden olan olumsuz sağlık etkilerine neden olmaktadır (Batterman ve diğ., 2014; Tsai ve diğ., 2010).

İstanbul'da hava kirliliği 1980'lerden itibaren günümüze Türkiye'nin en önemli çevre sorunlarının biri haline gelmiştir. Şehir 1980 yılların sonlarından itibaren, çoğunlukla evsel ısınma ve endüstriyel yanma amaçlı olarak kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan önemli PM ve SO₂ episotlarına maruz kalmıştır (İncecik ve İm, 2013). 1990'lı yılların ortalarından itibaren, evsel ısınma ve endüstride doğalgazın yaygın olarak kullanılması sonucu, SO₂ kirliliği şehirde zamanla çok düşük seviyelere gerilemiştir (İncecik ve İm, 2012). Şehrin ana emisyon kaynakları; motorlu taşıtlar, endüstriyel prosesler, inşaat faaliyetleri, konutlarda ısıtma ve gemi emisyonlarıdır (Ünal ve diğ., 2011). Ayrıca sınır ötesi kirletici madde taşınımı, İstanbul'un hava kalitesini önemli derecede etkilemektedir. İlk bahar aylarında Sahra çöl tozu taşınımı gerçekleşmektedir (Karaca ve diğ., 2009). 1990'lı yıllardan bu yana otomobil sayısındaki hızlı artış nedeniyle İstanbul'daki trafik kaynaklı emisyonlar artmıştır (Çapraz ve diğ., 2017). Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK) verilerine göre, İstanbul'da 4.061.725 motorlu araç bulunmakta (TUIK, 2017), her geçen gün trafiğe yeni araçlar eklenmekte ve bu emisyon kaynağının kontrol edilmesi güçleşmektedir. Günümüzde İstanbul, farklı emisyon kaynaklarına bağlı olarak özellikle partikül madde ve NO₂ kirliliğine sahiptir (İncecik ve İm, 2012; Özdemir ve diğ., 2014).

Yollarda meydana gelen trafiğe bağlı emisyonlar kentsel alanlardaki toplam partikül madde (PM) konsantrasyonlarına büyük etki oluşturmuş ve araç emisyonlarından PM'ye maruz kalan insanlarda çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkmıştır (Mauderly, 1994; Buckeridge ve diğ., 2002; Fan ve diğ., 2006; HEI, 2010; Masiol ve diğ., 2012; Rissler ve diğ., 2012). Karayolu

araçlarından gelen PM emisyonları; araç egzozu, fren, lastik ve debriyaj gibi araç parçalarının aşınması ve tozun yeniden havaya karışması sonucu oluşmaktadır. Araçlardan meydana gelen emisyonlar ağırlıklı olarak ince partikül maddelerin oluşumuna neden olmaktadır (Abu-Allaban ve diğ., 2003; Tervahattu ve diğ., 2006; Thorpe ve diğ., 2007; Kam ve diğ., 2012). Çevre ortamındaki PM, sadece çok kirli ortamlarda değil, genel halk sağlığı için de büyük bir tehdit oluşturmaktadır (WHO, 2013a). 2005 yılında, PM_{2.5} ve O₃, solunum hastalıklarından 773.000, akciğer kanserinden 186.000 ve kardiyovasküler hastalıklardan 2 milyon kişinin ölümüne neden olmuştur (Lelieveld ve diğ., 2013).

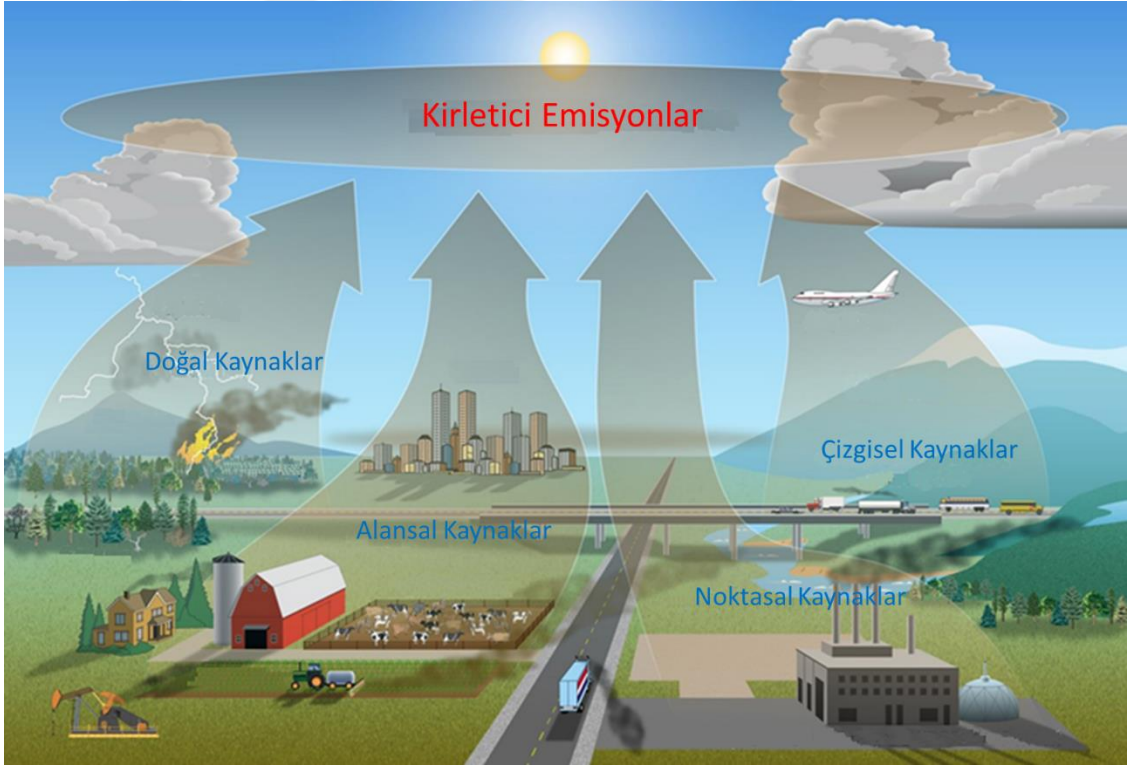
Kentsel bir ortamdaki atmosferik ince partikül maddelerin önemli bir kısmı (%20-80) karbon kaynağından oluşmaktadır (Nunes ve Pio, 1993; Rogge ve diğ., 1993). Karbonlar, aerosollerin en az anlaşılan bileşenlerinden biridir (Saarikoski ve diğ. 2008). Karbonlar genellikle elementel karbon (EK, bazen siyah karbon veya grafit karbon olarak anılır) ve organik karbon (OK) olarak iki fraksiyona ayrılır. EK, yanma işlemlerinde oluşan birincil kirletici iken OK, birincil kaynaklardan ve ikincil oluşum proseslerinden kaynaklanan birçok bileşik grubunun karmaşık bir karışımıdır (Seinfeld ve Pandis, 2006). EK ve OK, atmosferik kimya ve fizikte önemli olmasına rağmen, mekansal ve zamansal değişkenliklerine ilişkin bilgiler oldukça sınırlıdır. Kurşunsuz benzinli ve dizel yakıtlı araçlar tarafından yayılan temel aerosol bileşenleri organik ve elementel karbondur (Fraser ve diğ., 1999). EK ve OK, iklim ve ekosistem üzerinde ciddi etkilere sahip kirleticidir. Organik karbon ışığı yansıtarak iklim üzerinde soğutma etkisi yaratır. Buna karşılık, elementel karbon güneş ışığını emer ve ısınmaya neden olur (Torres ve diğ., 2014). Ayrıca görünürlük bozulmasına ve doğrudan iklimsel değişikliği etkisine önemli ölçüde etki eder (Malm ve diğ., 2000; Tegen ve diğ., 1997).

Bu tez çalışmasının amacı; İstanbul kentinde seçilen bir bölgede, trafik kaynaklı ince partikül madde kirlilik düzeyinin tespit edilmesidir. Bu amaçla; yol kenarındaki PM_{2.5}, organik ve elementel karbon konsantrasyonlarına yoğun araç trafiğinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmada ince partikül maddelere ait organik ve elementel karbon seviyesi belirlenmiş, bunun yanında PM_{2.5}, OK ve EK konsantrasyonları mevcut meteorolojik şartlar, araç sayısı göz önünde bulundurularak değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Yoğun araç trafiğinin bulunduğu bir konumda yaşayan insanların ince partikül maddelerin (PM_{2.5}) sağlık açısından yüksek derecede maruz kaldığı yönünde bulgular elde edilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. HAVA KİRLİLİĞİ VE KAYNAKLARI

Hava kirliliği, havadaki katı, sıvı ve gaz formundaki yabancı maddelerin çevre ve insan sağlığına zararlı olacak düzeylerde dış ortamda belli bir zaman aralığında bulunmasıdır. Hava kirliliği kaynakları doğal ve yapay etkiler sonucu oluşmaktadır. Yanardağ faaliyetleri, orman yangınları, çöl tozları, açık arazilerde hayvan türlerinin ve bitki örtüsünün bozulması doğal kaynaklı hava kirliliğini oluştururken; ısınma, ulaşım, sanayi gibi etkiler ise yapay kaynaklı hava kirliliğine neden olmaktadır (Müezzinoğlu, 2005). Hava kirliliği kaynakları alan, nokta, çizgi ve doğal kaynak olarak sınıflandırılmaktadırlar. Hava kirliliği kaynakları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Hava kirliliği kaynakları (NPS, 2018).

2.1.1. Noktasal Kaynaklar

Noktasal kaynaklar; fabrikalar, sanayi ve enerji santralleri gibi belirli yerde bulunan sabit kaynaklardır. Bu emisyonlar, atmosfere tek bir nokta kaynağı olan bir baca ya da delik yoluyla atmosfere yayılır (Environment Agency, 2000). Bu işletmelerde üretim amacıyla ihtiyaç duyulan enerjinin kazanılması için kullanılan yakıtın yanması sonucu atmosfere hava kirleticileri salınmaktadır. Ayrıca noktasal olarak fırınlarda ve açık arazide katı atıkların yanması sonucu kirlilik meydana gelmektedir (Toros, 2000). Nokta kaynakları örnekleri arasında enerji üretimi, rafineriler, demir çelik ve diğer büyük yakma proseslerine sahip tesisler yer almaktadır. Çoğu endüstriyel nokta kaynakları, kirleticilerin zemin seviyesine ulaşmadan önce yeterli seyreltme sağlamak için yeterli bir yükseklik olan bacalar aracılığıyla atmosfere yayılır (Şekil 2.2). Ancak, bazı meteorolojik koşullar, bu dağılımın etkinliğini önleyebilir veya azaltabilirler. Bu nedenle noktasal kaynaklardan etrafa yayılan kirleticiler yer seviyesinde kaynağın yakınında kalarak ve kötü hava kalitesine neden olurlar (Environment Agency, 2000).



Şekil 2.2: Hava kirliliği noktasal kaynakları (EA, 2000).

2.1.2. Çizgisel Kaynaklar

Çizgisel kaynaklar; genellikle ulaşım alanındaki ve aynı zamanda çizgi halindeki nokta kaynakları (körfezler, nehir boyları gibi belli bir doğrultuda sıralanmış kaynaklar) oluşturmaktadır. Bu kaynak grubuna ait yolcu ve yük taşıyan motorlu araçlar yüksek oranda

emisyona değerine sahip ve önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu araçlar benzin, mazot ve gaz tribüne sahip içten yanmalı motorla çalışmaktadırlar. Bu kaynaklardan yanma olayları sonucu karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partiküller madde (PM) kirletici olarak atmosfere karışmaktadır (Şen, 1996). Karbon monoksit, hidrokarbon ve azot oksitler açısından en yüksek emisyonlar motorlu taşıtların etkisiyle oluşmaktadır (İncecik ve diğ., 1994).

Trafikten kaynaklanan hava kirliliği, kentsel alanlarda konutlar ve sanayi tesisleri gibi sabit emisyon kaynaklarından oluşan hava kirliliği kadar önemlidir. Özellikle, son yüzyılda teknolojinin hızla gelişmesi ve artan nüfus nedeniyle motorlu taşıt sayısında hızlı bir artış olmuştur. Sonuç olarak insan sağlığına zarar verecek seviyelerde taşıtların egzozlarından çıkan atmosfere yayılan kirletici konsantrasyonları artmıştır (Willers ve diğ., 2009; Slezakova ve diğ., 2011; Host ve diğ., 2012; Keuken ve diğ., 2012).

Motorlu taşıtların çevreye yaydığı kirleticiler, atmosferde gaz ve partikül fazda olmak üzere yüzlerce bileşikten oluşmaktadır (Sjodin ve diğ., 1994; Sjodin ve diğ., 1995; Nikolaou ve diğ., 2002; Xie ve diğ., 2003). Motorlu taşıtlardan meydana gelen temel kirleticilerin başında karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), partikül madde (PM), azot oksitler (NO_x) ve uçucu organik bileşikler (UOB) gelmektedir (Seinfeld ve Pandis, 2006). NO_x ve UOB'lerin troposferik ozon (O₃) oluşumunda büyük payı bulunmaktadır. Ozon, oksijenin aktif bir halidir ve hidrokarbonlar ile azot oksitlerin de bulunduğu, güneş ışığının da etkisiyle çok sayıda kompleks kimyasal reaksiyon sonucu oluşur.

2.1.3. Alansal Kaynaklar

Alansal kaynaklar, bir coğrafi bölgeye (ilçe, il) dağılmış olup, birden fazla sabit kaynakları içerir. Bu grupta bulunan kaynaklardan ev ısınma en önemlisidir. Ülkemizde doğalgaz kullanımının giderek artmakta ve kükürt değeri az, kalorifik değeri yüksek ithal, yerli veya ikisinin karışımı kömür türleri yakıt olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ısıtma amacıyla kullanılan diğer yakıt cinsleri de fuel-oil, motorin, kerosen, gaz ve odundur. Evsel ısınma ve enerji temininde kullanılan fosil yakıtlar içerisinde en büyük oran kömür ve petrol kullanımına aittir. Kullanılan yakıtın kalitesi alansal kaynaklardan gelen hava kirliliğini çok fazla etkilemektedir (Toros, 2000).

2.1.4. Doğal Kaynaklar

Doğal hava kirliliği kaynakları, doğal olaylar sonucu ortaya çıkan insan etkisinin olmadığı kirleticilerdir. Hava kirlenmesine neden olan doğal kaynaklar; volkanlar, orman yangınları, tozlar, okyanus spreyleri, buharlaşma ve biyogenik faaliyetler olarak sıralanabilir.

Yanardağ patlamaları ile birlikte, magma tabakasından gelen zengin ve çeşitli gazlar atmosfere yayılır. Volkanlar; önemli miktarlarda kükürt dioksit ve partikül madde atmosfere yayan bir kaynak olma özelliğine sahiptirler.

Biyogenik kirleticiler; uçucu organik bileşikler, sporlar, polenler, mantarlar gibi türlere sahip, atmosfere yılın değişik zaman aralıklarında salınan kirleticilerdir. Daha çok bitkisel kaynaklı olan biyogenik kirleticiler çeşitli mikroorganizma aktiviteleri sonucu da atmosfere karışmaktadır.

Orman yangınlarının partikül madde olarak en önemli durağan kaynaklardan olduğu ve diğer doğal yangınlarla beraber atmosfere önemli miktar ve yoğunlukta kirletici gaz ve tozları yaydığı bilinmektedir.

Okyanus Spreyleri, okyanuslar ve denizler üzerinde tuz spreyleri şeklinde oluşurlar. Buharlaşma ve rüzgarlarla atmosfere yükselirler. Okyanus ya da denizlerden kaynaklanan çeşitli anyon ve katyonlar en önemli kirleticilerdir.

Çeşitli ortamlardan buharlaşma yoluyla atmosfere yayılan kirleticiler bir önemli kirletici grubunu oluşturmaktadırlar. Orman alanlarının fotokimyasal reaksiyonlar sırasında buharlaşma özelliğine sahip hidrokarbonların atmosfere salınması ve eser gazların önemli bir kısmının okyanus ve büyük su yüzeylerinden atmosfere karışarak buharlaşma yolu ile atmosfere salınan en iyi kirletici örnekleri temsil etmektedir (Boubel ve diğ., 1994; Müezzioğlu, 2005).

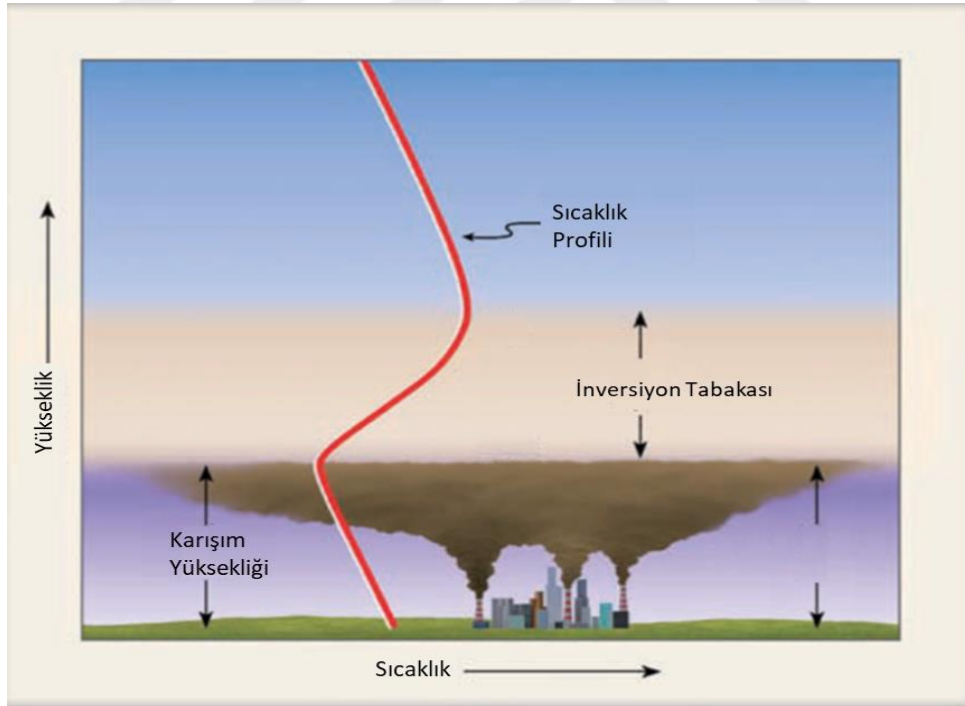
2.2. HAVA KİRLİLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Hava kirliliği birçok farklı parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bu parametreler meteorolojik koşullar, topoğrafik özellikler ve yakıt ve yakma sistemleridir.

2.2.1. Meteorolojik Faktörler

2.2.1.1. Sıcaklık ve İncersiyon

Atmosferde normal olarak yerküreden yukarı doğru sıcaklık azalmaktadır. Hava olayları bazı zamanlarda bu duruma ters özellik gösterebilir. Bir yerde sıcaklık önce artış sonra azalma özelliğine sahip ise bu olay sıcaklık terslemesi ya da incersiyon olarak adlandırılır (Şekil 2.3). Hava kirli olduğu durumlarda incersiyon etkisi insanlar ve diğer canlılar için olumsuz durum oluşturur. Atmosfer şartlarında normal olarak yükseklikle sıcaklığın düşmesi veya alçaldığında aynı derecede artması olayına dikey sıcaklık gradyanı (Lapse-rate) denir. Kuvvetli adyabatik lapse-rate olayında hava yukarı yönde güçlü hareket eğilimi gösterir. Adyabatik değişim hızı olayı kuru ve yaş olarak iki şekilde görülmektedir. Hava kuru adyabatik değişim hızı olduğunda nem yönünden fakirdir ve her 100 m yükseldikçe sıcaklık $0,98\text{ }^{\circ}\text{C}$ azalmaktadır. Yaş adyabatik lapse-rate koşullarında ise hava nem yönünden doymun özelliğe sahip olarak her 100 m yükseldikçe sıcaklık $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ azalır (Karpuzcu, 2004).



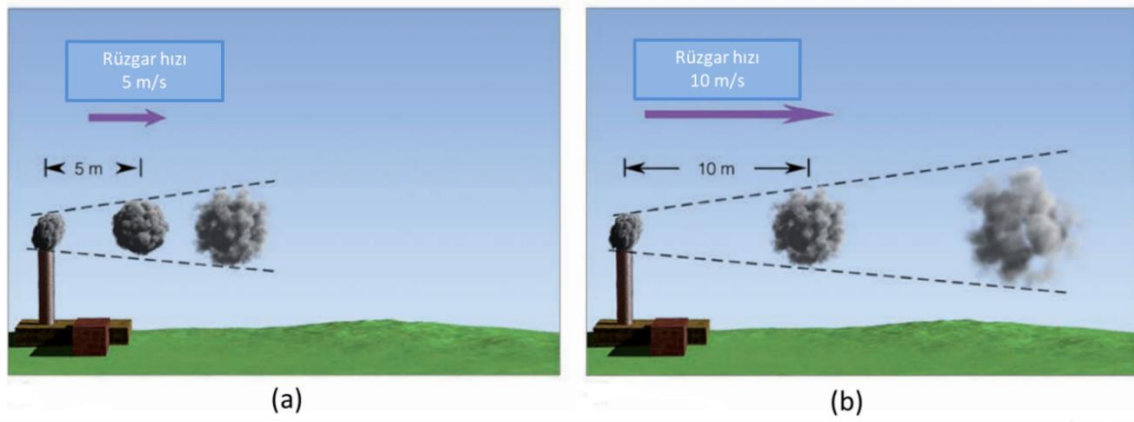
Şekil 2.3: İncersiyon ve karışım tabakası (Ahrens, 2009).

2.2.1.2. Bulutluluk

Bulutlar, güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasını önleyerek hava kirliliğini dolaylı olarak etkilemektedirler. Yeryüzünün güneşlenmesi bulut örtüsünün sıklığı ve kalınlığına bağlı olarak azalmaktadır. Bunun bir sonucu olarak gökyüzünün 8,1-10 oranında bulutla kaplı olduğu günler güneş etkisinin en az, ısınma ihtiyacının maksimum olduğu günlerdir. Böylece kapalı günlerdeki kış aylarında havada ısınmadan kaynaklanan emisyonların artmasına neden olmaktadır (Keser, 2002).

2.2.1.3. Rüzgar

Rüzgar, hava içerisindeki kirleticilerin dağılması veya uzaklaşmasına neden olan en önemli meteorolojik parametredir. Bu nedenle hava kirliliği önleme çalışmalarında özellikle yüksek emisyon değerlerine sahip bölgelerde rüzgarların; yönü, hızı ve esme sıklığı (frekansı) özelliklerinin tam anlamıyla belirlenmelidir (Keser, 2002). Rüzgar hızının kirletici madde konsantrasyonlarına etkisi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Rüzgar hızının düşük olduğu (a) ve yüksek olduğu (b) durumdaki kirletici madde konsantrasyonu (Ahrens, 2009).

2.2.1.4. Basınç

Alçak basınç (siklon) alanlarındaki hava hareketleri çevreden merkeze doğru, saat yönünün tersine (kuzey yarımkürede) olup, havanın düşey doğrultuda yükselmesini sağlar. Yükselen havada, soğumanın etkisi sonucunda yoğunlaşma olduğu için rüzgar hızının artmasına ve yağış

oluşumuna neden olmaktadır (Erinç, 1996; Erol, 1999). Bu nedenle alçak basınç merkezleri kirli havanın uzaklaştırılması açısından olumlu etki göstermektedir. Yüksek basınç (antisiklon) alanlarında ise merkezden çevreye doğru, saat hareketi yönünde hava hareketi vardır. Bu koşulda havanın düşey yönde alçalması sonucunda ısı artışı gerçekleştiği için rüzgar ve yağmur oluşumları beklenemez. Havanın, dolayısıyla kirleticilerin zemine doğru hareket ettiği yüksek basınç merkezleri açıklandığı gibi yağışsız ve durgun hava koşullarına da sahip olduğu için hava kirliliği bakımından olumsuz etkilere neden olur (Karpuzcu, 1996).

2.2.1.5. Nisbi Nem ve Sis

Nem, kirli hava açısından olumsuz bir etki göstermektedir. Atmosferin alt katmanlarında su buharının artışı, güneş ışınlarından gelen enerjinin yere yakın olan yüksekliklerde tutulması ve bu kısımların ısınmasına neden olur. Havanın içerdiği nem, miktar ve yoğunlaşma faktörlerine göre sis ve yağış oluşumlarına imkan verir. Bunlardan hava kirliliği açısından en önemli olan yoğunlaşma türü sistir. Havadaki kirletici konsantrasyonların fazla olduğu kış mevsimlerinde sis oluşumu, SO₃ (kükürt trioksit) ile havadaki su taneciklerinin (H₂O) reaksiyonu sonunda, canlıların hayatı açısından çok tehlikeli olan sülfürik asit (H₂SO₄) oluşumuna sebep olmaktadır. Sisin ikinci önemli etkisi de güneş ışınlarının yere ulaşmasına ve radyasyonla geri dönmesine engel bir ortam oluşturmasıdır. Sonuç olarak çanak ve vadi morfolojisi özelliğine sahip alanlarda oluşan inversiyon tabakası ve içerdiği kirli hava, sis dağılıncaya kadar ortamda kalır (Karpuzcu, 1996).

2.2.1.6. Yağış

Yağış, atmosferdeki hava kirliliğine neden kirleticileri beraberinde yeryüzüne indirmesiyle kirlilik açısından olumlu etkendir. Yağış çeşitleri arasında kirlilik azaltma etkisi fazla olan yağmurdur. Yağmur taneleri havadaki katı ve gaz formundaki kirleticilerin birçoğunu atmosferden alarak yeryüzüne indirir. Böylece katı ve küçük taneli zerrelere; yağmur taneleri ile tutularak ve havadan uzaklaştırılırlar (Şahin, 1987). 15 dakikalık sürekli yağışın olduğu bir çevrede, havada bulunan 10 mikrona kadar olan kirleticilerin %28'i temizlenmektedir. Ancak bu temizleme gücü partikül çapına bağlı olarak azalmaktadır. Yağmur damlaları gaz şeklindeki bazı kirleticileri eriterek tutarken, kar şeklindeki yağış olaylarında da havanın temizlenmesini sağlamaktadır (Güney, 2002).

2.2.2. Topoğrafik Özellikler

Topoğrafya etkisi yani yüzey şekilleri, kirleticilerin hapsolması ya da dağılması açısından oldukça önemli etkiye sahiptir. Bu özelliğe jeomorfoloji de denmektedir. Çevresi yükseltilerle çevrili havza alanları, hava sirkülasyonunun sınırlı olan bölgelerdir. Jeomorfolojik özellikler; hava kirliliğine etkileyen, kirlenmenin doğrudan sebebi olmayan, kirletici emisyonlarının havada kalma süresi ve miktarını denetleyen büyük etkiye sahiptir (Sungur, 1974-1977; Şahin, 1987; Şahin ve Sipahioğlu, 2002). Jeomorfolojik yapının hava kirlenmesindeki etkisi, havza, çanak veya oluk özelliğindeki alanda etkili olan hakim rüzgar yönüne ve kentsel veya endüstriyel alanların bu havza içindeki konumlarına bağlı olarak artmakta veya azalmaktadır (Keser, 2002).

Gece saatlerinde soğuk hava düşük yükseltiyeye sahip havzalarda ve vadilerde aşağıya doğru çökmektedir (Şekil 2.5). Soğuk havanın yüzey üzerinde birçok etki göstermektedir. Bunlardan biri var olan inversiyonu artırması ve diğer bölgelerden kirleticileri de havzaya ya da vadi tabanına doğru sürüklemektedir.



Şekil 2.5: Gece vakitlerinde soğuk havanın vadi tabanına çökmesinin kirleticiler üzerindeki etkisi (Ahrens, 2009).

Vadilerin etrafındaki dağlar ve yüksek tepeler bölgeye ulaşan rüzgarlara engel olmakta ve hızını düşürme eğilimi gösterirler. Bu durumda vadi tabanında yeterli karışım olmamasına neden

olmaktadır. Bu yüzden de kirleticiler atmosferde karışamaması sonucu bölge üzerinde birikmeye başlarlar (Ahrens, 2009). Plansız yapılaşma ve yeşil alanların azalması hava kirliliğini artırmıştır. Yüksek binalar ve gökdelenler rüzgarların geçişini engellemesi sebebiyle hava akımları sağlıklı olmayacağından atmosferdeki dengeyi değiştirmektedir (Saraç, 2015).

2.2.3. Yakıtlar ve Yakma Sistemleri

Hava kirliliğine neden olan kaynaklar genel olarak yakıt ve yakma işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Baca ve kaloriferler ısınma amaçlı birer yakma sistemleridir. Sanayi tesislerinin büyük çoğunluğunda ısı üretmek için yakma tesisleri vardır. Yakma sistemlerinde hem katı yakıtlar hem de doğalgaz, bütan, propan gibi sıvılaştırılmış petrol gazları gibi gaz yakıtlarda kullanılmaktadır. Yakma tesisleri işlemleri sonucu çıkan hava kirleticileri yakıt türü ve kalitesi, yakma tesisi tipine ve yanma verimine göre değişkenlik göstermektedir (Goncaloğlu, 2001).

2.3. HAVA KALİTESİ STANDARTLARI

Temiz hava, insan sağlığının iyi olması ve insanların refahı için temel şartlardan biridir. Bu nedenle hava kirliliği, dünya çapında önemli bir çevre sorunu olmaya devam etmektedir. Hava kirleticileri için müsaade edilen limit değerleri aşırsa, insan sağlığı için ciddi tehdit oluşturacak durumlar ortaya çıkabilmektedir (WHO, 2000; U.S. EPA, 2008). Havanın kalitesi, hem doğal hem de antropojenik kaynaklardan gelen kirleticilerin çeşitli emisyonlarının yanı sıra, kimyayı ve atmosferin meteorolojisini içeren birçok faktörün karmaşık etkileşiminin sonucudur. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) hava kirliliğine bağlı olarak ortaya çıkan hastalık etkisine ilişkin değerlendirmesine göre, yılda iki milyondan fazla erken ölüm, çoğunlukla kentsel alanda iç ve dış ortamda katı yakıtların yakılmasından kaynaklanan hava kirliliğinin etkilerine bağlanmaktadır (WHO, 2000, 2002, 2005).

Hava kalitesi standartları (HKS), ülkelerin kendi vatandaşlarının halk sağlığını korumak için belirlendiği ve ulusal risk yönetimi ve çevre politikalarının önemli bir bileşenidir. Bu standartları belirlemek amacıyla, hava kirletici konsantrasyonları, nüfus maruziyetlerini temsil eden izleme bölgelerinde ölçülmelidir. Hava kirliliği seviyeleri; yollar, enerji santralleri ve büyük sabit emisyon kaynakları gibi belirli hava kirliliği kaynakları çevresinde daha yüksek olabilir. Bundan dolayı, bu çevrelerde yaşayan insanların sağlığının korunması amacıyla, kirleticileri limit değerlerin altına getirmek için özel önlemler gerekebilmektedir. Ulusal hava

kalitesi standartları; sağlık risklerinin, teknolojik şartlar, ekonomik değer ve diğer çeşitli politik ve sosyal faktörlerin dengelenmesi için benimsenen yaklaşıma göre değişmektedir (Beig, 2010). WHO, EPA, EEA ve ülkemizdeki uygulanan hava kalite standartları ve limit değerleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Ülkemizde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen “Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği”, üzerinden hava kirleticilerine ait sınır değer belirtilmektedir.

Tablo 2.1: Birincil kirleticiler için hava kalitesi standartları ve limit değerleri.

Kirleticisi	WHO ^a	EPA ^b	EEA ^c	Türkiye ^d
SO ₂	500 µg/m ³ (10 dk)	195 µg/m ³ (1 saat)	350 µg/m ³ (1 saat)	500 µg/m ³ (1 saat)
	20 µg/m ³ (24 saat)	1300 µg/m ³ (3 saat)	125 µg/m ³ (24 saat)	250 µg/m ³ (24 saat)
NO ₂	200 µg/m ³ (1 saat)	188 µg/m ³ (1 saat)	200 µg/m ³ (1 saat)	300 µg/m ³ (24 saat)
	40 µg/m ³ (1 yıl)	100 µg/m ³ (1 yıl)	40 µg/m ³ (1 yıl)	60 µg/m ³ (1 yıl)
PM ₁₀	50 µg/m ³ (24 saat)	150 µg/m ³ (24 saat)	50 µg/m ³ (24 saat)	100 µg/m ³ (24 saat)
	20 µg/m ³ (1 yıl)		40 µg/m ³ (1 yıl)	60 µg/m ³ (1 yıl)
PM _{2.5}	25 µg/m ³ (24 saat)	35 µg/m ³ (24 saat)	25 µg/m ³ (1 yıl)	-
	10 µg/m ³ (1 yıl)	12 µg/m ³ (1 yıl)		
O ₃	100 µg/m ³ (8 saat)	157 µg/m ³ (8 saat)	120 µg/m ³ (8 saat)	
		235 µg/m ³ (1 saat)		120 µg/m ³ (8 saat)
CO		40 mg/m ³ (1 saat)	10 mg/m ³ (8 saat)	
	-	10 mg/m ³ (8 saat)		
Pb	-	0.15 µg/m ³ (3 ay)	0.15 µg/m ³ (1 yıl)	1 µg/m ³ (1 yıl)

a: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>

b: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>

c: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

d: <http://www.ibb.gov.tr/sites/CevreKoruma/HavaKalitesi/Documents/LimitDegerler.pdf>

HKS, genellikle ulusal olarak belli kanunlara dayanır ve yasal olarak bağlayıcıdır. Dünyaya bakıldığında çoğu HKS toplu olarak ölçüt kirleticiler olarak adlandırılan ozon, partikül madde, kükürt oksitler, azot oksitler, karbon monoksit ve kurşun gibi önemli kirleticiyi kapsar. Ülkeler genellikle aynı tipteki hava kirleticileri için standartlara sahip olsalar da, sınır değerler oldukça farklıdır. Uluslararası standartlara bakıldığında ortaya çıkan diğer önemli durum ise, ortalama değerlerin ve birimlerin birbirinden farklı olmasıdır. Kirletici türleri için bazı durumlarda limitler ortalama 1 saat, 8 saat ve 24 saat olarak belirtilir. Bu değişkenlik, karşılaştırmayı daha zor hale getirmektedir.

2.4. HAVA KİRLİLİĞİNE NEDEN OLAN KİRLETİCİLER

2.4.1. Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit (CO), fazla miktarda solunduğunda zararlı olabilen renksiz ve kokusuz bir gazdır. Doğal ve yapay kaynaklar sonucu oluşabilmektedir. Doğal olarak; bitkilerin çürümesi sonucu oluşan metan gazının oksidasyonu ile her yıl 3.5 trilyon ton CO oluştuğu hesaplanmıştır (Şahin, 2005). Yanma olayları sonucunda karbon monoksit ortaya çıkar. Dış hava ortamı için en büyük CO kaynakları fosil yakıt kullanan araba, kamyon vb. araçlardır. Dünyadaki CO emisyonunun yaklaşık olarak %70'inden fazlası ulaşım nedeniyle meydana gelmektedir. Ayrıca bütün dünyada karbon monoksit oluşumunun aşağı atmosferde kalması durumunda, her yıl 0.03 ppm bu kararlı gazın artacağı hesaplanmaktadır (İncecik, 1994). Karbon monoksit, kandaki oksijenin taşıma kapasitesini azaltarak ve oksijeni vücuda aktarmak için daha az hemoglobin bırakan karboksihemoglobinin (COHb) oluşturur (Roth ve diğ., 2011). İnsan sağlığı bakımından etkisi, hemoglobine bağlanması oksijenden yaklaşık 240 kat daha fazla olduğundan kandaki hemoglobin ile birleşerek COHb'i oluşturması ve böylece hücrelere oksijen taşınımını engellemesidir. CO'nun maruz kalınan süre ve konsantrasyona bağlı olarak etkileri değişmektedir. Karbon monoksitle zehirlenmenin ilk belirtisi, gribe benzemektedir. Baş ağrısı, uyuklama, yorgunluk, nefes kesilmesi, bulantı ve baş dönmesi şeklinde de etkisini gösterebilir. Karbon monoksitten zehirlenen çoğu kişiler grip olduğunu zannederek yanılırlar. Takip eden etkisi bilinç kaybı, solunum hastalığı ve ölümdür (Öztürk, 2011).

2.4.2. Kükürt Oksitler (SO_x)

Kükürt oksitler, SO, SO₂, SO₃ ve SO₄²⁻ formunda türlere sahip olup, genel olarak SO_x olarak ifade edilmektedir. Atmosferde en çok, kükürt dioksit (SO₂) ve kükürt trioksit (SO₃)

olarak bulunmaktadır (Özdemir, 2006). SO₂, önemli bir hava kirletici olarak kabul edilen renksiz, yüksek oranda reaktif bir gazdır. Çoğunlukla fosil yakıt tüketimi, doğal volkanik faaliyetler ve endüstriyel prosesler sonucu oluşur. SO₂; bitki yaşamı, hayvan ve insan sağlığı için çok zararlı etkiye sahiptir. Akciğer hastalığına sahip kişiler, çocuklar, yaşlı insanlardan SO₂'ye daha fazla maruz kalanlar, deri ve akciğer hastalıkları için daha yüksek risk altındadır. ABD Çevre Koruma Ajansı'na (EPA) göre, SO₂'nin için yıllık standart seviyesi 0,03 ppm'dir. Sudaki çözünürlüğü nedeniyle, SO₂ asit yağmuru oluşumu ve toprağın asitlenmesine neden olmaktadır. SO₂, sudaki oksijen miktarını azaltır, hem hayvan hem de bitki dahil olmak üzere deniz canlılarının ölümüne neden olur. SO₂'ye maruz kalmak gözlerde (gözyaşı ve korneal opasite), mukozada, deride (kızarıklık ve kabarcıklar) ve solunum yollarında hasara neden olabilir. Bronkospazm, pulmoner ödem, pnömoni ve akut hava yolu tıkanıklıkları, SO₂'ye maruziyetle ilişkili en yaygın bulgulardır (Ghorani-Azam ve diğ., 2016; Chen ve diğ., 2007).

2.4.3. Azot Oksitler (NO_x)

Azot oksitler (NO_x), atmosfer üzerinde önemli zararlı etkiye sahip olan başlıca hava kirleticilerdir. Fosil yakıtların yanması sırasında yüksek sıcaklıkta, yanan hava ve kömürün içerisindeki azot; nitrik azot oksit (NO) ve azot dioksite (NO₂) dönüşür. NO ve NO₂ genellikle NO_x olarak ifade edilir. Atmosferde NO, güneş ışığı ile NO₂'ye okside olur. NO_x toksik etkiye sahiptir. NO_x sadece hava kirliliğine neden bir kirletici değildir. Ayrıca asit yağmurları ve ozon oluşumuna neden olur (U.S. EPA, 1999). Asit yağmurları; sudaki ekosisteme ve binalardaki yapılara korozyon gibi zarar verici etkiye sahiptir. Yüksek oranda NO₂ maruziyeti, akciğer hasarı, astım, solunum gibi problemlere yol açabilir. Azot oksitler alt troposferde, insan ve doğa için toksik bir kirletici olan ozon oluşumuna neden olurlar (Atkinson, 2000; WHO, 2003).

2.4.4. Kurşun (Pb)

Kurşun (Pb), farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılan zehirli bir ağır metaldir (Balali-Mood ve diğ., 2010). Kurşunun ana kaynaklarına; maden ve metal prosesleri, atık yakma tesisleri, kurşun asitli pil üretim prosesleri, kurşun yakıtı kullanan uçak ve motorlu araçlar örnek verilebilir. Kurşun insan sağlığı açısından ciddi sağlık etkilerine neden olmaktadır. Fetüsler ve çocuklar düşük dozda bile Pb'ye oldukça duyarlıdır (Farhat ve diğ., 2013). Pb vücutta kan, kemik ve yumuşak dokuda birikir. Kolayca atılmadığı için Pb böbrekleri, karaciğeri, sinir sistemini ve diğer organları da etkileyebilir (Farhat ve diğ., 2005). Akciğerlerin Pb

absorbsiyonu, partikül büyüklüğüne ve konsantrasyonuna bağlıdır. Solunan ortam havasındaki Pb partiküllerinin yaklaşık %90'ı tutulacak kadar küçüktür. Alveoller boyunca tutulan Pb emilir ve toksisiteye neden olur. Pb, özellikle bebekler ve çocuklar gibi yüksek riskli gruplar için güçlü bir nörotoksik etkiye sahiptir. Zeka geriliği, öğrenme güçlüğü, hafıza bozukluğu, hiperaktivite ve antisosyal davranışlar, çocukluk döneminde görülen Pb'nin olumsuz etkileridir (Lidsky ve diğ., 2006; Lidsky ve diğ., 2003). Bu nedenle, ortam havasının Pb seviyesini azaltmak çok önemlidir (American Academy of Pediatrics Committee, 2005). Kardiyovasküler, renal ve üreme sistemleri dahil olmak üzere vücudun farklı bölümlerini etkileyebilir, ancak Pb toksisitesinin ana hedefi sinir sistemidir (Kianoush ve diğ., 2013).

2.4.5. Ozon (O₃)

Ozon, kimyasal formülüyle O₃, atmosferin ana bileşeni olan renksiz bir gazdır. Hem zemin seviyesinde, hem de troposfer olarak adlandırılan atmosferin üst kısımlarında bulunur. Yer seviyesindeki ozon, doğal kaynaklardan yayılan ve insan faaliyetlerine bağlı olarak azot ve uçucu organik bileşiklerin oksitleri arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu oluşur. Yer seviyesindeki ozonun, özellikle astım olmak üzere solunum yolu hastalıklarının oluşma riskine sahip olduğu düşünülmektedir (Gorai, 2014). O₃, birçok kentsel alanda ortaya çıkan konsantrasyonlarda insanlarda ve deney hayvanlarında çeşitli toksik etkilere neden olur (Lippmann, 1989).

2.4.6. Uçucu Organik Bileşikler (UOB)

Uçucu organik bileşikler (UOB), atmosfere önemli derecede buharlaşıp girmesi için yeterince yüksek buhar basınçlarına sahip karbon (2-10 karbon atomlu) bazlı bileşiklerdir. Havada alkanlar, alkenler, alkinler, halojenli hidrokarbonlar, aromatik hidrokarbonlar, terpenler, aldehitler, ketonlar ve alkoller gibi birçok farklı UOB türü bulunur. Bu bileşiklerin bazıları toksik veya kanserojendir ve bu nedenle havadaki konsantrasyonları için sınır değerleri vardır. (U.S. EPA, 2005a; EU, 2000). UOB'ler birçok açıdan atmosferik kimyayı etkiler. Atmosferde hidroksil kökleri, ozon, nitrat radikaller ve halojenler (Cl, Br, I) tarafından oksitlenirler (Young ve diğ., 2014).

2.4.7. Partikül Madde (PM)

Partikül maddeler (PM), katı veya sıvı parçacıklar tarafından oluşturulabilir ve emisyon kaynağı ve atmosferde taşınan fiziksel ve kimyasal dönüşümlerden etkilenen boyut, şekil ve kimyasal bileşim ile karakterize edilebilir (Finlayson-Pitts and Pitts, 2000). Karışım olarak toz, polen, kurum, duman ve sıvı damlacıkları içerir. Bazı partikül maddeler is ve duman gibi gözle görülecek kadar büyüklük ve koyulukta iken bazıları ise ancak bir elektron mikroskobu ile tespit edilebilecek kadar küçüktür (U.S. EPA, 2012).

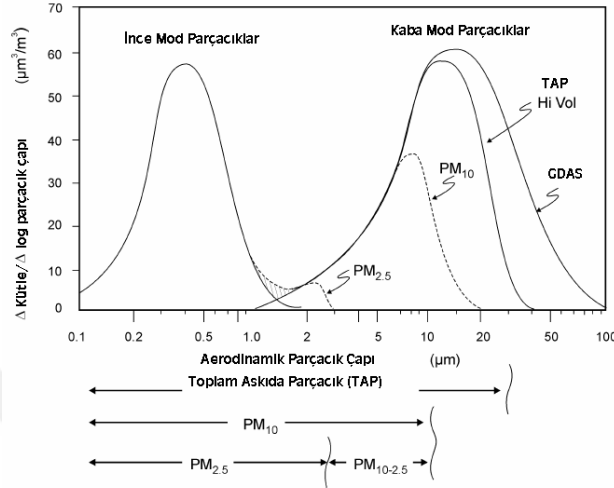
Partikül maddeler oluşumu açısından yakıtların yanması, dizel motorlar, inşaat ve endüstriyel faaliyetler, amonyak, sülfür ve azot oksitlerinin havada reaksiyonların meydana gelebilir. Ayrıca doğal olarak bitki polenleri ve yerden kalkan tozlar sonucu oluşabilir. Partikül madde, nitelik ve niceliği açısından; tanecik boyutları, yoğunluğu, kimyasal bileşimi ve sağlık etkileri potansiyeline bağlı olarak geniş çapta değişim gösterir (Çevre Atlası, 2004; Öztürk, 2007; Evyapan, 2006; Ertürk, 2002).

Partikül maddeler fiziksel olarak değerlendirilirken boyutuna bakılarak karar verilir. Partikül maddeler, şekil ve yoğunluklarına göre farklı boyutlara sahiptir. Partikül maddelerin boyutlarını hesaplamak için equivalent veya aerodinamik çaplarına bakılır. Aerodinamik çap, partikül çökme hızı ile aynı hıza sahip olan birim yoğunluktaki bir kürenin çapıdır. (Kahramantekin, 2006). Aerodinamik çap partikül maddelerin havada taşınması, solunum sistemi içerisindeki yeri, kimyasal bileşimi ve kaynakları için önemlidir.

Partikül maddelerin, havadaki konsantrasyonu " $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ", büyüklüğü " μm ", iyonik aerosollerin konsantrasyonu ise "ppb" olarak ifade edilmektedir (Tünay ve Alp, 1996; Müezzinoğlu, 2005). Partikül maddeler; morfolojik, fiziksel, kimyasal ve termodinamik özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır (Wilson ve diğ., 2002). Havadaki partikül madde türleri ve özellikleri oluştukları kaynağa, oluşum şekline, boyutlarına, boyut dağılımlarına, biçimlerine, yoğunluklarına, içerdikleri özel bileşenlere ve buldukları ya da yayıldıkları ortama göre değişkenlik göstermektedir (Wilson ve diğ., 2002; Ertürk, 2002).

Partikül maddelerin çok ince ve havada koloidal süspansiyon oluşturan kısmına aerosol ($50 \mu\text{m}$ 'den daha küçük çaplı partiküller) denir. Partikül maddeler kaba ve ince olarak iki kısımda incelenmektedir. Kütle ve bileşimi açısından; aerodinamik çapı $2,5 \mu\text{m}$ 'den büyük olanlar kaba partiküller, aerodinamik çapı $2,5 \mu\text{m}$ 'den küçük olanlar ise ince partiküller olarak adlandırılırlar

(U.S. EPA, 2012). Ayrıca 0,1 μm altında bulunanlara ise çok ince (ultra fine) partiküller denir. Partikül maddelerin normal olarak gözlemlenen ince ve kaba parçacıklar halinde bölünmesini gösteren ideal bir dağılımı Şekil 2.6’te gösterilmiştir.



Şekil 2.6: İnce ve kaba modları ve çeşitli örnekleme cihazları ile toplanan kısımları gösteren partikül maddenin ideal boyut dağılımı (Wilson ve Suh, 1997).

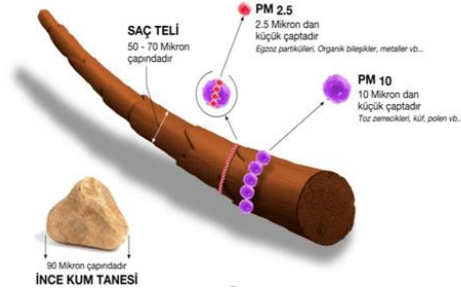
Mevcut örnekleyciler, partikül madde belirli bir bölümünü toplamak için tasarlanmıştır. Örneğin Toplam askıda partikül maddeler (TAP), tüm ince partikülleri ve iri taneciklerin sadece bir kısmını toplayan yüksek hacimli örnekleycilerin (HiVol) tasarımı ile tanımlanır. Bu örnekleycilerin üst sınır boyutu, tasarım dışında belirli bir tanımlamaya sahip değildir. Bu boyut sınırlaması rüzgar hızı ve yönüne göre değişir. Geniş dağılımlı aerosol sınıflandırıcısı (GDAS), tüm kaba modu partikül maddeleri toplamak için kullanılmaktadır (Wilson ve Suh, 1997). İnce partiküllerin içeriğinde, ikincil olarak oluşan aerosoller, yanma olayları sonucu oluşan partiküller, yoğunlaşan organik ve metal buharları bulunmaktadır. Kaba partiküller ise; genellikle yer kabuğu materyalleri yol ve endüstrilerden atmosfere verilen tozları içmektedir.

Askıda duran partikül maddeler, iriliklerine ve yoğunluklarına göre belirli bir süre için atmosferde dururlar ve bu sürenin bitmesiyle yere çökerek atmosferden uzaklaşmaktadırlar. Havada hareket halinde bulunan bu tanecikler, tane iriliklerine ve kimyasal yapılarına bağlı olarak toz, buhar, sis, duman, sprey gibi farklı şekillerde sınıflandırılırlar (Müezzinoğlu, 2005). Oluşum şekillerine göre partikül maddeler Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: Oluşum şekillerine göre partikül maddeler (Seinfeld ve Pandis, 2006).

Aerosol ve aerokolloidler, hava yayılım sistemleri	Gazlarda yayılmış küçük tanecikler
Partikül	Katı maddelerden oluşabileceği gibi katı ve sıvı boyutları $>0.001 \mu\text{m}$ 'den büyük $500 \mu\text{m}$ 'den küçük parçacıklar.
Toz (Dust)	Kırma, eleme vs. gibi mekanik işlemler neticesinde ortaya çıkan havada askıda bulunan katı parçacıklar. $D_p > 1 \mu\text{m}$
Sis (Fog)	Görülebilir aerosollerin sıvı faz ortama yayılmış haline verilen isimdir. Genellikle su veya buzun yer seviyesine yakın bir konumda dağılımıdır
Füme	Genellikle erimiş maddelerden uçucu hale geçme sonrası buhar fazından yoğunlaşarak ve oksitlenme gibi bir kimyasal reaksiyon eşliğinde oluşan katı parçacıklardır. $D_p < 1 \mu\text{m}$
İnce sis, Pus (Haze)	Görüş mesafesini azaltan su damlacıkları, kirleticiler ve tozların birleşimi olan bir çeşit aerosol. $D_p < 1 \mu\text{m}$
Buğu (Mist)	Sıvı haldedir, genelde atmosferde veya yüzeye yakın bölgelerde askıda olarak bulunur. Küçük su parçacıkları yağmur formuna yaklaşan bir şekilde yüzmekte ve düşüşe geçmektedirler ve genellikle sis ile karıştırılabilirler. Sisten ayırıcı özelliği; daha şeffaf olmaları veya büyük oranda parçacık dağılımının $D_p = 1 \mu\text{m}$ 'dan daha aşağı olmasıdır.
Smog	Bu terim İngilizce smog ve fog kelimelerinin birleşmesi sonucu oluşmuştur. Aerosollerle aşırı şekilde kirlenmiş olma durumunu açıklar ve günümüzde havadaki kirliliği ifade etmek için kullanılmaktadır.
Duman (Smog)	Yetersiz yanma sonucu oluşan gaz kaynaklı parçacıkların ve karbon ve yakılabilen materyallerin diğer katı parçacıklardan bağımsız olarak gözlenebilecek miktarda ortamda bulunması durumu duman olarak tanımlanır. $D_p \geq 0,01 \mu\text{m}$
İs (Soot)	Karbonlu bileşiklerin yetersiz yanması sonucu oluşan, karbon açısından zengin katranlı parçacıkların bir araya gelmesiyle oluşur.

Şekil 2.7 partikül madde boyutlarının ne kadar küçük olduğuna dair bir izlenim vermektedir. Bir saç telinin çapı yaklaşık $50 \mu\text{m}$ çapındadır. Yani PM_{10} yaklaşık insan saçının 1/5'i genişliğinde ve $\text{PM}_{2.5}$ 'un ise 1/20'si kadardır. İnce kum tanesi yaklaşık $90 \mu\text{m}$ çapında boyuya sahiptir. Kum tanesi PM_{10} 'nun 9 katı ve $\text{PM}_{2.5}$ ise 36 katı büyüklüğündedir.



Şekil 2.7: PM boyutunun insan saçı ve ince kum tanesi karşılaştırılması (U.S. EPA, 2013).

Partikül maddeler, doğal ve yapay kaynaklı etkileri ile iklimsel ve hijyenik açıdan önemlidir. Partikül maddeler görüş mesafesini azaltmakla beraber, iklim üzerinde de direkt ve dolaylı sonuçlar oluşturmaktadır (Lazaridis ve diğ., 2002). Nitrat içerikli partikül maddeler ıslak ve kuru çökelmeler nedeniyle ötrifikasyona neden olmaktadır. Ayrıca, partikül maddeler, asit özelliği ile tarihi ve sanat eserlerine yıkıcı etkiler oluşturmaktadır (Baedecker ve diğ., 1992; Ligocki ve diğ., 1993). Antropojenik kaynaklı partikül maddeler içerdikleri sülfat, nitrat, organik ve elementel karbon (OK ve EK) gibi bileşenler neticesinde ölümlere neden olan kardiyovasküler ve solunum sistemi rahatsızlıklarına yol açmaktadır (Peng ve diğ., 2009; Bell ve diğ., 2009; Brokamp ve diğ., 2015).

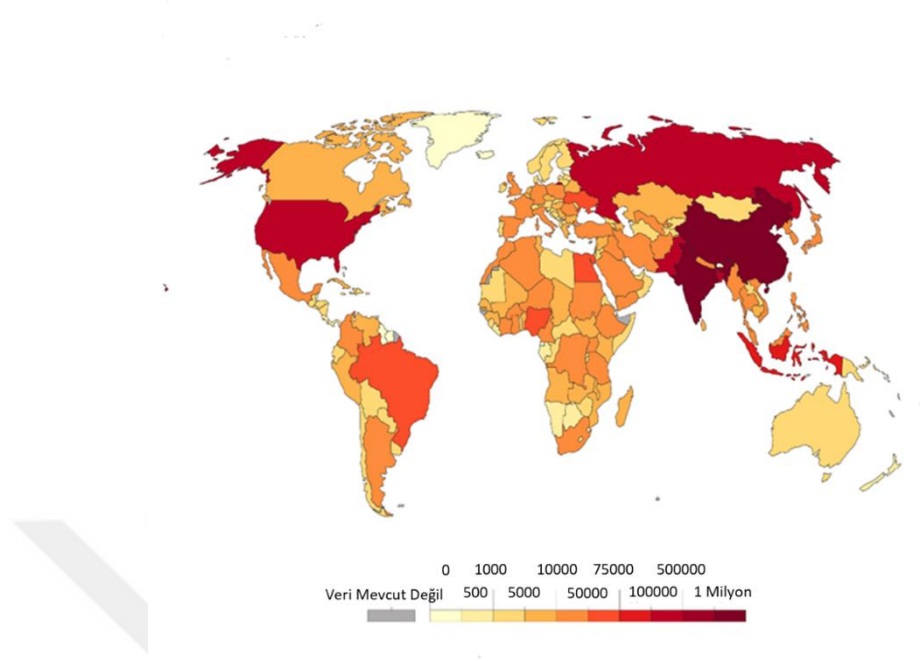
2.5. HAVA KİRLİLİĞİNİN ÇEVRE VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Hava kirliliği, son yıllarda insan sağlığı ve çevre üzerinde ciddi toksikolojik etkisi olan önemli bir sorundur. Kirlilik kaynakları, küçük bir sigaradan volkanik faaliyetler gibi doğal kaynaklardan, otomobiller ve endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan büyük miktardaki emisyonlara kadar değişmektedir (Robinson, 2005; Habre ve diğ., 2014).

Hava kirliliğinin çevresel etkisi oldukça değişkenlik göstermektedir. Etki, kirletici kaynağın özelliklerine, kirletici maddelerin türü ve miktarına, taşıyıcı ortama ve alıcı ortamın niteliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Herhangi bir kirletici kaynağın çevresel etkisi atmosfere salınan, gaz, sıvı ve katı haldeki kirletici maddelerin birincil, ikincil veya üçüncül kirleticilere dönüşmesiyle ilişkilidir. Alıcı ortama bağlı olarak değerlendirme yapılırsa, kirletici kaynağın yakınından başlayarak, yüzlerce kilometre uzaklığa kadar canlı ve cansız varlıkları etkilemektedir (Kırımhan, 2006).

Ekolojik olarak hava kirliliği yeraltı suyu, toprak ve havaya ciddi çevresel zararlara neden olabilmektedir (Lovett ve diğ., 2009; Mellouki ve diğ., 2016). Aynı zamanda yaşam çeşitliliği için ciddi bir tehdittir. Hava kirliliği ile tür çeşitliliğinin azaltılması arasındaki ilişki üzerine yapılan çalışmalarda, çevre kirleticilerinin hayvan ve bitki türlerinin yok olması üzerindeki zararlı etkileri açıkça görülmektedir (Camargo ve diğ., 2005). Havada asılı olan toksik maddeler de hayvanlarda üreme fonksiyonlarında olumsuz etkilere neden olabilmektedir. (Cattcott, 1961, Veras ve diğ., 2010). Asit yağmuru, sıcaklık inversiyonu ve atmosferdeki sera gazı emisyonları nedeniyle küresel iklim değişiklikleri hava kirliliğinin diğer önemli ekolojik etkileridir (Schneider, 1989).

Kirletici maddelerin çoğu vücuda hava yoluyla girdiği için solunum sistemi, hava kirleticilerinden kaynaklanan hastalıkların başlangıcında ve ilerlemesinde ilk etki alanıdır. Solunan kirleticilerin dozuna ve hedef hücrelerde birikime bağlı olarak, solunum sisteminde farklı düzeylerde hasara neden olurlar. Üst solunum yolunda ilk etki özellikle ses rahatsızlıklarına neden olan trakeada tahriştir. Hava kirliliği, astım ve akciğer kanseri gibi bazı solunum yolu hastalıkları için başlıca çevresel risk faktörü olarak kabul edilmektedir (Weisel, 2002, Brunekreef, 2009). Hava kirleticileri, özellikle PM'ler, O₃ ve benzen gibi diğer solunabilir kimyasallar solunum yollarında ciddi hasara neden olur (Valavanidis ve diğ., 2013; Tam ve diğ., 2012; Beelen ve diğ., 2008; Bahadar ve diğ., 2014; Johannson ve diğ., 2014; Kelly, 2013). Astım, havadaki toksik maddelere maruz kalmanın bir sonucu olarak ortaya çıkabilen bir solunum hastalığıdır (Stoner ve diğ., 2013). Bazı çalışmalarda trafik ve endüstriyel faaliyetlerle hava kirliliği arasında ilişki olduğu ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) hastalığı riskini artırdığı yönünde bulgular elde edilmiştir (Chung ve diğ., 2011; Zeng ve diğ., 2012; Ko ve Hui, 2012). Yüksek miktarda hava kirliliğine maruz kalmanın, erişkinlerde, yaşlılarda ve hamilelik sırasında farklı etkileri olan çeşitli sağlık sorunları ve ölümcül sonuçları vardır (Dadvand ve diğ., 2013; Brunekreef ve Holgate, 2002; Kampa ve Castanas, 2008; Hajat ve diğ., 2007). Hava kirliliği global ölçekte her yıl milyonlarca insanın ölümüne neden olmaktadır. Dünyada bölgesel olarak insanların hava kirliliğine bağlı meydana gelen ölüm sayıları araştırılmıştır. Şekil 2.8'de gösterilen dünya haritasında, ülkelere göre 2016 yılına ait dış ortam hava kirliliğine bağlı olarak meydana gelen ölümlerin sayısı gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Dünyada bölgesel olarak insanların hava kirliliğine bağlı meydana gelen ölüm sayıları (IHME, 2016).

Çin ve Hindistan'da hava kirliliği ile ilişkili ölümler, 1.1-1.2 milyon arasında vaka ile en yüksek değerlere sahiptir. Türkiye'de ise 28.785 kişinin ölümü hava kirliliği ile ilişkilendirilmiştir. Rusya ve Amerikan Birleşik Devleti diğer hava kirliliği ile ilişkili diğer yüksek ölümlerin meydana geldiği ülkelerdir (IHME, 2016).

2.6. İNCE PARTİKÜL MADDE (PM_{2.5})

2.6.1. İnce Partikül Maddelerin Genel Özellikleri

İnce partikül maddeler, genel olarak 1 ve 3 µm'den daha küçük çapa sahip partiküllerdir. Birikme modu, çekirdekleşme ve ultra ince partiküller diğer alt grup modlarını oluşturmaktadır. İnce (fine) partiküller, çeşitli şekillerde oluşabilirler. Bunlar ultra ince partikül maddelerin koagülasyonu yada gaz fazdan partiküle dönüşüm prosesleri ile gerçekleşmektedir. Endüstrileşmiş bölgelerde ince partikül maddelerin içeriği genellikle iz metal, organik karbon, elementel karbon, NH₄NO₃ ve SO₄²⁻'den oluşabilmektedir. İnce partiküllerin kuru çökmeyle atmosferden uzaklaştırılması son derece yavaş gerçekleştiği için atmosferde uzun süre kalabilmektedir (Finlayson-Pitts, 2000).

Kararlı kimyasal forma sahip ve havaya katı ya da sıvı olarak doğrudan havaya yayılan ince partiküller birincil olarak adlandırılır. Atmosfer içerisinde yoğunlaşma prosesleri ile kaynağının yakınında oluşan ince partikül maddeler (PM_{2.5}) bu grupta bulunur. Birincil PM_{2.5}, dizel motorlardaki is, evsel ısınma amaçlı yakıtların yanması, orman yangınları sonucu oluşmaktadır. Atmosferdeki gazların kimyasal reaksiyonu sonucu ikincil PM_{2.5} oluşmaktadır. Bu reaksiyonlar, partiküllerin birbirleriyle ve diğer partiküllerle reaksiyonu sonucu yoğunlaşarak oluşmaktadır. Atmosferdeki sülfat ve nitratın çoğunluğu ve organik partikül maddelerin bir kısmı bu kimyasal reaksiyonlarla oluşur. Bu nedenle, kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), bazı UOB türleri ve amonyak PM_{2.5}'un öncülleri olarak düşünülebilir. İkincil PM_{2.5} oluşumu çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar diğer gaz halindeki reaktif türlerin konsantrasyonları ve partiküllerin bulut, sis damlacıkları, katı partiküllerin üzerindeki sıvı tabaka ile etkileşimlerine bağlı olarak değişmektedir (U.S. EPA, 2012).

2.6.2. İnce Partikül Maddelerin Kaynakları ve Önemli Bileşenleri

Atmosferde çeşitli şekillerde partikül maddeler bulunmaktadır. PM_{2.5}, birincil ve ikincil ince partikül maddelerin karışımından oluşmaktadır. Birincil ve ikincil ince partikül maddeler, atmosferde uzun süre (günler ile haftalar) kalabilirler ve uzun mesafelerde (100-1000 km) taşınabilirler. Birincil ince partikül maddeler fosil ve biyoyakıtların yanması sonucu oluşan organik karbon ve toz içerir. Tozla ilgili partiküllerin ana kaynakları yol tozları, inşaat ve tarım faaliyetleridir. Yanma ile ilgili ikincil partiküllerin başlıca kaynakları, dizel ve benzinli motorlu araçlar, yanma prosesleri, evsel ısınma ve endüstriyel faaliyetlerdir. Yanma prosesleri sonucu aynı zamanda bir çok eser metal bileşiği ve sülfürik asit sisleri karışımlarından oluşan birincil ince partikül maddeleri meydana gelmektedir. Başlıca ikincil aerosol türleri organiktir ve amonyum sülfat ve nitrat, amonyakla (NH₃) reaksiyona giren kükürt dioksit (SO₂) ve azot oksitlerin (NO_x) gaz emisyonlarından oluşurlar. İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan gazlı organik maddeler ve diğer yakma kaynakları ikincil organik bileşiklerin başlıca bileşenleridir. Kükürt dioksit, azot oksitler ve amonyak ikincil aerosollerin (amonyum sülfat, amonyum bisülfat, amonyum nitrat) önemli bileşenidir. PM_{2.5} kimyasal yapısı yüksek konsantrasyonların nedenlerini belirlemek amacıyla kaynak ve alıcı ortamları için iyi göstergedir (U.S. EPA, 2012). Tablo 2.3'te ince partikül maddelerin özellikleri verilmektedir.

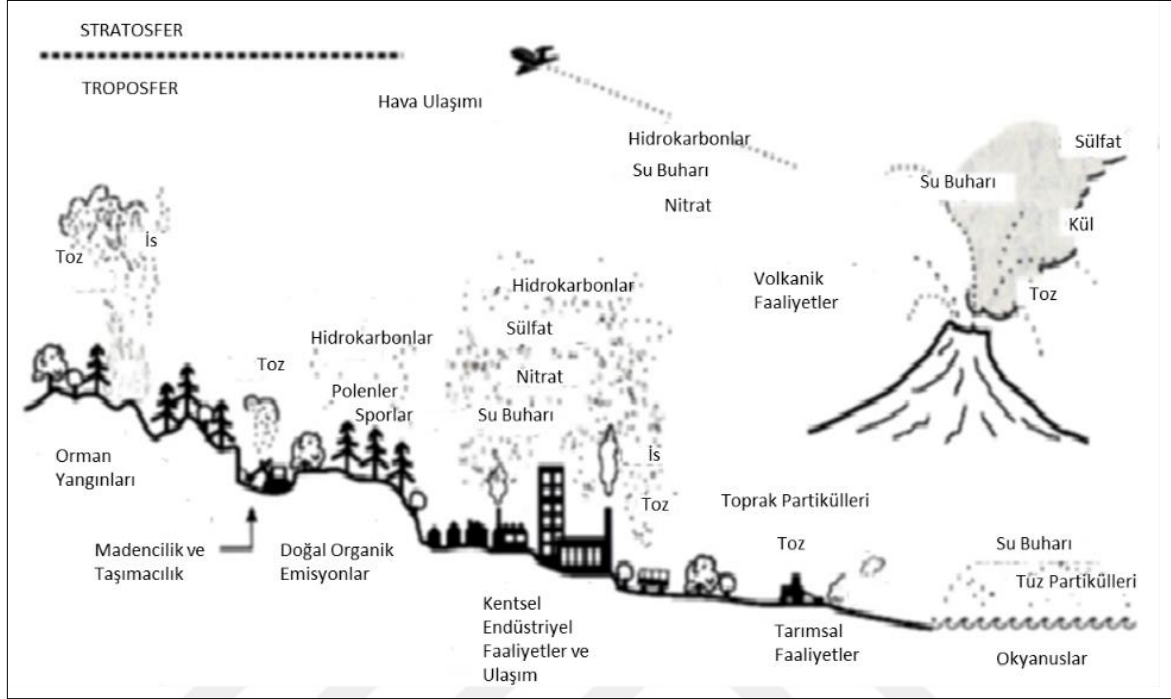
Tablo 2.3: İnce partikül maddelerin (PM_{2.5}) özellikleri (Wilson ve Suh, 1997).

Oluşum Yolları	Kimyasal reaksiyonlar Çekirdeklenme Yoğunlaşma Koagülasyon Bulut/sis prosesleri
Bileşimi	Sülfat Nitrat Amonyum Hidrojen iyonu Elementel karbon (EK) Organik bileşikler Su Metaller (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, vb.)
Çözünürlük	Büyük ölçüde çözünür, higroskopiktir
Kaynaklar	Yanma (kömür, yağ, benzin, dizel, odun) NO _x , SO ₃ ve UOB'lerin gaz-parçacık dönüşümü Ergitme, Fabrika, vb.
Atmosferik Ömrü	Gün-Hafta
Seyahat Mesafesi	100-1000 km

Sülfat, hidrojen iyonu, nitrat, organik ve elementel karbon, eser elementler, amonyum ve su genellikle PM_{2.5}'in başlıca bileşenleridir. Bu maddelerin başlıca kaynakları, sanayi faaliyetleri ve motorlu araçlar tarafından kullanılan fosil yakıtların yanması, biyoyakıtlar, döküm ve diğer metal proses işlemleridir. SO_x, NO_x ve bazı organik bileşikler ikincil ince partikül maddelerin önemli bileşenleridir (U.S. EPA, 1999).

Karbonlu aerosoller; karbonat, elementel ve organik karbondan oluşan kompleks bir karışımdır. Farklı uçuculuğu olan bileşiklerin büyük bir oranda bulunması nedeniyle organik aerosollerin ölçümü zor bir işlemdir. Karbonlu aerosoller genellikle ince partikül maddelerin ana bileşenidir ve çok sayıdaki organik ve elementel karbondan oluşmaktadır. Ortam havasında binlerce bileşik tayin edilmiş ancak yalnız organik bileşiklerin nitelendirildiği çalışmalarda, ölçülen bileşiklerin toplamı, toplam organik kütlenin sadece yüzde birkaçını oluşturduğu saptanmıştır (Bennett ve Stockburger, 1994). Atmosferdeki organik aerosoller, direkt kaynak emisyonlarından (birincil) ya da hidrokarbonların mevcut atmosferdeki partiküller (ikincil) gaz fazı tepkimelerinden düşük buhar basıncı ürünlerinin yoğunlaşması ve organik bileşiklerin atmosferik oksitleyicilerle reaksiyon ürünü sonucu oluşabilir. Elementel karbon direkt olarak fosil yakıtların yakılmasıyla yayılır. Kentsel ve kırsal bölgelerdeki PM_{2.5} çoğu, birincil ve

ikincil aerosol olan aşağıdaki bileşenlerin bir kombinasyonu ile tanımlanabilir (U.S. EPA, 1999). Şekil 2.9’de partikül maddelerin havadaki bazı kaynakları gösterilmektedir.



Şekil 2.9: Partikül madde kaynakları (Kemp, 2004).

Sülfat: Sülfat, bulunduğu ortamlarda birincil veya ikincil olarak oluşturabilir. Amonyum sülfat, amonyum bisülfat ve sülfürik asit, atmosferik partikül maddelerin içerisinde bulunan sülfatın en yaygın formlarıdır. Bu bileşikler suda çözünür ve çoğunlukla $PM_{2.5}$ boyutunda bulunur. İnce sülfatların çoğu, SO_2 gazı ve sülfat partiküllerinin oksidasyonu sonucu oluşur. SO_2 emisyon kaynakları arasında kömür yakıtı kullanan enerji üretim ve bakır ergitme tesisleri bulunmaktadır (U.S. EPA, 1999).

Nitrat: Amonyum nitrat, amonyak ile nitrik asit gazları ve amonyum nitrat arasındaki gaz-partikül dengesinden oluşan en çok miktarda bulunan partikül madde bileşenidir. Sodyum nitrat, ince partikül madde içerisinde ve deniz kıyılarındaki kaba partiküllerde bulunur. Deniz kıyılarında nitrik asit buharı ve deniz tuzuyla (NaCl) reaksiyonu gerçekleşir (U.S. EPA, 1999).

Amonyum: Amonyum sülfat, amonyum bisülfat ve amonyum nitrat, amonyum içeren en yaygın bileşiklerdir. Amonyum sülfat ve amonyum bisülfat, sülfürik asit ve amonyak arasındaki tepkimeler sonucu oluşmaktadır. Atmosferik amonyak (NH_3) atmosferde bulunan temel bir

gazdır. Önemli NH_3 kaynakları, hayvan atıkları, topraklardan salınım prosesleri ile gerçekleşen humusun amonifikasyonu ve topraktan amonyak bazlı gübrelerin ayrılması sonucu oluşur. NH_3 , ıslak yüzeyleri absorbe edebilir veya nitrik asit ile reaksiyona girerek amonyum nitrat oluşturabilir (U.S. EPA, 1999).

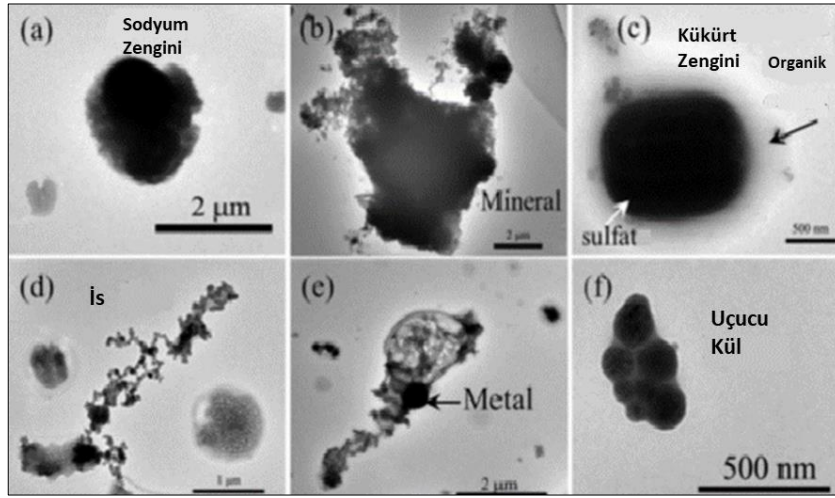
Organik Karbon: Organik madde partikülleri, genellikle 20'den fazla karbon atomu içeren binlerce ayrı bileşiğin bir toplamıdır. Mevcut organik bileşiklerin sayısına bağlı olarak organik karbon analizi zordur. Atmosferde bulunan organik bileşikleri karakterize edebilen tek bir analitik teknik yoktur. Organik karbon partikülleri, yanma, jeolojik prosesler, yol tozları ve fotokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır. Organik karbon tanımlaması, seçilen örnekleme ve analiz yöntemleri bağlı olarak değişmektedir (U.S. EPA, 1999).

Elementel Karbon: Yanma kaynaklarından çıkan parçacıklar, çoğunlukla "siyah karbon" olarak adlandırılan ışık emici temel karbon içerir. Elementel karbon, yanma türevi partiküller için bir göstergedir. Toprak ve deniz türevli aerosollerde çok az miktarda elementel karbon bulunurken, jeolojik maddelerde farklı çeşitlerde vardır. Elementel karbon, organik karbon ile birlikte bulunur ve kullanılan analitik metoda bağlı olarak ayırt edilebilir (U.S. EPA, 1999).

Sodyum Klorür (Tuz): Deniz kıyılarında duran askıda bulunan partiküllerde ve açık kumsallarda bulunur. Ham haliyle, tuz genellikle kaba partikül fraksiyonundadır ve bir jeolojik materyal olarak sınıflandırılır. Sodyum klorür içeren su veya sis damlacıkları buharlaşınca kuru halde çekirdek partiküllerinin birçoğu 2,5 mikron altına düşer. Başlangıçta sodyum klorür içeren partiküller nitrik veya sülfürik asitle nötralize edilebilirler. Klorür uzaklaştırılır ve eşdeğer miktarda nitrat veya sülfat ile değiştirilir. Bu gibi partiküller nitrat veya sülfat olarak sınıflandırılır ve klorür açısından yetersizdir (U.S. EPA, 1999).

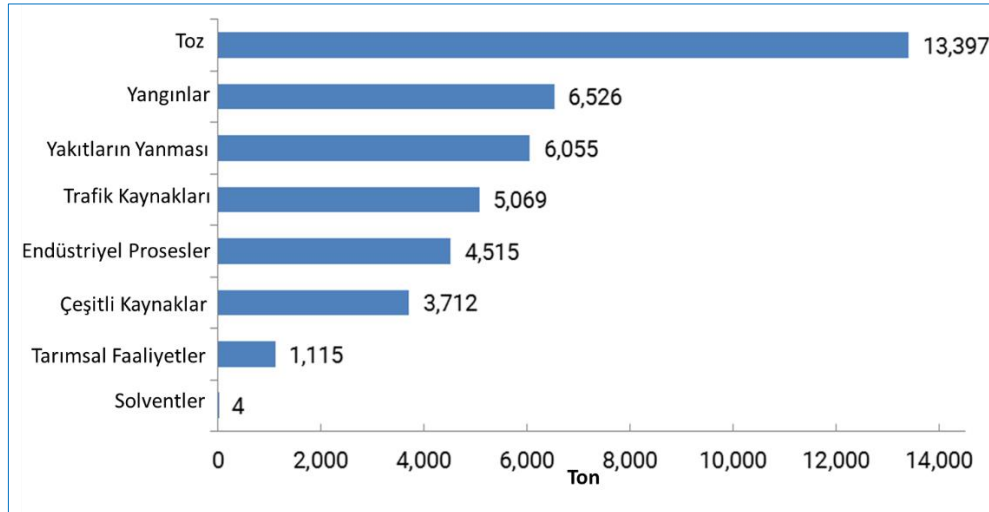
Su: Özellikle nem %70'i aştığında, çözünür nitelikteki nitratlar, sülfatlar, amonyum, sodyum, diğer inorganik iyonlar ve bazı organik maddeler atmosfere su buharı absorbe ederler. Sülfürik asit, tüm nem seviyelerinde bir miktar su emer. Bu bileşikleri içeren partiküller, su almaya başlarken damlacık modunda büyür. (U.S. EPA, 1999).

Jeolojik Materyaller: Esas olarak alüminyum, silikon, kalsiyum, titanyum, demir ve diğer metal oksitlerden oluşan askıdaki tozlardır. Bu bileşenlerin kesin kombinasyonu bölgenin jeolojisine ve endüstriyel proseslerine bağlıdır (U.S. EPA, 1999). $\text{PM}_{2.5}$ fraksiyonundan bazılarının Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Toplanan 6 ayrı partikülün taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri (a) Na zengini, (b) mineral, (c) sülfat ve organik aerosoller, (d) is, (e) metal ve (f) uçucu kül (Zhou ve diğ., 2014).

Şekil 2.11’de, Amerika’daki PM_{2.5}’in birincil emisyonlarının ana kaynaklarını gösterilmektedir. 2014’teki Utah’taki birincil ince partikül maddelerin (PM_{2.5}) %30’undan fazlası da tozdan gelmiştir (U.S. EPA, 2016a).



Şekil 2.11: Utah’da 2014 yılı sektör kaynaklı PM_{2.5} partikül emisyonları (U.S. EPA, 2016a).

Yangınlar toplam birincil PM_{2.5} partiküllerinin %15’ini oluştururken yakıtlar yanması ve mobil kaynaklar sırasıyla %15 ve %12,5 oranında etki etmiştir. Bu grafikten anlaşıldığı gibi partikül

maddelerin trafik emisyonlarından kaynaklandığı görülmektedir. Partikül maddelerin başlıca bileşenleri sülfat, nitrat, siyah karbon, organik karbon ve mineral tozu içerir. Organik karbon ve mineral tozu kompleks bir karışıma sahiptir. Sülfat, azot ve organik PM bileşenlerinin ikincil olarak oluşumuna yol açan kaynakları içeren PM bileşenlerinin global kaynaklarını gösterilmektedir. İkincil organik aerosoller (SOA), doğal olarak bitkilerden (biojenik emisyonlar), biyokütlenin yanmasından ve enerji ile ilgili kaynaklardan oluşabilirler (Robinson ve diğ., 2007; Guenther ve diğ., 2000; Grieshop ve diğ., 2008).

Son modelleme ve gözlem çalışmalarının karşılaştırmalarında SOA'nın oluşumuna yol açan reaksiyonlar ve kesin bileşikler tam olarak anlaşılammıştır (Donahue ve diğ., 2009; Heald ve diğ., 2006). Yaygın olarak ölçülen ana bileşenler PM'nin genel olarak karmaşık kimyasal niteliğini tam olarak karakterize etmemektedir (Şekil 2.12).

		PM _{2.5} bileşenleri			
		SO ₂	NH ₃	Siyah Karbon	Organik Karbon
Enerji ve Ekonomi	Enerji Üretimi	●	·	·	·
	İmalat ve Endüstri	●	·	●	●
	Ulaşım	·	·	●	●
	Evsel Isınma	·	·	●	●
	Tarımsal Faaliyetler	·	●	·	·
Doğal Kaynaklar	Yangınlar	·	●	●	●
	Biyojenik Kaynaklar				●

Şekil 2.12: Global PM_{2.5} bileşenleri ve öncül kaynakları (Bond ve diğ. 2004, Cofala ve diğ., 2007, Heald ve Spracklen 2009, De Gouw ve Jimenez, 2009).

Buradaki siyah noktaların alanları, her bir bileşiğin bireysel kaynaklardan elde edilen kısmıyla orantılı olarak değişkenlik göstermektedir. Kükürt dioksit, sülfata yol açarken, PM azot türleri, amonyak ve organikler dahil olmak üzere diğer azot bileşiklerini içeren kompleks reaksiyonlardan kaynaklanır. Organik karbon için kolonda kesikli daireler öncü maddelerden

oluşturulan ikincil organik aerosolün yaklaşık katkısını gösterir. Mevcut olan küçük türlerin bazılarının insanlar veya çevre için toksik olduğu bilinmektedir. Örneğin, organik karbon fraksiyonu, toksik türler grubundaki zehirli ve polisiklik aromatik hidrokarbonları ve kalıcı organik kirletici içerebilir. Kurşun, çinko, civa ve vanadyum dahil olmak üzere PM'de birçok metal tespit edilmiştir (Moffet ve diğ., 2008). Bu elementler genellikle toplam PM kütlesine çok az miktarda etki etmektedir. Partikül madde ile taşınan miktarları biyolojik açıdan önemli seviyelerdedir ve ince parçacık şeklinde, solunması halinde akciğerlere derinden yerleşebilmektedir.

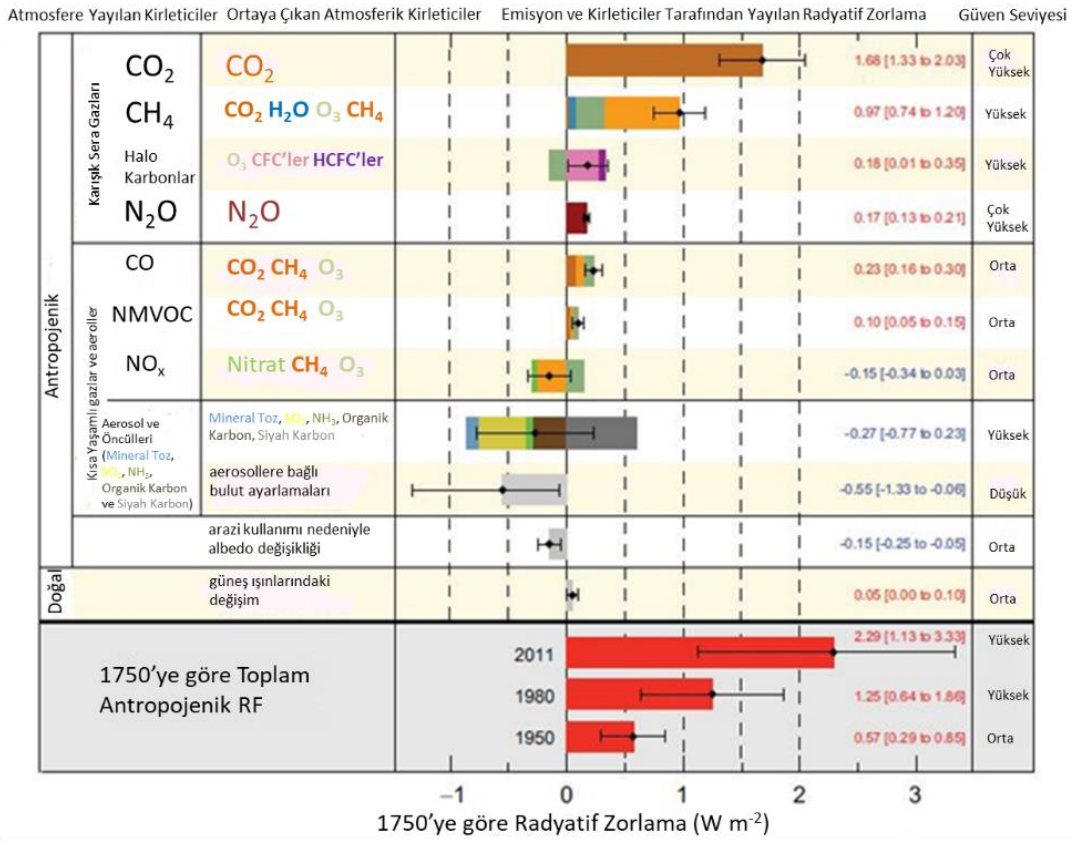
2.6.3. İnce Partikül Maddelerin Çevresel Etkileri

Atmosferdeki yüksek PM_{2.5} konsantrasyonları, yüzey seviyesindeki güneş ışığındaki azalmaya yol açan gelen güneş enerjisini bloke ederek atmosfer sistemin ışıyım dengesini etkileyebilir (Ren-Jian ve diğ., 2012; Singh ve diğ., 2015). Bunlar, atmosferdeki puslanmaya, görünürlüğün azalmasına, sıcaklık ve yağış değişmesine, ürün veriminin düşmesine ve yetersiz ışığın yanısıra taşınım güvenliği üzerindeki olumsuz etkilere ve özellik değerlerine neden olabilir. Bu ince parçacıklar ayrıca su için de büyük bir afiniteye sahiptir ve bu da asit yağmura katkıda bulunur (U.S. EPA, 2012a). Ayrıca, partiküller içinde bulunan eser metal, toprakta biriktiğinde, bitkileri besin maddelerini temin eden toprak işlemine müdahale eder (Oka ve diğ., 2014). Ek olarak, malzemeler üzerinde ince parçacık birikimi ve fazla mesainin inşası renk bozulmasına, sık bakım maliyetine ve estetik değerin azalmasına neden olabilir.

İklim değişikliğini etkileyen faktörlerden biriside partikül maddelerdir. Partikül maddeler iklim değişikliğine direkt ve dolaylı etkileri vardır. Partikül maddeler; yeryüzüne gelen ışınları yansıtması ve absorbe etmesi yönünden direk olarak iklim değişikliğine etki ederken, bulut yoğunlaşma çekirdeği (cloud condensation nuclei-CCN) ve buz çekirdeği (ice nuclei-IN) şeklinde ise dolaylı olarak Dünya'nın radyasyon dengesini etkilerler (Lee ve Sequeria, 2002; Yu ve diğ., 2006; IPCC, 2013).

Partikül maddelerin çevre üzerinde önemli bir etkisi, ışığı absorblaması veya yansıtması sonucu görüş mesafesini azaltmasıdır. NH₄⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻ ve potasyum içeren ince partiküller maddelerin (özellikle 0,1-1 µm boyutlu) görüşü önemli ölçüde azalttığı bilinmektedir (Sequeira ve Lai, 1998). İnorganik türlerden özellikle amonyum sülfat ve amonyum nitrat ışık saçılma katsayısının %50'sini oluşturmakta, geri kalanı %50 ise büyük ölçüde organik maddelere

bağlıdır. EK, ortalama olarak ışık emme katsayısına yaklaşık %70 oranında etkiye sahipken geri kalan kısmı OK bileşenleri oluşturmaktadır (Li ve diğ., 2017). Partikül maddenin iklim değişikliğine olan etkisi radyatif zorlama (radiative forcing) değeri ile hesaplanmaktadır. Radyatif zorlama faktörünün gücü, metrekaare başına birim watt (W/m^2) olarak nicelleştirilmiştir. Radyatif zorlama, enerji akışındaki değişimdir ve troposferde veya atmosferin üstünde hesaplanır. Bu değer, pozitif ise iklimi etkileyen faktörün etkisinin ısınma olduğunu, negatif değer ise faktörün soğuma etkisi yaptığını gösterir. 2011'de 1750'ye göre hesaplanan radyatif zorlama değerleri Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13: 2011'de 1750'ye göre hesaplanan radyatif zorlama değerleri (IPCC, 2013).

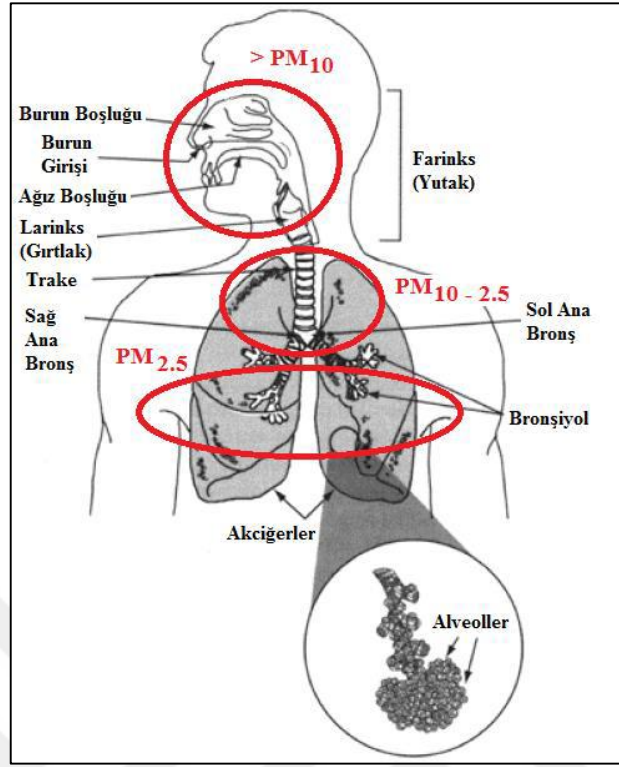
Partikül maddeler iklim değişikliği üzerinde farklı aerosol türlerine göre değişiklik göstermektedir. Sülfat, $-0,4 [\pm 0,2] W/m^2$, organik karbon $-0,05 [\pm 0,05] W/m^2$; siyah karbon $+0,2 [\pm 0,15] W/m^2$, biyokütle yakma, $+0,03 [\pm 0,12] W/m^2$, nitrat $-0,1 [\pm 0,1] W/m^2$ ve mineral

toz $-0,1 [\pm 0,2] \text{ W/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Partikül maddenin küresel ısınmaya olan etkisinin negatif olduğu ($-0,9 \text{ W/m}^2$) belirlenmiştir (IPCC, 2013).

2.6.4. İnce Partikül Maddelerin İnsan Sağlığına Etkileri

İnce Partikül Maddeler ($\text{PM}_{2.5}$) solunum sisteminde birikebilir ve çeşitli sağlık sorunlarına neden olurlar. En büyük riski taşıyan hassas gruplar, yaşlıları, astım gibi kardiyopulmoner hastalığı olan bireyleri ve çocukları içerir. $\text{PM}_{2.5}$ 'e hem kısa hem de uzun vadeli maruziyet olumsuz sağlık etkilerine neden olur. Yıllık standartlara bağlı ince partikül maddelere uzun süre maruz kalma, özellikle kalp hastalıkları, kalp krizi ve felç gibi kardiyovasküler etkilerle ilgili erken ölümlere, akciğer gelişiminin azalmasına ve çocuklarda astım gibi kronik solunum yolu hastalıklarına neden olmaktadır. Bazı çalışmalar, $\text{PM}_{2.5}$ 'e uzun süreli maruz kalınmanın kansere, bebek ölümlerinin artmasına ve düşük doğum gibi zararlı gelişimsel ve üreme etkilerine bağlı olabileceğini öne sürmektedir. Kısa bir süre ince partikül maddelere maruz kalma, prematüre ölüm, özellikle kalp ve akciğer hastalıklarıyla ilgili ölüme, kalp krizi ve felç gibi kardiyovasküler etkiler için hastanelere gelen hasta sayısını artırmıştır. Ayrıca, öksürük, hırıltılı solunum ve nefes darlığı gibi solunum belirtilerinin artmasının yanı sıra, astım atakları gibi solunum yolları etkilerine neden olmaktadır (U.S. EPA, 2012). Havadaki ince partikül maddelerin insan ömründe kısalması konusunda Amerika'da yapılan araştırmalar sonucunda, ciddi sağlık etkilerinin olduğu anlaşılmıştır (Dockery ve diğ., 1993; Pope ve diğ., 1995).

İnsan solunum sistemi üst solunum sistemi (burun, boğaz, larink ve nefes borusu) ve alt solunum sistemi (akciğerler) olmak üzere ikiye ayrılır. Nefes borusu ikiye bölünmesiyle bronşlar oluşur (Müezzinoğlu, 2005). Her bronş içeriğinde, daha küçük bronşlara kadar bölünüp alveol olarak isimlendirilen çok küçük ve çok sayıda olan hava keseleri bulunur (Masters, 1991). Hava ile solunan partiküller nemli ve sıcak akciğer alveollerinde kimyasal olarak çözülüp hidrolize olarak kana geçebilirler. Böylece dolaşım sistemine karışan çeşitli zehirli maddeler, hedef seçtikleri diğer organlara kadar ulaşırlar. Son çalışmalarda PM_{10} solunum hastalıklarına neden olurken, $\text{PM}_{2.5}$ 'un kalp ve damar hastalıklarına yol açtığı tespit edilmiştir (Wyzga, 2002). Kaba partiküller üst solunum sisteminde depolanırken ince ve ultra ince partiküller alveollere kadar ulaşabilirler (Şekil 2.14). $\text{PM}_{2.5}$ ciğerlere daha kolay işlemekte, bu nedenle kısa dönem etkileri ve erken ölüm gibi uzun dönem etkilerini görmek daha mümkündür. Ayrıca solunum semptom ve hastalıklarında artış, ciğer fonksiyonlarında azalma ve ciğer dokusunda değişimlere neden olur (Dockery ve diğ., 1993).

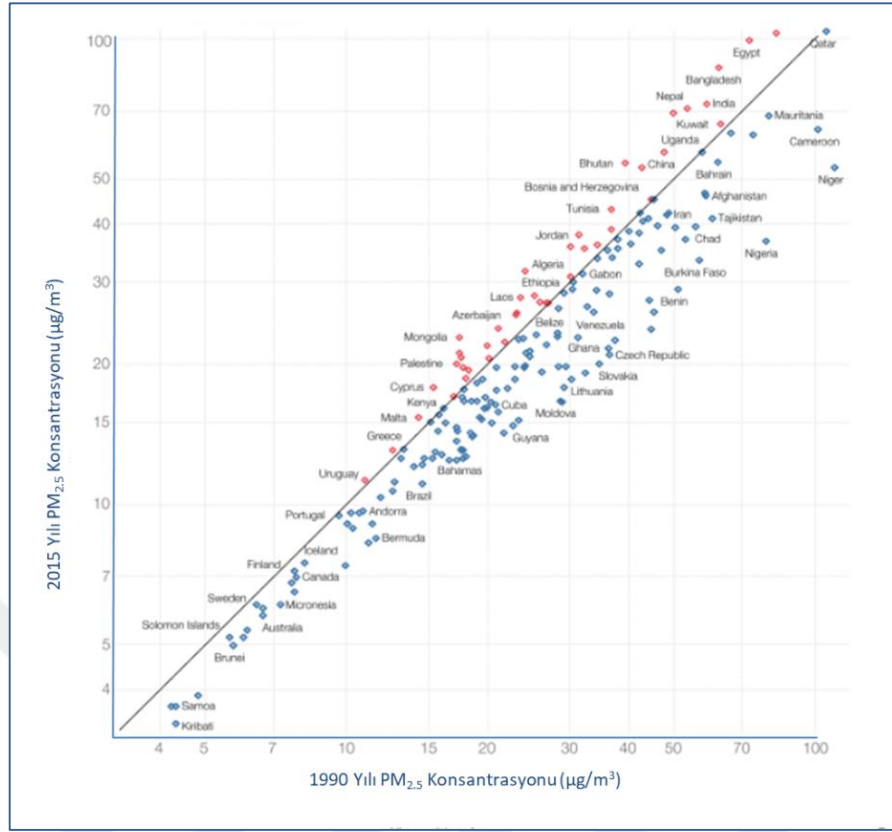


Şekil 2.14: Partikül maddeler ve etkiledikleri bölgeler (Godish, 2004).

İnce Partikül maddelerin akciğerlerden alveollere kadar taşınması nedeniyle daha fazla sağlık etkilerine neden olurlar. Bu etkiler arasında kronik bronşit vakalarında artış, astım, solunum yolları epitel dokusunda kalınlaşma, gen mutasyonu ve kanserojen gibi sağlık problemleri bulunmaktadır (Demirci ve Çınar, 2008; Oğuz ve diğ., 2008; Gilli ve diğ., 2007; Wichman ve diğ., 2007)

Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yapılmış olan bir kohort (topluluk) çalışmasında $PM_{2.5}$ konsantrasyonundaki $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük artışa bağlı olarak ölüm oranlarının %13 arttığı tespit edilmiştir. Amerikan Kanser Derneği tarafından gerçekleştirilen bir başka kohort çalışmasında ise yine $PM_{2.5}$ konsantrasyonundaki $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük artışa bağlı olarak ölüm oranlarının %6 oranında arttığı bulunmuştur (Lopez ve diğ., 2005).

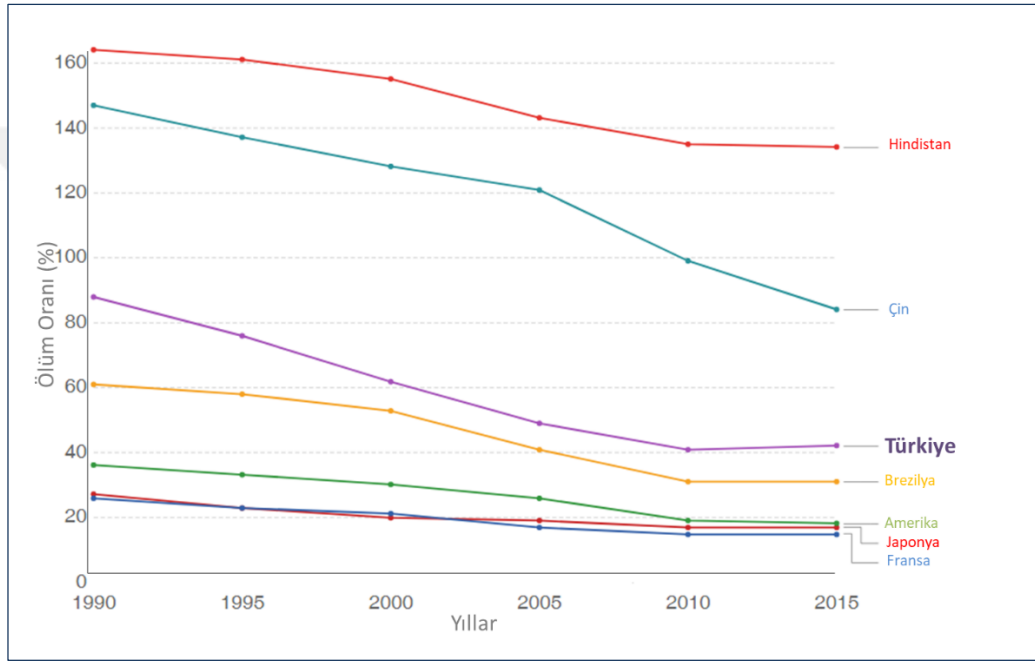
1990 ve 2015 yılları için 193 ülkede $PM_{2.5}$ partikül maddelere maruz kalınan insan sayısı araştırıldığı bir çalışmaya ait sonuçlar Şekil 2.15'de gösterilmiştir. Şekilde 45 derecelik eğim çizgisinin üzerindeki ülkelerde maruziyet artarken, çizginin altında kalan ülkelerde maruziyet azalmıştır (Brauer ve diğ., 2016).



Şekil 2.15: 1990 ve 2015 yılları için ülkelere göre $PM_{2.5}$ maruziyetleri (Brauer ve diğ., 2016).

Ölümlerin hava kirliliğine doğrudan ilişkilendirilmesi karşılaşılan zorluklar arasındadır. Hava kirliliği bağlı gerçekleşen ölümler, maruz kalınmadığı duruma göre insanların yaşam süresinin kısılması ile ilişkilidir. Bu yönde yapılan çalışmalar maruziyet-tepki ilişkileri ve bunların ölüm oranlarıyla bağlantısı kullanılarak kirlilik konsantrasyonlarını sağlık risklerine bağlamaktadır (Cohen ve diğ., 2017). Hava kirliliğinden kaynaklanan ölümlerin mutlak sayılar ölçülmesi bir dizi dezavantajlar sunar. Daha büyük nüfuslu ülkelerde ölüm sayısının daha yüksek olmasını ve nüfus artışına paralel olarak artmasını beklenebilir. Benzer şekilde, daha yaşlı nüfuslu demografik özelliklere sahip ülkelerde ölüm sayısının daha yüksek olabilir. Bu değişkenleri bir metrik hesaba göre düzelteren, yaş standartlı ölüm oranıdır. Bu nedenle, ülkeler arasındaki ölüm riskinin doğrudan karşılaştırılmasına izin veren nüfus büyüklüğü ve yaş demografisi bilgileride hesaplamada kullanılır. Şekil 2.16’te her 100.000 kişiye ait ortam havasındaki ince partikül maddelere ait ölüm oranları verilmiştir.

Bu grafikte 1990-2015 yılları arasında 7 ülkeye ait ince partikül maddelerle ilişkili ölüm oranları bulunmaktadır. Hava kirliliğinden kaynaklanan ölüm oranları son on yılda genel bir düşüş göstermiştir. Birçok ülke için ölüm oranı %50'den fazla azalmıştır. Örneğin, Çin ve Hindistan gibi çok sayıda ölümlere sahip ülkelerde bile bu azalma eğilimi görülmektedir. Dolayısıyla, hava kirliliğinden kaynaklanan ölümlerin mutlak sayısındaki artış, artan bireysel ölüm riskinden ziyade değişen nüfus yapılarının (genç ve yaşlı nüfus) daha büyük bir yansımasıdır (State of Global Air, 2017).



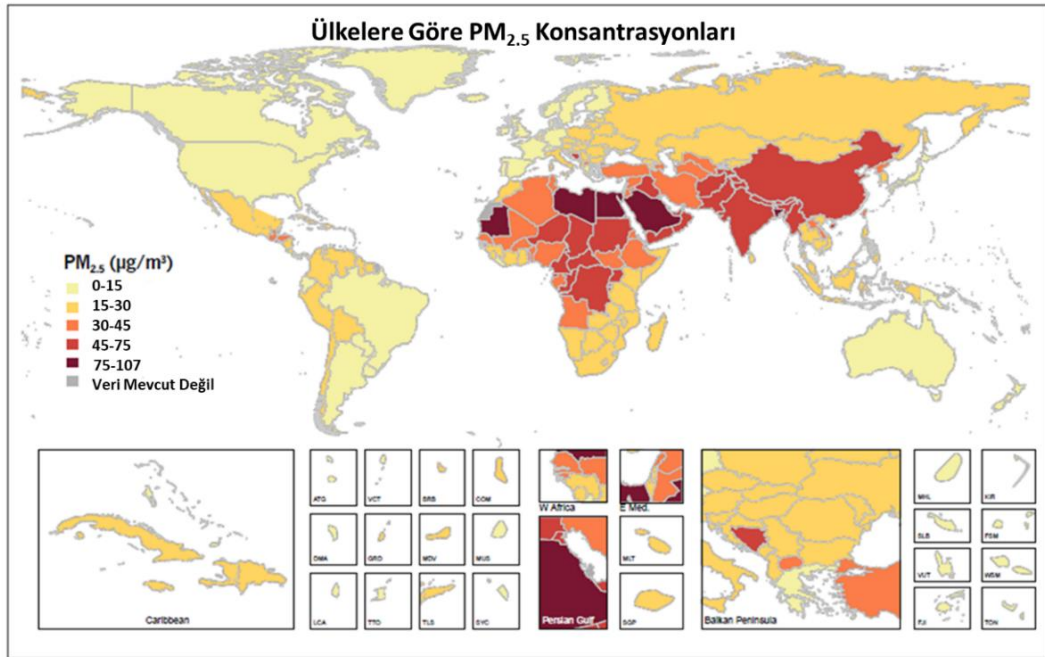
Şekil 2.16: Her 100.000 kişiye ait ortam havasındaki ince partikül maddelere ait ölüm oranları (State of Global Air, 2017).

2015 yılında popülasyon ağırlıklı yıllık ortalama $PM_{2.5}$ ortam konsantrasyonları haritası, dünya genelinde insan popülasyonlarının maruz düzeylerinde belirgin farklılıklar olduğunu göstermektedir (Şekil 2.17). Bu haritada alanlar, hangi kaynakların ve faaliyetlerin yüksek düzeyde hava kirliliğine katkıda bulunduğunu ve bunlarla ilgili ne yapılabileceğini anlamak için önemli bir göstergedir (State of Global Air, 2017).

2015 yılında nüfus ağırlıklı ortalama $PM_{2.5}$ 'in en yüksek konsantrasyonları, yüksek düzeyde rüzgar emici mineral tozuna bağlı olarak Kuzey Afrika ve Orta Doğu'da görülmüştür. Ülke

düzeyinde 2015 yılında nüfus ağırlıklı ortalama konsantrasyonların tahminleri Katar'da ($107 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Suudi Arabistan'da ($106 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve Mısır'da ($105 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en yüksek değerlere sahiptir.

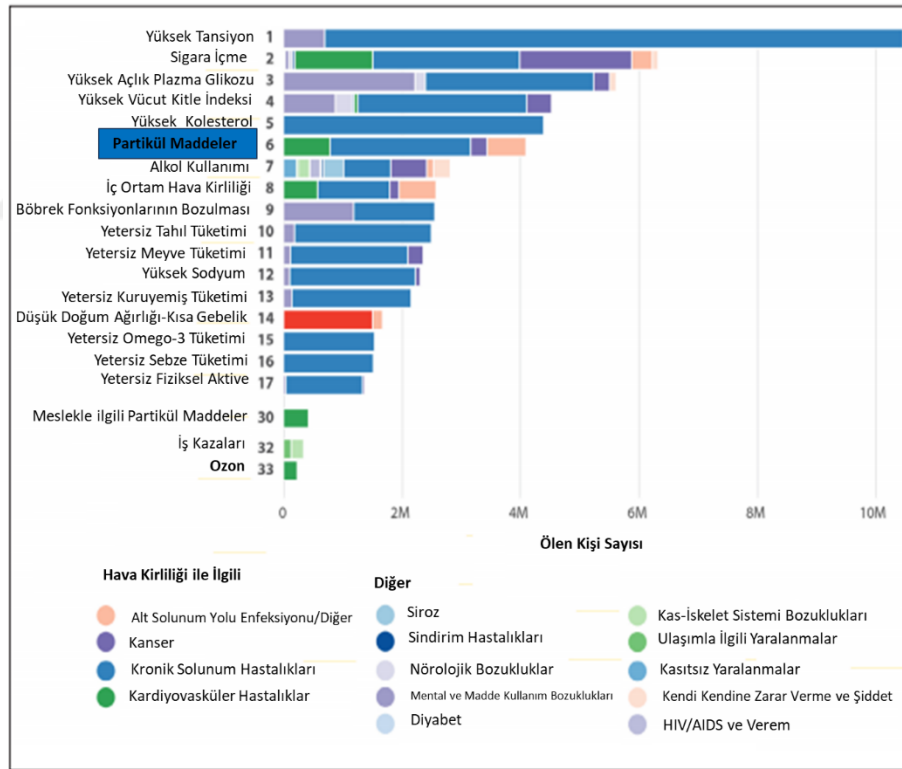
Güney Asya'da (özellikle kuzey Hindistan ve Bangladeş) ve Güneydoğu Asya'da, Doğu Çin'de ve Orta ve Batı Sahra Altı Afrika'da, katı yakıt kullanımı, kömür yakıtlı enerji santralleri dahil, tarımsal ve diğer açık yakma, sanayi ve ulaştırma ile ilgili kaynaklar, çeşitli yakıtlardan kaynaklanan yanma emisyonları nedeniyle diğer en yüksek konsantrasyonlar bulunan bölgelerdir. Nüfus ağırlıklı yıllık ortalama konsantrasyonlar Bangladeş'te $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Nepal'de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve Hindistan'da $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. Çin'de nüfus ağırlıklı ortalama $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonu $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. İller arasında konsantrasyonlarda $19\text{-}79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu çalışmada Türkiye ortalama $\text{PM}_{2.5}$ Konsantrasyonu $36,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.17: 2015 yılında yıllık ortalama nüfus ağırlıklı $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonları (State of Global Air, 2017).

Hava kalitesi ve hava kirliliğinin yol açtığı hastalık yükü ile ilgili kamu bilincinin artırılması, hava kirliliğinin azaltılmasında ve halk sağlığının iyileştirilmesinde önemli bir adımdır. Hava kirliliği risklerini, yaygın olarak kabul edilen sağlık etkileri ile karşılaştırması seviyesini anlamak için önemlidir. Bunu yapmak için Global Burden of Disease (GBD) projesini 1990'dan

günümüze kadar 195 farklı ülkede ve bölgede, 300'den fazla hastalık ve yaralanma gibi risk faktörleri incelenmiştir. Ölüm ve sakatlık etkileri sıralamak ve izlemek için 2000'den fazla araştırmacının katıldığı Sağlık Ölçütleri ve Değerlendirme Enstitüsü (IHME) tarafından yürütülen kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Mevcut küresel sağlık sorunları analizi edilerek aynı zaman içinde, yaş gruplarında ve nüfuslar arasında karşılaştırmalar yapılmış ve her yıl güncellenerek epidemiyolojik çalışmalar için kullanılabilir hale getirilmiştir. GBD 'nin 2016 yılındaki yaptığı analizlerden, PM_{2.5}'e maruziyet ölüm için 6. en yüksek risk faktörüdür (Şekil 2.18). Kalp hastalıkları ve inme, akciğer kanseri, kronik akciğer hastalığı ve solunum yolu enfeksiyonları 4,1 milyon kişi ölümüne neden olmuştur. Buna ek olarak 234.000 ölümü ozon maruziyetine ve ozona bağlı kronik akciğer hastalıkları ile ilişkilendirilmiştir (State of Global Air, 2018). PM_{2.5}, daha fazla ölüme ilişkili alkol kullanımı ve obozite gibi diğer daha iyi bilinen risk faktörlerinin üzerindedir.



Şekil 2.18: 2015 yılında tüm yaşlar ve cinsiyetler için tüm nedenlerden kaynaklanan toplam ölümlerin küresel risk faktörleri sıralaması (State of Global Air, 2018).

2.6.5. İnce Partikül Maddelerin Ölçüm Yöntemleri

Örnekleme, deneysel bir çalışmanın başarısını veya başarısızlığını tanımlayabilen kritik bir adımdır. Dikkatsiz kullanım veya uygulama protokollerine uyulmamasından dolayı kontaminasyonlar meydana gelebilir ve numuneye benzer kimyasal bileşimi içeren filtrelerin ve membranların yetersiz kullanımı nedeniyle hatalı sonuçlar alınabilir. İki tip örnekleme yöntemi vardır. Bunlar otomatik örnekleme ve doğrudan ölçümlere dayalı on-line yöntemler veya sahadaki bir numunenin toplanmasına dayanan ve analiz için bir laboratuvara taşınan offline yöntemlerdir (Galvao ve diğ., 2018).

2.6.5.1. On-line Yöntemler

MARGA (Monitoring for AeRosols and GAses) ve PILS-IC (Particle- Into- Liquid Sampler Coupled to Ion Chromatography) gibi on-line teknikler genellikle PM'nin analiz edilmesinde örnekleme işlemi gerektirmediğinden ve bu nedenle kirlenme riskini en aza indirmek için kullanılır. Bu yöntem ayrıca, 1 saat veya daha kısa bir zamanda PM'nin kaynak ve oluşum prosesleri hakkında bilgi sağlayabilir (Li ve diğ., 2017).

2.6.5.2. Off-line Yöntemler

Off-line yöntemler, örnekleme cihazlarının düşük maliyeti olmasına rağmen, 24 saat ve daha düşük zaman aralığında ölçüm yapılabilmektedir. On-line ölçümle karşılaştırıldığında, farklı cihazların aynı anda mekansal ölçüm kalitesini artıran çeşitli cihazların kurulması fayda sağlar. Off-line ölçümler, boyut seçiminin yanı sıra partikül maddeyi toplamak için bir filtre aracı gerektirir (Chow ve Watson, 1998). Örnekleme işlemi için kullanılan bütün sistemlerde, partikül maddeler bir filtre üzerinde toplanır (Yeşilyurt ve Akçan, 2001). Filtrenin yapısı, sıkıca dokunmuş lifli bir maddeden veya mikroskobik gözeneklerden nüfuz eden bir yapıya sahiptir (Chow ve Watson, 1998). Filtre malzemesinin tipi, yapılacak olan fiziksel veya kimyasal analize bağlı olarak değişmektedir. Geniş kapsamlı analizler için, filtre türü seçiminde daha dikkat edilmelidir (Yeşilyurt ve Akçan, 2001).

Filtre yapısı, partiküllerin filtre üzerinde kalmasını sağlayacak ve hava geçişine izin verecek şekilde olmalıdır. Filtre, toplanan materyalin toplam kütlesi ve örneklerin kimyasal yapısının tayin edilmesine imkan vermelidir. Filtreler türü olarak genellikle, elyaf (fiber) ve membran filtreler bulunmaktadır. Elyaf filtreler; cam elyaf filtreler, quartz elyaf filtreler ve selüloz (kağıt)

filtreleri içerir. Membran filtreler ise, eser element analizleri için daha uygun bir örnekleme sağlar (örneğin, INAA, ED-XRF veya mikroskopik analiz gibi). Membran filtre türlerinde partikül örnekleme için çoğunlukla kullanılan, polikarbonat (Nuclepore) ve polytetrafluoroethylene (PTFE, yaygın olarak teflon olarak bilinir) içerir (Yeşilyurt ve Akçan, 2001). PM ölçümlerinde analiz türüne bağlı olarak teflon, quartz fiber, glass fiber vb. filtre türleri Tablo 2.4'te gösterilmiştir. Bu nedenle yapılacak olan analiz önceden belirlenmesi ve filtre seçimi yapılması önemlidir.

Tablo 2.4: Partikül madde filtreleri, hedef türler ve uygulanan yöntemler (Medparticle, 2013).

Filtre Türleri	Hedef Türler	Analitik Teknikler
Quartz Fiber, Teflon, Cam Yünü (Glass Fiber)	PM ₁₀	Referans method: EN12341
Quartz Fiber, Teflon, Cam Yünü (Glass Fiber)	PM _{2.5}	Referans method: EN 14907
Quartz Fiber, Teflon, Cam Yünü (Glass Fiber)	PM _{2.5-10}	Direk gravimetrik ölçüm ya da PM _{2.5-10} =PM ₁₀ - PM _{2.5}
Quartz Fiber, Teflon, Cam Yünü (Glass Fiber)	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Cl ⁻	IC, (NH ₄ ⁺ ayrıca iyon elektrodu ile de belirlenebilir.
Quartz Fiber Filtre	EK, OK	Termal – optik analiz
Quartz Fiber, Teflon	Si†, Ca, Al, Fe, Mg, K, Na‡	ICP-AES*, AAS* XRF, PIXE
Quartz Fiber, Teflon	Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Co, Zn, As, Se, Sb, Ba, Cd, Pb	ICP-MS*, AAS* XRF, PIXE

*Hidroflorik asit çözündürülmesi yapılmalıdır

‡ Na, XRF ve PIXE ile belirlenemez. Na konsantrasyonları, IC ile belirlenen Na + ile değiştirilebilir.

† Si sadece XRF ve PIXE kesin olarak belirlenebilir.

Örnekleme verimliliği, mekanik, kimyasal ve fiziksel denge, şahit numune konsantrasyonları ve örnekleme debisi gibi faktörlere bağlıdır. Filtre türünün yanlış seçilmesi yanıltıcı sonuçlara yol açabilir (Chow ve Watson, 1998). Teflon ve polikarbonat filtreler tipik olarak, düşük boşluk seviyeleri ve gazların adsorpsiyonuna olan durağanlığı nedeniyle XRF, PIXE veya ICP gibi elementel analiz için kullanılır. Ancak, kimyasal bileşimleri karbon analizine uygun değildir. Quartz fiber filtreler, düşük boşluk seviyeleri ve kimyasal bileşime bağlı olarak karbon ve iyon analizi için yüksek oranda kullanılır. Ancak, bu filtreler ortamı pasif olarak VOC, HNO₃, SO₂ ve NO₂ gibi gazları adsorbe edebilir. Bir aerosolden bir gazı ayırmak için kullanılan cihazlarla bu gazların ayrılması gerekmektedir. Cam yünü filtreler de karbon analizi için uygulanabilir. Ancak bu filtreler yüksek boşluk seviyelerine sahiptir. Hem quartz fiber hem de cam yünü, kimyasal bileşimlerinin (Al ve Si, büyük ve değişken miktarlarda Na) bilinmesi durumunda, element analizi için kullanılabilir. Karışık selüloz ester membran filtreleri ise XRD cihazı için olduğu gibi tarama ve transmisyon elektron mikroskobu (SEM ve TEM) içinde kullanılırken, Polivinil Klorür (PVC) filtreleri XRD analizi ile uyumludur (Galvao ve diğ., 2018).

Tam bir PM kimyasal veya fiziksel karakterizasyonu, tek bir tekniğin kullanımıyla mümkün değildir. Bu nedenle, analitik yöntemine bağlı olarak yapılsa da, burada sunulan teknikler fiziksel ilkelerine veya çalışma gruplarına göre sınıflandırılmaktadır. PM karakterizasyonu için atomik spektrometre tabanlı, X-ışını ve iyon ışın tabanlı teknikler, aktivasyon analizi, organik ve karbonlu teknikler ve yüzey duyarlı teknikler bulunmaktadır. Çoğunlukla elementel analiz, atomik spektrometre, X-ışını ve aktivasyon analizine dayanan tekniklerle gerçekleştirilir. Ancak, bazı analitik teknikler son yirmi yılda daha çok kullanılmaktadır. PM karakterizasyonu için ICP-MS, ICP-OES, EDXRF, PIXE, FAAS, INAA, GFAAS, TXRF, CVAAS, PESA, SR-XRF son yıllarda en çok kullanılan cihazlardır (Galvao ve diğ., 2018).

XRF, NAA, PIXE teknikleri çok elementli numunelere ait ekstraksiyon işlemi gerektirmeyen nükleer ve/veya atomik esaslı tekniklerdir. AAS, ICP-AES ve ICP-MS yöntemleri numunenin ekstraksiyonu gerektirmektedir. ICP-AES ve ICP-MS aynı anda birçok elementin belirlenebilme özelliğine sahipken, AAS'de genellikle tek element tayinleri mümkündür. İyon kromatografi yöntemi ise anyonların ve katyonların ppb'den daha düşük konsantrasyonlarının analizi için kullanılmaktadır. Bu teknik ağır metal analizleri için düşünülmez (Yeşilyurt ve Akçan, 2001).

2.7. ORGANİK VE ELEMENTEL KARBON

Karbonlu partiküller, sıvı veya gaz yakıtların yanmasının bir yan ürünüdür. Atmosferde çoğunlukla ince partikül olarak bulunur ve genellikle elementel karbon (EC) ve organik karbon (OC) olarak iki ana bileşene ayrılır. Karbonlu partiküller atmosferde çözünmezler veya kısmen çözünür olarak kabul edilen karışımlarda bulunurlar. bu da bu karbonlu aerosol partiküllerini kuru ve ıslak çökeltme işlemleriyle az veya çok verimli bir şekilde uzaklaştırır (Andreae ve Gelencser, 2006).

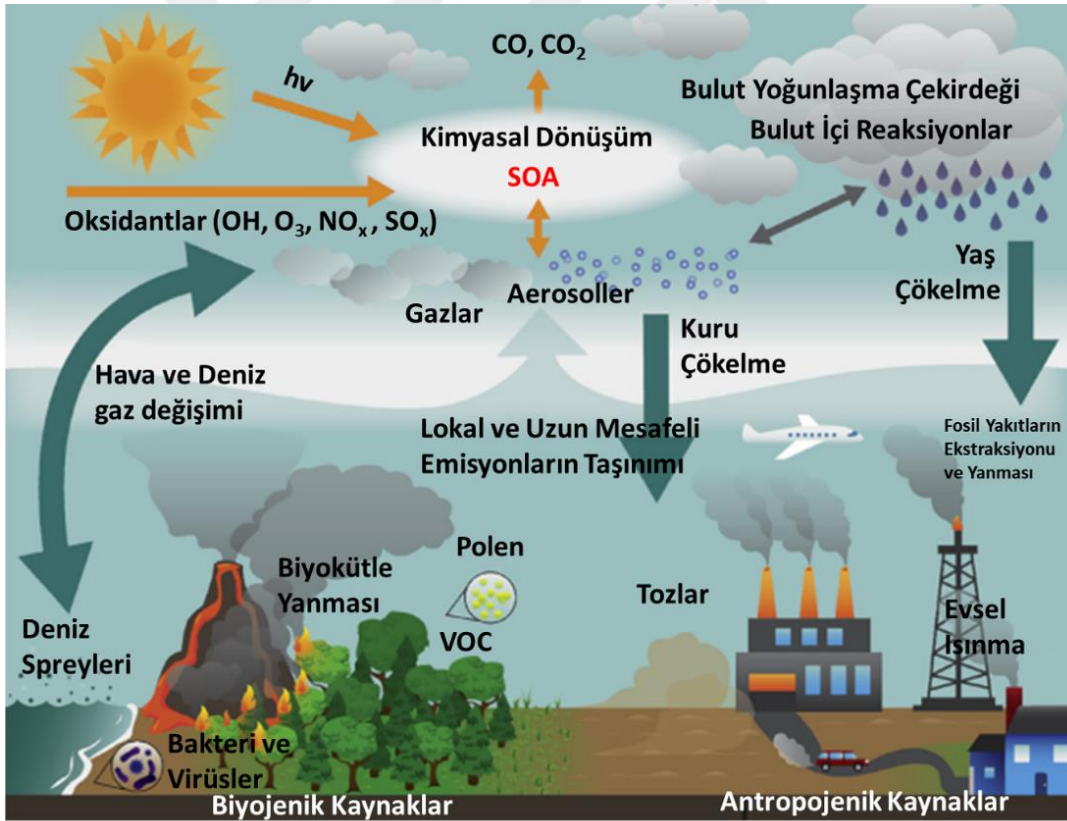
2.7.1. Organik ve Elementel Karbonun Genel Özellikleri

2.7.1.1. Organik Karbon

Organik karbon bileşikleri, ince atmosferik aerosol partikül kütlelerinin (%0-70) önemli bir bölümünü oluşturabilir (Andrews ve diğ., 2000). İnce aerosoller görünür dalga boylarına yakın boyutlara sahiptir ve bu nedenle büyük partiküllerden daha kuvvetli bir iklim etkisi vardır. Araştırmalar, organik aerosollerin doğrudan ve dolaylı radyatif zorlamada önemli rol

oynadığını göstermiştir (Liou ve diğ., 1996; Cooke ve diğ., 1999; Hansen ve diğ., 1998; Penner ve diğ., 1998; Chung ve Seinfeld, 2002; Kanakidou ve diğ., 2005). Şekil 2.19’de görüldüğü gibi, atmosferdeki organik karbon oluşumları, görünürlüğü, iklimi ve insan sağlığını olumsuz olarak etkiler.

Organik karbon (OK), direk ve dolaylı olarak oluşur. Doğrudan birincil kaynaklardan (POC) yayıldığı gibi hidrokarbonların foto oksidan prosesleri ile ikincil (SOC) ile düşük uçucu ürünlerin yoğunlaşmasıyla oluşturulabilir (Seinfeld ve Pandis, 2006). OK, birincil kaynaklardan, atmosferdeki fotokimyasal tepkimeler gibi pek çok faktörün de etkisiyle değişik modifikasyonlar geçirebilirler (Huang ve diğ., 2006). OH ve NO₃ radikalleri ile O₃ fotooksidasyon gerçekleşmesine karşın, organik karbon dönüşüm süreci troposferdeki ozon konsantrasyonunu ve ikincil organik aerosollerin (SOA) oluşumunu artırabilir (Odum ve diğ., 1997).

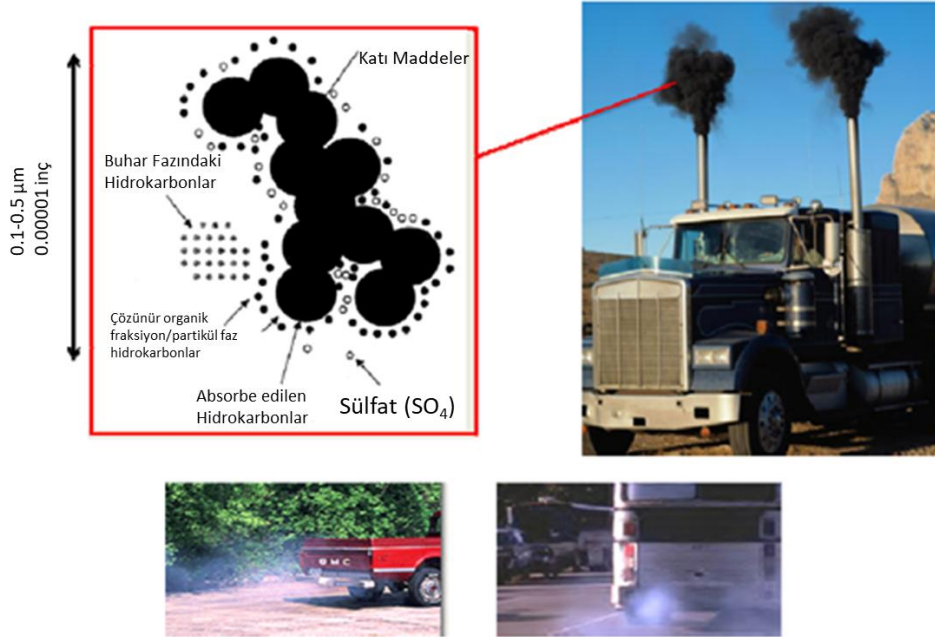


Şekil 2.19: Organik karbon başlıca kaynaklar ve prosesleri (Lavorivska ve diğ., 2016).

2.7.1.2. Elementel Karbon

Siyah karbon (BC) veya grafit karbon olarak da adlandırılan elementel karbon, fosil yakıtların ve biyoyakıtın tam yanmamasıyla oluşur (Şekil 2.20). Elementel karbon, saf grafit benzeri bir kimyasal yapıya sahiptir ve yanma sırasında atmosfere yayılır. Hem antropojenik hem de doğal olarak oluşabilir. Elementel karbonun boyutu 20 ila 30 nm arasında değişir ve düz veya dallı zincirler oluşturarak birbirleriyle kümelenirler. Bu zincirler aglomerat oluşturur ve birkaç mikrometre boyutlarında görünür is türlerini meydana getirirler (Seinfeld ve Pandis, 2006).

EK genellikle 1,0 mikrometreden daha küçük olan koyu, güçlü ışık emici partiküllerden oluşur. EK, atmosferde daha uzun yaşam süresi yaklaşık 1 hafta olması nedeniyle birincil antropojenik hava kirleticilerinin iyi bir göstergesidir (Andreae, 2001). Atmosferde, EK bileşeni çeşitli şiddetlere sahip yanma olaylarını kapsayan bileşiklerin bir karışımıdır. EK, yapısı ve atmosferik ömür farklılıklarını yansıtan bir dizi farklı kimyasal bileşime, morfolojiye, boyuta ve optik özelliklere sahiptir. EK'nin büyük çoğunluğu, ya antropojenik (araç) ya da biyojenik (orman yangınları) olabilen birincil kaynakların eksik yanmasından kaynaklanmaktadır (Wang, 2014). Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen yanma tepkimelerinden kaynaklanan EK izotopik yapısı, inert karakterinden dolayı çok fazla değişmesi beklenmez (Huang ve diğ., 2006).



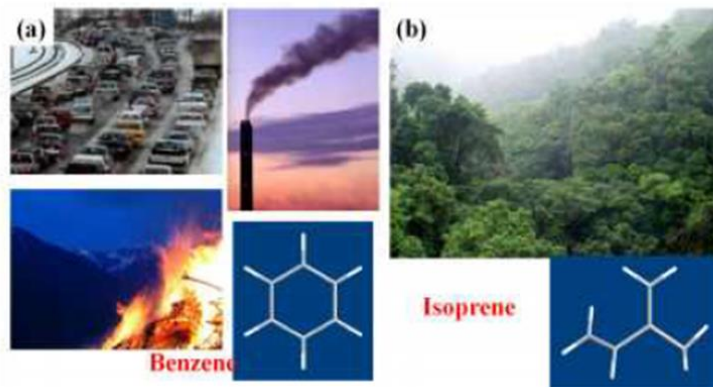
Şekil 2.20: İsin yakın görünümü (Bachmann, 2009).

2.7.2. Organik ve Elementel Karbonun Kaynakları

2.7.2.1. Organik Karbon Kaynakları

Organik karbon (OK), doğrudan kaynaklardan yayıldığı gibi ya da hidrokarbonların fotooksidan prosesleri ile düşük uçucu özellikli ürünlerin yoğunlaşmasıyla da oluşturulabilir. Organik bileşiklerin, görünürlük, sağlık ve iklim de dahil olmak üzere aerosolla ilişkili sonuçlara önemli oranda katkıda bulunduğu kabul edilmektedir (Novakov ve Penner, 1993). Ayrıca OK'nın bulut oluşumunda rol oynadığı düşünülmektedir. Esas olarak organik karbonlar antropojenik kaynakları (araç egzozu, endüstriyel emisyonlar, biyoyakıtlar, benzen gibi) ve doğal kaynakları (bitkiler, ağaçlar ve yağmur ormanları, izopren gibi) içerir. SOA'ler, biyojenik ve antropojenik kaynakları hidroksil radikalleri, ozon ve azot oksit türleri gibi atmosferik oksidanlarla reaksiyona girdiğinde oluşur. Kentsel alanlarda, toplam organik aerosol kütlelerinin %90'ına SOA oluşturmaktadır. Bununla birlikte, artan oksidan seviyeleri doğal aerosol oluşum proseslerini etkileyerek artırabildiğinden, antropojenik atmosferik bileşim değişikliklerinden de önemli derecede etkilenmektedir (Wang, 2014).

Doğal olarak oluşan organik karbon formları bitki ve hayvanların parçalanmasından türemiştir. Büyük miktarda metan içermeyen organik bileşikler, biyojenik kaynaklardan, özellikle orman ve bitki örtüsünden atmosfere salınır. Çoğu biyojenik uçucu organik bileşik (BVOC), izopren benzeri yapılarla ilişkilidir. Doğal olarak salınan VOC'lerin egemen türleri izopren ve terpenlerdir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21: Organik karbonun kaynakları (a) antropojenik kaynaklar, (b) doğal kaynaklar (Healy, 2006).

BVOC'ler alt troposferin kimyasında önemli bir rol oynamaktadır ve troposferde bu organik bileşikler, hidroksil (OH) radikalleri, nitrat (NO₃) radikalleri ve ozon (O₃) ile reaksiyona girer. Bu reaksiyonlar, aerosoller, peroksitler (hidrojen peroksit ve organik peroksit), karbon döngüsü, asit yağmuru ve OH radikal gibi aktif radikallerin oluşumuna neden olmaktadır. Ancak, SOA(IOA) üretimine yol açan kimyasal reaksiyon yollarının ayrıntılı bir şekilde anlaşılammıştır ve genel olarak partikül fazında tespit edilen ürünlerin toplam verimi %30'dan azdır (Wang, 2014).

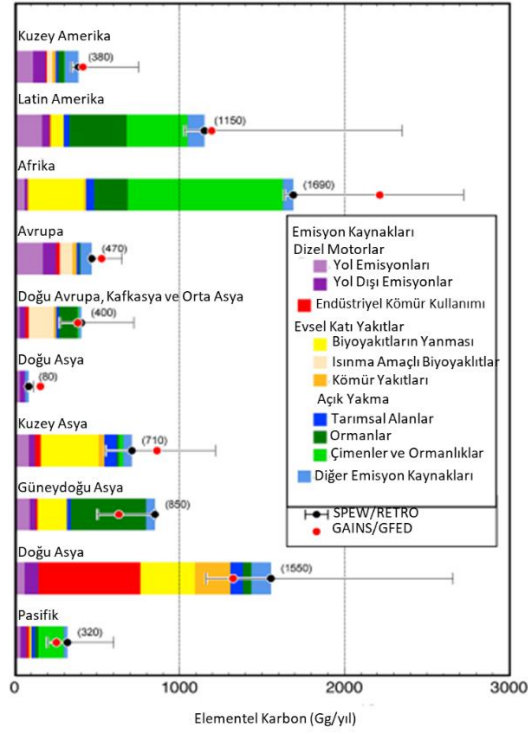
Organik karbon kaynakların doğal olarak oluşan yanı sıra antropojenik faaliyetler yoluyla bulaşma sonucu türetilen kaynaklar da vardır. Çeşitli şekillerde oluşan kirleticilerin çevreye yayılması toplam karbon içeriğini artırır. Benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen (BTEX) gibi aromatik hidrokarbonlar, motorlu taşıt egzozundan ve endüstriyel faaliyetler sonucunda troposfere salınır. BTEX, atmosferik koşullar altında insanlara toksisitesi dışında OH radikalleriyle oksitlenerek ozon ve SOA'leri üretir (Wang, 2014).

2.7.2.2. Elementel Karbon Kaynakları

Elementel karbonun ana kaynakları; yanma prosesleri, kömür, odun, gübre ve tarımsal kalıntı gibi katı yakıtların evsel ısınma amacıyla yakılması ve endüstriyel faaliyetleri sonucu oluşur. Şekil 2.22'de küresel olarak elementel karbon emisyonlarının bölge bazında emisyon tahminlerini göstermektedir.

Tüm bölgelerdeki önemli elementel emisyonları, açık arazi yanma olaylarının yüksek olduğu Afrika ve Latin Amerika bölgelerinde gerçekleşmektedir. Avrupa, Kuzey ve Latin Amerika'da Asya ve Afrika'da konut kömürü ve biyokütle yakıtlarından (%60-80), karayolu ve karayolu dışı dizel taşımacılığına (yaklaşık %70) kadar, enerji kaynaklı yakma değişimlerinden kaynaklanan baskın elementel karbon kaynaklarını oluşturmaktadır. Diğer bir bölge ise kömürün endüstriyel kullanımı nedeniyle Doğu Asya'dır (Bond ve diğ., 2013).

EK'nın önemli antropojenik kaynakları fosil yakıt yanmasından kaynaklanan kentsel trafik emisyonlarıdır. Biyoyakıtların yanması gibi diğer EK kaynakları daha düşük oranlarda kırsal, yerleşim bölgelerinde ya da vahşi yangın olaylarında kış koşullarında gerçekleşir (Gelencsér ve diğ., 2007). EK'nin sırasıyla Avrupa kırsal ve kentsel sahalarında atmosferik ince aerosolün %8 ile %17'sini oluşturduğu gözlemlenmiştir (Putaud ve diğ., 2004).



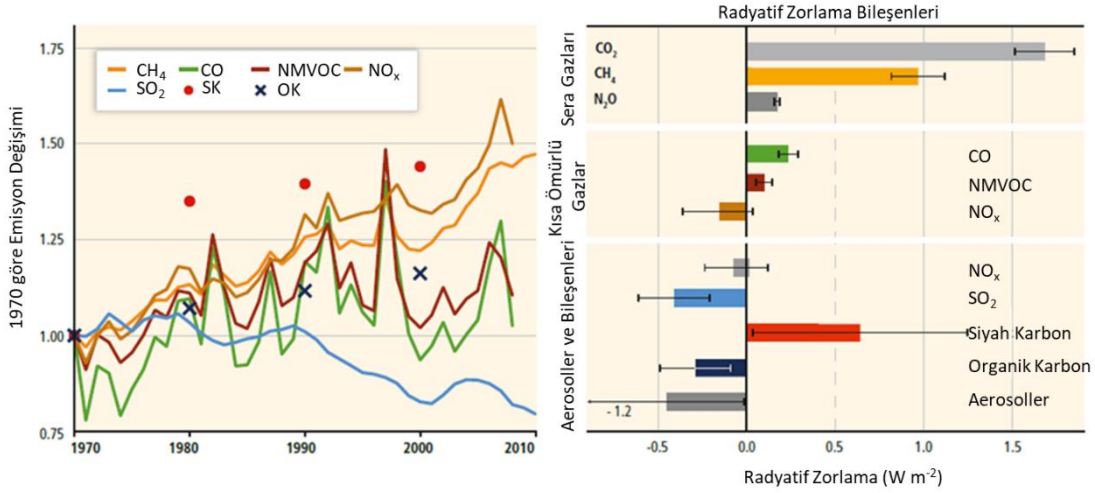
Şekil 2.22: Sektörel ve bölgesel elementel karbon emisyonu kaynakları (Bond ve diğ., 2013).

EK emisyonlarının kaynakları bölgelere göre önemli ölçüde değişmektedir. Küresel olarak EK emisyonlarının yaklaşık %80'i gelişmekte olan ülkelere gelmektedir (Bond ve diğ., 2004). Doğu Asya, EK aerosollerinin önemli bir kaynak bölgesi olup küresel olarak tahmini yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır (Bond ve diğ., 2004; Husar ve diğ., 2001).

2.7.3. Organik ve Elementel Karbonun Çevresel Etkileri

OK, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAHs) ve poliklorlanmış dibenzo-p-dioksinler ve dibenzofuranlar (PCDD/Fs) gibi bazıları mutajenik ve kanserojen olan yüzlerce organik bileşikten oluşan bir karışımdan oluşur (Pitts, 1983; Schuetzle, 1983; IARC, 1980; LaVoie, 1979). EK ve OK, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bir sonucu olarak, iklim ve sağlık üzerinde önemli rol ve etkilere sahiptir (Chuang ve diğ., 2003; Du Four ve diğ., 2004; Li ve diğ., 2005; Bates ve diğ., 2005). EK, güneş radyasyonunu güçlü şekilde absorbe eder ve küresel ısınmanın önemli unsurlarından biridir (Hansen ve diğ., 2005). EK, PM_{2.5} olarak bilinen ince parçacıklı maddenin en güçlü ışık emici bileşenidir (U.S. EPA, 2012). Başlıca yanma prosesleri sonucu

atmosfere salınan elementel karbon (EK) ile birincil ve ikincil prosesler sonucu oluşan organik karbon (OK) radyatif zorlama etkisine sahiptir. Buna bağlı olarak OK, soğuma etkisi gösterirken, EK'nın bir ısınma etkisi vardır (Wang ve diğ., 2005; Novakov ve diğ., 1997; Penner ve diğ., 1998). 1750 ile 2011 yılları arasında, fosil yakıt ve biyokütle yanmasından salınan emisyonlara ait radyatif zorlama değerleri Şekil 2.23'te gösterilmiştir.



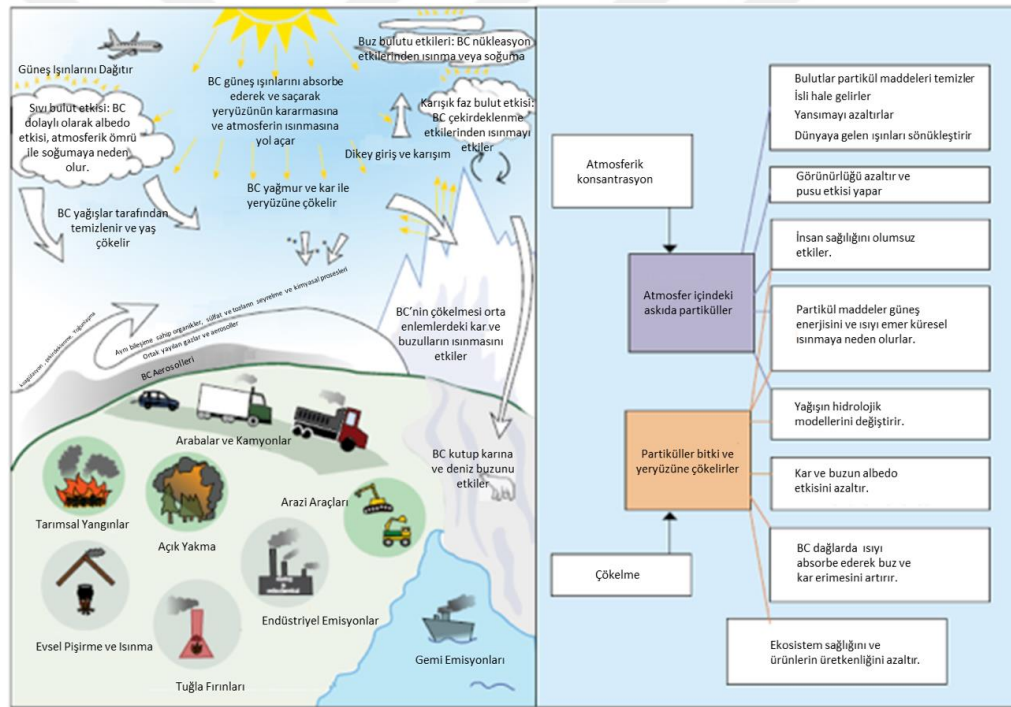
Şekil 2.23: Organik ve elementel karbonun diğer kirleticilerle radyatif zorlama değerleri (Myhre ve diğ., 2014).

1750 ile 2011 yılları arasında, fosil yakıt ve biyokütle yanmasından salınan siyah karbondaki değişime bağlı olarak ortaya çıkan küresel insan kaynaklı radyatif zorlama ortalama değerinin 0,64 W/m² olduğu tahmin edilmektedir (Myhre ve diğ., 2014). Bu büyük değer, siyah karbonu karbondioksit (1,68 W/m²) ve metandan (0,97 W/m²) sonra antropojenik radyatif zorlamaya üçüncü en büyük katkıda bulunur. Organik karbon yaklaşık -0,30 W/m² olarak hesaplanmıştır.

Dünyanın enerji dengesini değiştiren doğal ve antropojenik maddeler ve prosesler iklim değişikliğinin itici güçleridir. Radyatif zorlama, yerinde ve uzaktan gözlemler, sera gazları ve aerosollerin özellikleri ve gözlemlenen prosesleri temsil eden sayısal modeller kullanılarak yapılan hesaplamalara dayanılarak tahmin edilmektedir. Bazı yayılan bileşikler, diğer maddelerin atmosferik konsantrasyonunu etkilemektedir (IPCC, 2013). Elementel karbonun küresel ölçekte aerosollerin kompozisyonuna baskın olması halinde, aerosol albedo'nun (global ortalama optik kalınlık 0,125 olduğunda) 0,95'den 0,75'e düşeceği tahmin edilmektedir. Aerosollerin radyasyon üzerindeki sonuçtaki etkisi, daha sonra 0,5 ° C'ye kadar ısınma, 1,2 °

C'ye kadar soğuma arasında değişecektir. Diğer taraftan, eğer sülfatlar ve organik karbon aerosollerin bileşimine egemen olursa, iklim soğuyacak ve CO₂'nin (-1 W/m²) küresel iklim ısınmasına olan etkisi dengelenebilecektir (Houghton, 1995).

Kar ve buz üzerinde biriken EK, albedoda azalmaya ve güneş radyasyonunun emiliminde artışa neden olur (Hansen ve Nazarenko, 2004). Ayrıca, bulutların mikrofizik ve radyasyon özelliklerini değiştirerek bulut damlacıklarının oluşumunu etkilerler (Torres ve diğ., 2014). Atmosferik karbonun organik fraksiyonu, sülfat aerosollerle olduğu gibi, güneş ışınımının yayılmasını etkiler, oysa elementel karbon atmosferdeki ışık emiliminden sorumlu başlıca türdür (Tang, 1996; Ebert ve diğ., 2004). Elementel karbon kaynakları ve iklim değişikliği üzerine etkileri Şekil 2.24'te gösterilmiştir.



Şekil 2.24: Elementel karbon kaynakları ve iklim değişikliği üzerine etkileri (Bond, 2013, U.S. EPA, 2012).

EK'nın iklim değişikliği, halk sağlığı ve çevre üzerindeki çoklu etkilerini ve bu emisyonlarını azaltılmasının önemli olduğu anlaşılmıştır (UNEP/WMO, 2011; U.S. EPA, 2012; Arctic Council, 2013; Bond ve diğ., 2013; IPCC, 2014). Bu değerlendirmeler genel olarak EK'nın, diğer kısa ömürlü iklim kirleticileri ve uzun ömürlü sera gazı emisyonlarının sıcaklık artışı ve

ciddi iklim değişikliği etkilerinden kaçınmak için önemli ölçüde azaltılması gerektiği sonucuna varmıştır.

OK aerosolleri bulut yoğunlaşması çekirdeğinin (cloud condensation nuclei-CCN) oluşumunda önemli bir rol oynamakta ve daha yüksek bir albedo bulutuna ve nihayetinde küresel iklim değişikliğine yol açmaktadır (Hitzenberger ve diğ., 1999, Dan ve diğ., 2004). Albedo, güneş ışınımının çoğunlukla yeryüzünden ve atmosferden yansıtılan kısmının değişmesi olarak adlandırılır (Türkeş, 2011). EK, küresel ısınmaya yol açan baskın türlerinden biridir (O'Brien ve Mitchel, 2003; Dan ve diğ., 2004). EK, güneş ışınımını absorbe ederek ve dağıtarak görünürlüğü azaltmaktadır (Liou ve diğ., 1996; Na ve diğ., 2004). Ayrıca, atmosferdeki OK ve EK'nin nispi miktarları ve OK/EK oranları, aerosollerin bölgesel ölçekte radyatif zorlaması üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin değerlendirilmesi için önemli parametrelerdir (Novakov ve diğ., 2005).

2.7.4. Organik ve Elementel Karbonun İnsan Sağlığına Etkileri

EK ve OK, küçük tanecik boyutlarından (10 mikrometre veya daha düşük çap) dolayı kolayca akciğerlere nüfuz edebilirler. Partikül boyutu ne kadar küçükse penetrasyon da o kadar derinleşir. Uzun süreli maruz kalma; solunum yolu enfeksiyonları, kardiyovasküler hastalıklar ve ağırlaştırılmış astım gibi akciğer kanseri gibi sorunlarla sıkça ilişkili olan insan sağlığı için ciddi tehdit oluşturmaktadır (Seaton ve diğ., 1995). İnce partikül maddeler, insan solunum yolunun derinlerine gidebilir ve kısa süreli boğaz ve akciğer tahrişi, öksürme, hapsirme, burun akıntısı ve nefes darlığı gibi sağlık etkilerine neden olabilir ve kardiyovasküler problemler (kronik bronşit gibi), astım, akciğer kanseri ve kalp hastalığı uzun süreli maruziyet sonucu meydana gelir.

Elementel karbon partikülleri boyut olarak değişir, ancak genellikle 1.0 mikrondan küçüktür. Partikül madde kirliliğine maruz kalmak, kalp ve akciğer hastalığı olan kişilerde erken ölüm ile ve kalp krizi, astım, kronik bronşit, akciğer fonksiyonu azalması ve düzensiz kalp atışı dahil olmak üzere bir dizi kronik ve akut olumsuz kardiyovasküler ve solunum yolu etkileriyle ilişkilidir (U.S. EPA, 2010a). Elementel karbon maruziyet çalışmaları, kentlerdeki yaşayan insanlarda akciğer fonksiyonlarının ve çocuklarda bilişsel yeteneklerin azalması arasında bir ilişki bulmuştur (Suglia ve diğ., 2008; Suglia ve diğ., 2008).

2.7.5. Organik ve Elementel Karbonun Ölçüm Yöntemleri

2.7.5.1. Termal/Optik Analiz Metodu

Termal/Optik yöntemler, aerosol EK ve OK analizi için en çok kullanılan ve kabul edilen yaklaşımlardır (Han ve diğ., 2013; Hitzenberger ve diğ., 2006; Schauer ve diğ., 2003; Watson ve diğ., 2005). Yöntemler metot olarak, düşük uçuculu EK'nın, inert bir ortamda <350 ° C sıcaklıklarda serbest kalmamasına dayanmaktadır. Bu, daha uçucu organik karbonun elementel karbondan ayrılmasına izin vermektedir. Tipik olarak iki fazdan oluşan ısıtma programları, filtreler üzerinde toplanan aerosol partikül maddeler üzerinde uygulanır. İlk olarak, OK inert bir ortamda piroliz olur. Pirolize edilmiş organik karbon (PyOC) ölçüm işleminde oluşturulan yapay EK olarak oluşturulur. Örneklerin yansıma veya geçirgenliğin azalması lazer kullanılarak PyOC oluşumunu izlenir. İkinci aşamada, hem EK hem de PyOC'nin yakıldığı bir oksitleyici ortamda ısıtılır. Bir organik piroliz (OP) fraksiyonu, oksijen girişinden sonra ve lazer sinyali başlangıç değerine dönmeden önce ortaya çıkan karbon olarak tanımlanır. EK, ikinci fazın OP'den oluşan karbon farkı hesaplanarak ölçülür (Han ve diğ., 2013).

Literatürde sıcaklık değişimleri tanımlamak için kullanılan iki ana işlem protokolü vardır. Bunlar IMPROVE (Interagency Monitoring of Protected Visual Environments) ve Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) 5040 termal değerlendirme protokolüdür (Chow ve diğ., 1993; Birch ve Cary, 1996). Başlangıçta, NIOSH protokolü trafik kaynaklı hava kirliliği analizine yönelik olarak oluşturulmuşken IMPROVE protokolü ise ortam çevre kirliliği için tasarlanmıştır (Chow, 2001). Bu iki protokolden OK ve EK sonuçları için önemli farklılıklar oluşturmaktadır.

OK ve EK arasındaki ayrışmanın tanımı, numunenin ışık geçirgenliği veya yansımalarının başlangıç durumuna geri döndüğü analizdeki noktadır (Schauer, 2003). OK, oksijen içermeyen ortamda ve pirolize edilmiş karbondan salınan karbon olarak tanımlanırken, EK ise lazer geçirgenlik noktasının başlangıç durumuna geri döndükten sonra yayılan karbondur. IMPROVE veri tabanında sıcaklık, oksidasyon ortamı ve He-Ne lazer ışığı yansıması ile tanımlanan sekiz karbon fraksiyonu vardır. Bu sekiz fraksiyon, OK olarak ışık emici fraksiyonları oluştururken, EK ise ışık emici özellik göstermez. IMPROVE protokolü tarafından tanımlanan sekiz karbon fraksiyonu OK1-OK4, piroliz karbon (PK) ve EK1-EK3'tür. Tablo 2.5'te, IMPROVE protokolü için fraksiyonların her birinin sıcaklığı listelenmektedir. PK

fraksiyonu, EK benzeri bir materyal oluşturmak üzere pirolize veya kömür haline getirilmiş OK bileşikleri arasında ayırım yapmak için vardır. Bu yanmış OK'nin kimyasal ve optik olarak EK'ye benzer olduğu düşünülmektedir ve optik bir lazer kullanılarak düzeltilmektedir. Bu, doğru OK/EK ayrılmasını sağlamak için bileşiklerin OK fraksiyonuna doğru şekilde atanması için yapılır. Tüm yanmış maddenin OK olduğunu varsayar ve dolayısıyla EK fraksiyonlarından önce oluşur (Khan ve diğ., 2011).

Tablo 2.5: IMPROVE protokolünde kullanılan OK ve EK sıcaklıkları.

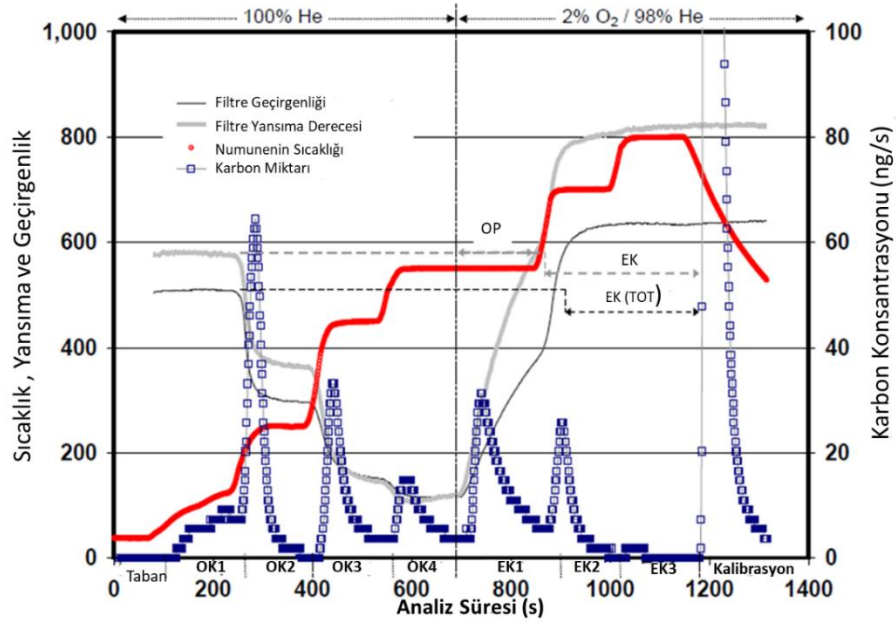
Fraksiyon	OK1	OK2	OK3	OK4	EK1	EK2	EK3
Sıcaklık (°C)	120	250	450	550	550	700	850

NIOSH termal protokolü, sıcaklık ve optik protokollerdeki farklar haricinde IMPROVE ile aynı termal değişimleri kullanır. Yöntemler arasında, iki ana farklılık, her bir fraksiyon için tutma süreleri ve oksijensiz ısıtma aşaması için kullanılan en yüksek sıcaklıktır (Schauer, 2003). NIOSH metodu, OK4 fraksiyonu ve sabit tutma süreleri için daha yüksek bir sıcaklık (550 ° C'ye kıyasla 850 ° C) kullanırken IMPROVE metodu her ısıtma aşaması için karbon oluşumuna bağlı olarak tutma süreleri değişmektedir. Bu nedenle, uygulamada iki protokol, OK ve EK arasındaki ayırma önemli farklılıklar bulunmaktadır (Bae ve diğ., 2009). NIOSH protokolü IMPROVE protokolüne kıyasla daha düşük EK konsantrasyon sonuçları alınmaktadır. Sonuç olarak bu iki protokol arasında büyük ve önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir (Chow, 2001). Ancak, her iki yöntem çeşitli farklı örnekler için TK konsantrasyonu için makul ölçüde benzer sonuçlar alınmıştır (Chow, 2001; Chow, 2005; Bae ve diğ., 2009; Ancelet ve diğ., 2011). Örneğin, bir kentsel tüneldeki havadaki partiküllerden elde edilen TK konsantrasyonları için genellikle aynı sonuçlar elde edilmiştir (Ancelet ve diğ., 2011). Ayrıca kırsal ve kentsel ortamlardaki alınan örnekler için TK konsantrasyonunda anlamlı bir farklılık göstermemiştir (Khan ve diğ., 2011). Bu çalışmalar, TK konsantrasyonlarının protokoller arasında benzer sonuçlar alınması iki teknik arasında ana farkın, OK ve EK'nin farklılaşmasına ve OK/EK oranlarının farklı olmasına neden olan OK ve EK'nin bölünmesi olduğunu göstermiştir (Khan ve diğ., 2011, Ancelet ve diğ., 2011). EK ve OK konsantrasyonları kentsel çevre PM_{2.5} örnekleri NIOSH ve IMPROVE metodları ile ölçülmüş ve her bir örnekleme alanında EK ve OK için farklı değerler verdiği bulunmuştur. NIOSH yöntemi daha düşük EK konsantrasyonları ve daha

yüksek OK konsantrasyonlar elde edilmiştir (Khan ve diğ., 2011). Bu sonuçlar, OK/EK oranı üzerinde, NIOSH tarafından belirlenen daha yüksek oranların, daha yüksek bir sıcaklıkta organik aşamaya sahip olan yöntemlere bağlı olduğu için, bir sıcaklık etkisi olduğunu göstermektedir. Bu adımın bazı EK'yi içerdiği bilinmektedir, bu nedenle OK'ye atfedilen karbon konsantrasyonunu arttırmaktadır (Chow, 2001).

IMPROVE sıcaklık protokolü ile termal-optik yöntemle quartz fiber filtreler üzerinde toplanan partikül maddeler, OK'yi belirlemek için 140, 280, 480 ve 580° C'lik kademeli sıcaklık programı ile, He gazının (>%99.99) bir inert ortamda ısıtılmıştır. Karbon içeriği, desorbe edilmiş karbonlu türlerin, kızılötesi spektroskopi (IR) veya alev iyonizasyon detektörleri (FID) ile aşağıdaki tespit ile karbon dioksit veya metana dönüştürülmesiyle ölçülür. İlk aşamadan sonra oksijen (%2), 580, 740 ve 840° C'de basamaklar içeren bir sıcaklık programı içinde element karbonu karbon dioksit oksitlemek için inert gaza eklenir. Böylece EK değeri belirlenir. IMPROVE sıcaklık protokolü OK/EK değerlerinin düzeltilmesi için bir lazer termal/optik yansıtma (TOR) veya geçirgenlik (TOT) yöntemini kullanır (Chow ve diğ., 2004; Chow ve diğ., 2007,1995; Chow ve diğ., 2011). Bir IMPROVE (TOR) karbonlu termogram yedi karbon fraksiyonu, analiz atmosferi ve numune sıcaklığı ile tanımlanır. OK1, OK2, OK3 ve OK4, okside olmayan saf helyum (He) ortamında gelişirken EK1, EK2 ve EK3, %2 oksijen (O₂) ve %98 He karışımında gerçekleşir. Optik düzeltmeler, O₂ eklendikten sonra orijinal değerlerine ulaştıklarında yansıma ve geçirgenlik ile belirlenir (Şekil 2.25). OK'nın belirlenmesi sırasında filtrede organik türlerin pirolizi ve karışımı, atmosferden toplanan gerçek EK'yı etkileyebilir (Orasche, 2013).

Son zamanlarda, AB-projesi EUSAAR (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research) çerçevesinde termal-optik analiz protokolü EUSAAR_2, Avrupa'daki bölgelerde, organik ve elementel karbon arasındaki ayrımı doğruluğunu geliştirmek amacıyla yapılmıştır. He-modunda ve daha uzun kalma sürelerinde daha düşük sıcaklık kademelerinin kullanılması pirolizin azaltılmasını ve OK miktarının daha doğru olarak ölçümünü amaçlamaktadır (Cavalli ve diğ., 2010).



Şekil 2.25: IMPROVE (TOR) karbon termogramı (Chow ve diğ., 2001).

En çok kullanılan sıcaklık protokollerinden NIOSH, IMPROVE_A, EUSAAR_2 özellik olarak çeşitli farklılık bulunmaktadır. NIOSH protokolü ölçüm aralığı $0,7$ ila $70 \mu\text{g C cm}^{-2}$ 'dir ve tespit limiti (LOD) $0,15 \mu\text{g C cm}^{-2}$ olarak hesaplanmıştır (Birch ve Cary, 1996; Peterson ve Richards, 2002). IMPROVE_A protokolleri için ölçüm aralığı $0,2$ - $750 \mu\text{g C cm}^{-2}$ ve tespit limiti $0,2 \mu\text{g C cm}^{-2}$ 'dir (Chow ve diğ., 1993). EUSAAR_2 protokolü, farklı mevsimlerde ve Avrupa'daki çeşitli yerlerde toplanan örneklerde 5 ila $62 \mu\text{g C cm}^{-2}$ arasında değişen filtre yüklemeleriyle tasarlanmış ve test edilmiştir. Her sıcaklık adımındaki kalma süreleri, çeşitli karbon piklerinin açıkça ayrıldığı ve EK tayinindeki belirsizliğin %2 ila %7 arasında değişeceği şekilde seçilmiştir (Cavalli ve diğ., 2010).

2.7.5.2. VDI 2465 Analiz Yöntemi

VDI 2465 analiz metodu; Almanya'da, VDI 2465 Part 1, toluen ve 2-propanol ile OK'nin ekstraksiyonunu, nitrojen akışında termo desorpsiyonu içeren bir yöntemdir. Daha sonra yanma, termal yonteme eklenerak standart bir teknik oluşturmıştır. VDI 2465 Part 1 metodu, ekstrakte edilebilir organik karbonun ortam aerosol numunesinden uzaklaştırılması için oda sıcaklığında 24 saat boyunca toluen ve 2-propanolün 1:1'lik bir karışımı içinde örnek filtrenin çözücü ekstraksiyonunu içerir. Filtreyi bir nitrojen akışında 4 saat, ardından 24 saat vakumda

kurutulduktan sonra, ekstrakte edilemeyen organik karbon, 200° C'de 1 dakika ve 500° C'de 7 dakika boyunca bir nitrojen akışında termo-desorpsiyon ile uzaklaştırılır. Filtredeki kalan karbon daha sonra EK olarak belirlenir. Bu fraksiyon 650° C'de oksitleyici bir ortamda yakılır ve ortaya çıkan CO₂ kulometri ile belirlenir (Schmid ve diğ., 2001).

2.8. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.8.1. Türkiye’de Yapılmış Bazı Çalışmalar

Öztürk ve Keleş (2016), tarafından Aralık 2014 ile Şubat 2015 tarihleri arasında, Bolu’da kentsel bir örnekleme alanında, PM numuneleri PM_{2.5-10} ve PM_{2.5} boyutlarında toplanmıştır. Toplanan örnekler metaller (Al, As, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Pb, S, Si, Ti, V ve Zn), elementel karbon ve organik karbon açısından analiz edilmiştir. OK, EK ve TK için ortalama konsantrasyon örnekleme döneminde sırasıyla 59,9±50,4, 5,92±4,79 ve 65,8±54,9 µg/m³ olarak bulunmuştur (Öztürk ve Keleş, 2016).

Arı ve Gaga (2015) tarafından yapılan çalışmada Eskişehir’de bulunan İki Eylül Kampüsü içerisinde PM_{2.5} örnekleri toplanmış ve bu örneklerde OK- EK konsantrasyonlarını araştırmıştır. 2012 yılının Mart, Nisan ve Kasım aylarında toplanan örneklerin ortalama PM_{2.5} değerleri 28,6±10,8 µg/m³ bulunmuştur. Örneklerde ölçülen ortalama OK konsantrasyonları 4,4±1,9 µg/m³, EK konsantrasyonları ise 1,5±1 µg/m³ olarak tespit edilmiştir. OK/EK oranları ise ortalama 3,2±0,9’dur. OK/EK oranlarının birincil partikül kaynaklarının baskın olduğu otoyol tüneli veya emisyon bacaları yakını gibi bölgelerde belirlenen oranlardan (0,8-1,2) oldukça yüksek oldukları görülmüştür. Toplanan örneklerde yanma kaynaklı partiküllerin baskınlığının belirlenmesi amacıyla çok halkalı aromatik hidrokarbon (PAH), NO₃⁻ ve SO₄²⁻ gibi anyonların analizleri de yapılmıştır (Arı ve Gaga, 2015).

Theodosi ve diğ. (2010) İstanbul, boğaz bölgesinde (Kasım 2007 - Haziran 2009) boyunca 325 adet PM₁₀ örneğinde aerosol kimyasal bileşimini araştırmıştır. Toplanan örneklerde iyonlar, eser metaller, organik ve elementel karbon türleri analiz edilmiştir. OK ve EK'nin yıllık ortalama konsantrasyonları 6,65 µg/m³ ve 2,92 µg/m³ bulunmuştur. Sonuçlara bakıldığında, tüm karbon bileşikler (EK, OK ve WSOC) arasında yüksek bir korelasyon gözlenmiştir. Kış aylarında yaz aylarına göre yüksek değerler görülmüştür. Bu mevsimsel değişim, evsel ısıtma sistemleri gibi kaynakların dağılımını ve bu miktarın kış mevsimine bağlı olarak TK miktarını

etkilediği sonucuna varılmıştır. OK/EK oranı, OK'nin çoğunlukla birincil olduğunu ve EK'nin trafikle ilgili olduğunu göstermektedir (Theodosi ve diğ., 2010).

Özdemir ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada İstanbul'da farklı trafik yoğunlukları ile karakterize edilen dört noktada SK ve ince partikül madde (PM_{2.5}) konsantrasyonlarını iki ölçüm periyodunda ölçülmüştür. Yıllık ortalama SK ve PM_{2.5} konsantrasyonları 13 µg/m³ ve 36 µg/m³ bulunmuştur. Yıllık ortalama SK, PM_{2.5} içeriğinin %38 oranında bulunmuştur. SK konsantrasyonlarının günlük değişimleri, trafik yoğunluğunun değerlerini arasında 0,87 korelasyon bulunmuştur (Özdemir ve diğ., 2014).

Ahmed ve diğ. (2009), siyah karbonun termal ve optik ölçüm yöntemlerini karşılaştırmış ve çalışmanın bir parçası olarak, Eylül-Aralık 1993 yılına ait ölçüm periyodunda Antalya'da siyah karbon konsantrasyonları 0,1-1,0 µg/m³ olarak ölçülmüştür (Ahmed ve diğ., 2009).

Koçak ve diğ. (2007), tarafından yapılan çalışmada Zonguldak'taki bir çalışmada, Aralık 2004 ile Ekim 2005 arasında, PM_{2.5} ve PM_{2.5-10} kütle ve eser element konsantrasyonları incelenmiştir. PM_{2.5}, PM_{2.5-10} ve PM₁₀ ortalama kütle konsantrasyonu; 29,38 µg/m³, 23,85 µg/m³ ve 53,72 µg/m³ olarak bulunmuştur. Kışın ve yazın ortalama PM_{2.5} ortalama kütle konsantrasyonları 34,17 µg/m³, 25,03 µg/m³ olarak PM₁₀ konsantrasyonları ise olarak 63,59 µg/m³, 41,83 µg/m³ idi. Her iki partikül grubunda, ısınma mevsimi boyunca yaz mevsiminden daha yüksek konsantrasyonlar gözlemlenmiştir (Koçak ve diğ., 2007).

2.8.2. Uluslararası Alanda Yapılmış Bazı Çalışmalar

Khan ve diğ. (2016) İtalya'nın Veneto şehrinde Nisan 2012 - Şubat 2013 döneminde 6 noktada örnekleme yapılmıştır. Yapılan çalışmada 360 adet PM_{2.5} verisi toplanmış ve organik ve elementel karbon miktarları belirlenmiştir. 60 günlük örnek, Nisan, Haziran, Ağustos, Ekim, Aralık ve Şubat aylarında ardışık 10 gün boyunca tüm noktalarda eşzamanlı olarak toplanmıştır. OK konsantrasyon değerleri; 0,98 ile 22,34 µg/m³ arasında değişirken, ortalama değer 5.5 µg/m³ bulunmuştur ve toplam karbonun %79 oranı oluşturduğu hesaplanmıştır. EK konsantrasyonları yıllık ortalama değeri 1,31 µg/m³ (toplam karbonun %19'u) ve 0,19 ile 11,90 µg/m³ arasında değerler elde edilmiştir. Çalışmada ortalama OK/EK oranı 4.54 bulunmuştur. Bu değerler diğer Avrupa şehirlerinin çoğunda gözlemlenen değerlerin üzerindedir. (Khan ve diğ, 2016).

Zhang ve diğ. (2011) yaptıkları bir çalışmada Xiamen'deki yarı kentsel, şehir ve sanayi bölgelerinde organik ve elementel karbon dağılımını bir yıl boyunca mevsimsel olarak incelemiştir. Sonuçlar, üç bölgede yıllık ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının 63,88-74,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında olduğunu göstermiştir. OK ve EK konsantrasyonları sırasıyla 15,81-19,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 2,74-3,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında iken bu çalışmada yaz mevsimi en düşük değerler bulunurken kışın en yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Xiamen'de yıllık ortalama ikincil organik karbon (SOC) konsantrasyonları 9,23-11,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında elde edilmiş ve bu değer Organik karbonun yaklaşık %56'sını oluşturduğu hesaplanmıştır. $PM_{2.5}$ içerisindeki OK/EK oranları, 2,1-8,7 aralığında elde edilmiştir. Yıllık ortalama 5,7 olarak bulunmuştur. Çalışmada; Xiamen şehrinin temel karbon kaynaklarının araç egzozu, kömür dumanı ve biyokütle yakımı sonucu oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada OK ve EK konsantrasyonları sıcak mevsimlerde daha düşük ve soğuk mevsimlerde daha yüksek olduğu görülmüştür. Meteorolojik koşulların bu farklılıkların ortaya çıkmasında ana faktör olduğu belirtilmiştir. OK ve EK konsantrasyonları en yüksek endüstri bölgesinde iken yarı kentsel bölgesinde en düşük sonuçlar bulunmuştur (Zhang ve diğ., 2011).

He ve diğ. (2003) yaptıkları bir çalışmada Kuzeydoğu Asya'da, Pekin, Gwangju, Kyoto ve Ulaan-Battor olmak üzere dört bölgede $PM_{2.5}$, organik ve elementel karbon konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Ortalama $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyonları sırasıyla Beijing, Gwangju, Kyoto ve Ulaan-Battor'da 144,9, 17,1, 37,9 ve 17,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Ortalama OK ve EK konsantrasyonları Pekin için 12,4 ve 5,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Gwangju için 1,4 ve 3,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Kyoto için 5,0 ve 1,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve Ulaan-Battor için 2,3 ve 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. Ortalama OK/EK oranı, sırasıyla Pekin, Gwangju, Kyoto ve Ulaan-Battor için 2,4, 4,2, 5,0 ve 6,6 olarak hesaplanmıştır (He ve diğ., 2003).

Na ve diğ. (2004) yaptıkları bir çalışmada Mira Loma'da yapılan çalışmada Eylül 2001-Ocak 2002 tarihleri arasında $PM_{2.5}$, OK ve EK konsantrasyonları araştırılmıştır. Genel olarak, OK ve EK konsantrasyonları toplam $PM_{2.5}$ 'un sırasıyla %26'sını ve %5'ini oluşturmuştur. OK/EK oranları 1,6 ile 12,8 aralığında değişirken ortalama 5,2 bulunmuştur. Bu değerler Amerika Birleşik Devletleri'ndeki diğer kentsel yerleşim yerlerinde gözlenen değerlerden 2 kat daha fazla olduğu görülmüştür (Na ve diğ., 2004).

Dongsheng ve diğ. (2016) yaptıkları bir çalışmada Pekin, Çin'de 1 Mart 2013 - 28 Şubat 2014 tarihleri arasında, $PM_{2.5}$ içerisindeki OK ve EK, yarı sürekli termal-optik analiz cihazı ile saatlik

olarak ölçülmüştür. Pekin'de OK ve EK'nin yıllık ortalama konsantrasyonları sırasıyla $14,0 \pm 11,7$ ve $4,1 \pm 3,2$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur (Dongsheng ve diğ., 2016).

Wang ve diğ. (2015) yaptıkları bir çalışmada $\text{PM}_{2.5}$ karbonlu aerosolün mevsimsel değişimi, Çin'in Pekin ve Tangshan şehirlerinde 5 farklı noktada araştırmıştır. Çalışmada farklı hava şartlarında karbonlu aerosol özellikleri ve bunların kaynak dağılımı incelenmiştir. Çalışma alanındaki yıllık ortalama $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonu, mevsimsel ve örnekleme noktalarının özelliklerine göre $95,6$ - $197,3$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Beş örnekleme alanındaki OK ve EK'nin ortalama yıllık konsantrasyonları sonuçları sırasıyla; 1. örnekleme noktasında $13,3 \pm 14,0$ ve $3,3 \pm 2,7$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2. örnekleme noktasında $17,2 \pm 10,1$ ve $6,2 \pm 1,3$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3. örnekleme noktasında $24,8 \pm 9,8$ ve $5,6 \pm 1,2$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4. örnekleme noktasında $24,2 \pm 7,3$ ve $7,3 \pm 1,2$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 5. örnekleme noktasında $29,6 \pm 7,3$ ve $8,5 \pm 1,2$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur (Wang ve diğ., 2015).

Chen ve diğ. (2014) çalışmalarında; Chengdu, Neijiang ve Chongqing şehirlerinde Mayıs 2012-Nisan 2013 tarihleri arasında bir yıl boyunca karbonlu aerosollerin özelliklerini ve kaynaklarını belirlemek için, 24 saatlik $\text{PM}_{2.5}$ numunelerine ait organik ve elementel karbon konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Yıllık değerlendirilme yapıldığında Chengdu, Neijiang ve Chongqing'nun ortalama OK konsantrasyonları $19,0 \pm 13,3$, $18,3 \pm 8,4$ ve $15,2 \pm 8,4$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$, EK seviyeleri $4,6 \pm 2,6$, $4,1 \pm 1,8$ ve $4,0 \pm 1,6$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. Bölgedeki OK ve EK seviyesi, yaz mevsiminde en düşük konsantrasyon gözlenmiştir (Chen ve diğ., 2014).

Tao ve diğ. (2014) 2009-2010 yılları boyunca her mevsimde bir ay süreyle, Güney Çin'deki en büyük mega kent olan Guangzhou'da günlük $\text{PM}_{2.5}$ ölçümlerini gerçekleştirilmiştir. Suda çözünebilir inorganik iyonlar, organik ve elementel karbon kütle konsantrasyonları $\text{PM}_{2.5}$ 'te belirlenmiş ve aerosol saçılma katsayısı (bsp) eşzamanlı olarak ölçülmüştür. Günlük $\text{PM}_{2.5}$ kütle konsantrasyonları 21 ila $213,6$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişmekte ve yıllık ortalama $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonları $76,8 \pm 41,5$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Mevsimsel ortalama en yüksek $\text{PM}_{2.5}$, kış aylarında ($103,3 \pm 50,1$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$), en düşük ise yaz aylarında ($38,6 \pm 15,7$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$) gözlenmiştir. Organik ve elementel karbon konsantrasyonları da $9,0 \pm 5,1$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $6,0 \pm 3,3$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. OK/EK değeri ise $1,5 \pm 0,4$ olarak hesaplanmıştır (Tao ve diğ., 2014).

Zhou ve diğ. (2014) subtropikal bir ortamda organik aerosollerin Ağustos 2011'den Mayıs 2012 'ye kadar Hong Kong'daki bir bölgede (Tung Chung, TC) $\text{PM}_{2.5}$ 'te saatlik olarak ölçülerek

organik ve elementel karbon seviyelerini belirlemiştir. Ortalama OK konsantrasyonları en yüksek değerleri sonbaharda elde edilirken, gündüzleri gece saatlerinden daha yüksek seviyelerde OK gözlenmiştir. Ortalama OK ve EK değerleri 3 ve 1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Çalışmada; ikincil organik karbon (SOC) konsantrasyonları, ortalama toplam OK'nin yaklaşık yarısını içermektedir (Zhou ve diğ., 2014).

Gu ve diğ. (2014) yaptıkları bir çalışmada Çin'deki Jinan şehrinde Environmental Monitoring Station (EMS) ve Shandong Jianzhu Üniversitesinde (SJU) örnekleme noktalarında 2010 yılında 24 saat boyunca $\text{PM}_{2.5}$ ölçümü yapılmıştır. $\text{PM}_{2.5}$ yıllık ortalama kütle konsantrasyonu, EMS'de 168,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve SJU'da 148,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. Isıtma ve kötü atmosferik dağılım için kömür yanmasından kaynaklanan emisyonların artması nedeniyle $\text{PM}_{2.5}$, OK ve OK/EK oranı en yüksek seviyelerde olduğu gözlenmiştir. $\text{PM}_{2.5}$ 'deki OK ve EK bileşenlerinin genel ortalama kütle konsantrasyonu, EMS'de sırasıyla 17,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 5,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iken, SJU'da sırasıyla 14,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 5,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olmuştur (Gu ve diğ., 2014).

Souza ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada partikül madde ölçümleri $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} boyutlarında Brezilya'nın São Paulo ve Piracicaba şehirlerinde yapılmıştır. Partikül madde kimyasal bileşimini karakterize etmek için, numunelerin inorganik ve organik anyonlar, monosakkarit anhidritler ve organik ve elementel karbon kimyasal bileşenleri analiz edilmiştir. São Paulo kentinde ince partiküller için karbonlu türlerin konsantrasyonları, EK için 6,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve OK için 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. Ancak, Piracicaba kentinde EK ve OK sırasıyla 1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 4,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak daha düşük seviyelerde tespit edilmiştir (Souza ve diğ., 2014).

Zhang ve diğ. (2014) Haziran 2010'dan Mayıs 2011'e kadar Şangay kentsel bölgesinde toplanan $\text{PM}_{2.5}$ örneklerinde organik ve elementel karbonu IMPROVE-TOR protokolü ile analiz etmiştir. Sonuçlar, $\text{PM}_{2.5}$ 'teki OK ve EK yıllık ortalama konsantrasyonlarının sırasıyla %20'lik kısmını oluştururken 8,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sonuçları elde edilmiştir. $\text{PM}_{2.5}$ kütle konsantrasyonunun mevsimsel ortalama OK ve EK konsantrasyonları kış mevsiminde en yüksek ve yaz aylarında en düşük olduğu gözlenmiş ve $\text{PM}_{2.5}$ 'teki OK ve EK yüzdeleri sonbaharda en yüksek sonuçlar bulunmuştur. Yıllık ortalama OK/EK oranı 3,54 \pm 1,14 elde edilmiştir (Zhang ve diğ., 2014).

Zhou ve diğ. (2013) çalışmalarında, Pekin, Tianjin, Shijiazhuang ve Chengde'deki dört kentte 2009'dan 2010'a kadar dört farklı mevsimde 400'den fazla $\text{PM}_{2.5}$ örneği toplanmıştır. Her

örnekte organik ve elementel karbon analiz edilmiştir. Ortalama yıllık konsantrasyonlar $PM_{2.5}$ için 71,8-191,2 $\mu g/m^3$, OK için 10,8-26,4 $\mu g/m^3$ ve beş bölgede EK için 3,9-9,7 $\mu g/m^3$ idi. OK ve EK konsantrasyonları ilkbahar ve yaz aylarında daha düşük ve sonbaharda ve kış aylarında, ısıtma için ek yakıt yanmasından kaynaklanan aerosol emisyonları nedeniyle çok daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir (Zhao ve diğ., 2013).

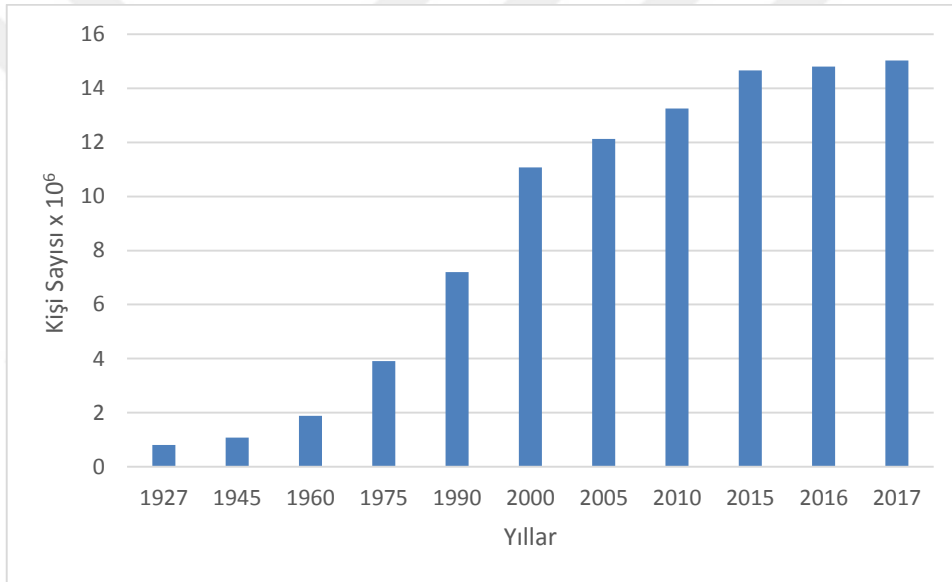
Tiwari ve diğ. (2013) organik karbon ve elementel karbon yarı sürekli ölçümleri ve sürekli karbon siyahı (BK) ve $PM_{2.5}$ aerosol ölçümleri eş zamanlı olarak 2010-2011 kış döneminde, kirli kentsel mega kentlerden biri olan Delhi'de yapmıştır. OK, EK, SK ve $PM_{2.5}$ ortalama konsantrasyonları sırasıyla 54 ± 39 , 10 ± 5 , 12 ± 5 ve $210 \pm 146 \mu g/m^3$ elde edilmiştir (Tiwari ve diğ., 2013).

Choi ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada Haziran 2009 ile Mayıs 2010 arasında Incheon, Kore'de toplanan partikül örneklerinde $PM_{2.5}$ ve karbonlu türlerin özelliklerini, kaynaklarını ve dağılımını incelemiştir. Ortalama $PM_{2.5}$, OK, EK konsantrasyonu 41,9-9,0 $\mu g/m^3$, $7,9 \pm 2,2$ ve $1,8 \pm 0,3 \mu g/m^3$ elde edilmiştir (Choi ve diğ., 2012).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇALIŞMA BÖLGESİ

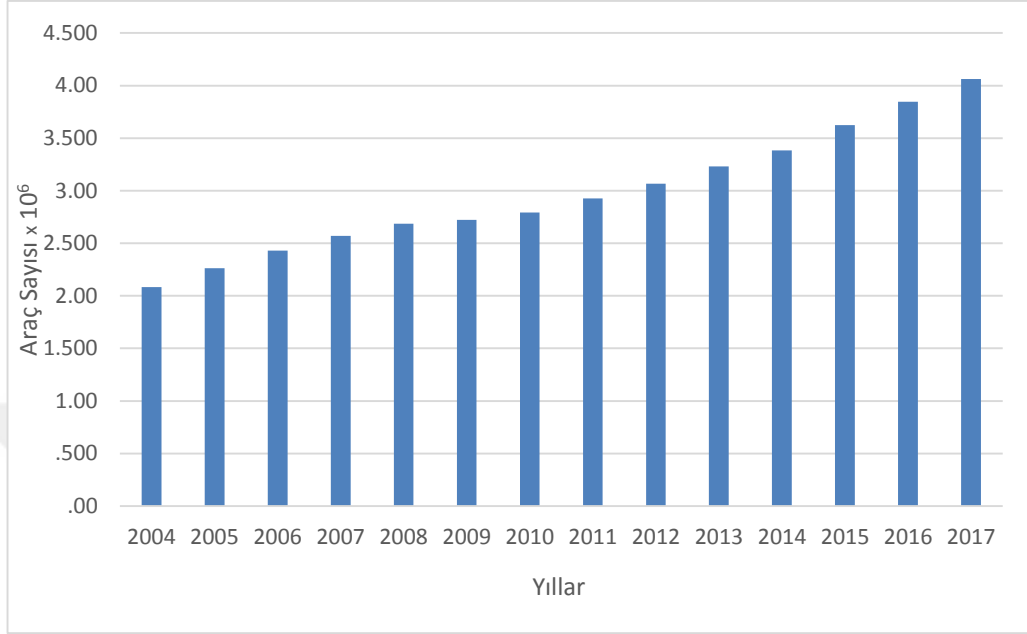
İstanbul, 15 milyon nüfusu ile Türkiye'nin en kalabalık şehri ve Dünyanın en büyük mega şehirlerinden birisidir (TUİK, 2017). Şehir nüfusu 1927 yılından itibaren 1990-2000 yılları arasında büyük nüfus artışı göstermiştir (Şekil 3.1). İstanbul, Asya ve Avrupa yakası ile birbirinden ayrılmış önemli bir konuma sahiptir. Şehir 5.461 km² bir yüz ölçümüne sahip 39 ilçeden oluşmaktadır (HGK, 2017). İstanbul, Türkiye'nin endüstri, ekonomi ve finans merkezi olarak ülkenin en büyük şehridir.



Şekil 3.1: İstanbul nüfus sayısı (TUİK, 2017).

İstanbul'da emisyon kaynakları farklı birçok etkilere bağlı olarak önemli ölçüde değişmiştir. Yirmi yıl önce antropojenik emisyonlar genellikle evsel ısınma ve endüstriyel faaliyetler sonucunda oluşurken, günümüzde endüstriyel kaynaklara ek olarak araç trafiği ve trafiğe bağlı emisyonlar dahil olmuştur (Koçak ve diğ., 2011). Geçmiş yıllardan beri İstanbul'da elde edilen 2004 ve 2017 yıllarına göre her geçen yıl motorlu taşıt sayısı artmıştır (Şekil 3.2). İstanbul'da 2017 yılı verilerine göre 4.061.725 motorlu taşıtlar bulunmakta ve her geçen gün artarak devam etmektedir (TUİK, 2017). 1980'li yıllarda başlayan kırsaldan şehre göç sebebiyle şehirselleşme süreci hızlanmıştır.

nüfusta önemli bir artış olmuş, bu da beraberinde enerji ihtiyacı, ulaşım ve üretim alanlarında hızlı bir büyümeye sebep olmuştur.



Şekil 3.2: Yıllara göre İstanbul'da bulunan motorlu araç sayısı (TUİK, 2017).

İstanbul'da, Akdeniz ikliminin etkisine bağlı olarak dört mevsimde yaşayanır. Yaz ayları (Haziran-Ağustos) kuru ve sıcak olurken, kış ayları (Aralık-Şubat) yumuşak ve yağışlı geçmektedir. Rüzgarlar kışın büyük oranda kuzeybatılı (Karayel) ve güneybatılı (Lodos) eserken, yaz aylarında ise, kuzeyli (Poyraz) olarak orta şiddetlidir (Ünal ve diğ., 2000).

Örnekleme noktası olan Beşiktaş, 8,3 km sahil uzunluğuna sahip İstanbul Boğazı'nın Avrupa yakasında bulunmaktadır. İlçenin batısında Şişli ve Kağıthane, güneybatısında Beyoğlu, kuzeyinde Sarıyer yer alır. İlçe 18 km² yüz ölçümüne sahiptir (HGK, 2017). 2017 Adrese Dayalı Nüfus Sayısı 185.447'dir (TUİK, 2017). Beşiktaş ilçesi, yaklaşık 41.06-41.02 kuzey enlemleri ile 28-29 doğu boylamları arasındadır. Beşiktaş, şehrin İstanbul'un Avrupa ve Anadolu yakası arasında bulunan bir geçiş noktasıdır. Ayrıca, Beşiktaş birçok tarihi yapı, müze, üniversite ve ticaret merkezlerine yakın olmasından dolayı birçok aracın kentin diğer bölgelerine geçerken kullandığı güzergah üzerindedir. Şekil 3.3'deki harita üzerinde ölçümün yapıldığı istasyonun konumu gösterilmektedir.

Çalışmanın yapıldığı yer yoğun araç trafiğine sahip Barbaros Bulvarı yol kenarında bulunan örnekleme noktasıdır (41.0465K, 29.0080D). Örnekleme noktası iki yönlü araç trafiğine sahip ve çok sayıda otobüs, minibüs, özel ve ticari araçların ve birçok insanın geçiş güzergahında bulunmaktadır. Örnekleme noktasına yakın araç hızlarını etkileyecek trafik lambaları ve yaya geçidi olması nedeniyle trafik akışı ve araç hızları anlık olarak değişmektedir. Barbaros Bulvarından günlük yaklaşık olarak 50.000 araç geçmektedir (İBB Trafik, 2016). Maruz kalınan en yüksek partikül madde konsantrasyonları için insanların iş ve okul faaliyetlerinin en fazla olduğu ve motorlu taşıtların en çok kullanıldığı hafta içi günlerde 16 Mayıs-1 Temmuz 2016 tarihleri arasında örnekleme yapılmıştır. Hafta içi günlerde trafiğin daha yoğun olması, bu günlerde partikül madde ve bileşenlerinin konsantrasyonlarının daha yüksek ölçülmesine neden olmaktadır (Lonati ve diğ., 2006; Rattigan ve diğ., 2010; Hassan ve diğ., 2013; Schleicher ve diğ., 2013). Trafiğin etkisi görmek için örnekleme cihazını yoldan 5 metre uzaklıkta ve yerden ise 2 metre yüksekliğe göre ayarlanmıştır.



Şekil 3.3: Örnekleme yerinin konumu (Beşiktaş, İstanbul).

3.2. ÖRNEKLEME İŞLEMİ

3.2.1. Örnekleme Ekipmanı

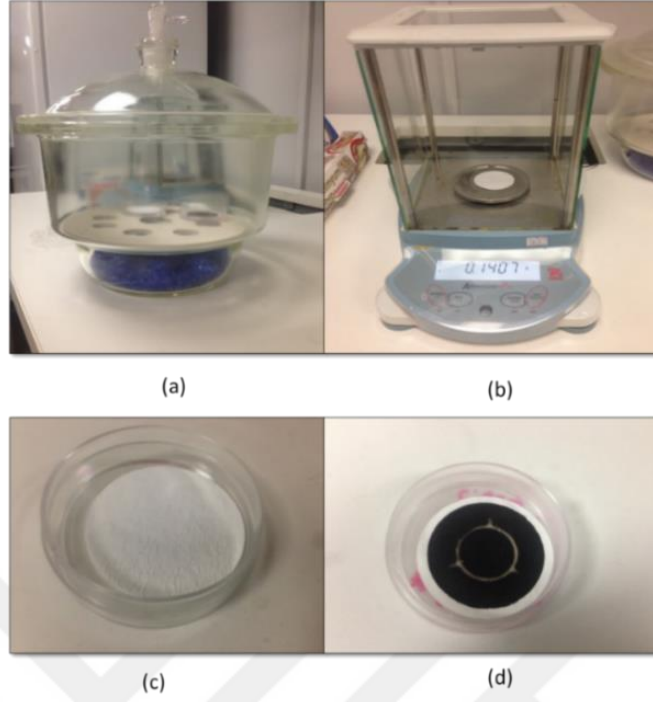
Partikül madde ölçümleri, 47 mm quartz fiber filtresi kullanarak düşük hacimli ortam havası örnekleycisi olan “Zambelli ISO PLUS 6000” cihazı ile hava akış hızı 16,67 l/dk. (1 m³/sa)’da PM_{2.5} boyutunda toplanmıştır. Zambelli 6000 ISO PLUS İzokinetik Toz Örnekleme Cihazı, ISO 9096 ve EPA Metotlarında (EPA Metot 5-EPA Metot 17) gösterilen tasarım ve protokol kriterlerine uyan interaktif izokinetik örnekleme sistemidir (Şekil 3.4). Cihaz, bir vakum pompasına (0 - 40 l/dk.) ve standart bir dizi örnekleme giriş nozullarıyla birlikte kullanıldığında yaklaşık 2-120 m/sn aralığında bir örnekleme giriş hızı veren kuru tip hacimsel gaz akış ölçüm sistemine sahiptir.



Şekil 3.4: Zambelli ISO Plus 6000 hava örnekleycisi pompa ve başlığı.

3.2.2. Gravimetrik Analiz

Partikül maddeler, 47 mm filtre çapı ve 2.2 µm gözenek çapı olan quartz fiber whatman tip filtreler üzerinde toplanmıştır (Şekil 3.5c). Örneklemeden önce, filtreler sabit nem (%25-35) ve sıcaklıktaki (25 °C) desikatörde 24 saat kapakları açık petri kaplarında tutulup (Şekil 3.5a), PM_{2.5} konsantrasyonu hesaplanması için 0.0001 hassasiyete sahip Ohaus Adventurer Pro-AV264 model mikro hassas terazide tartılmıştır (Şekil 3.5b).

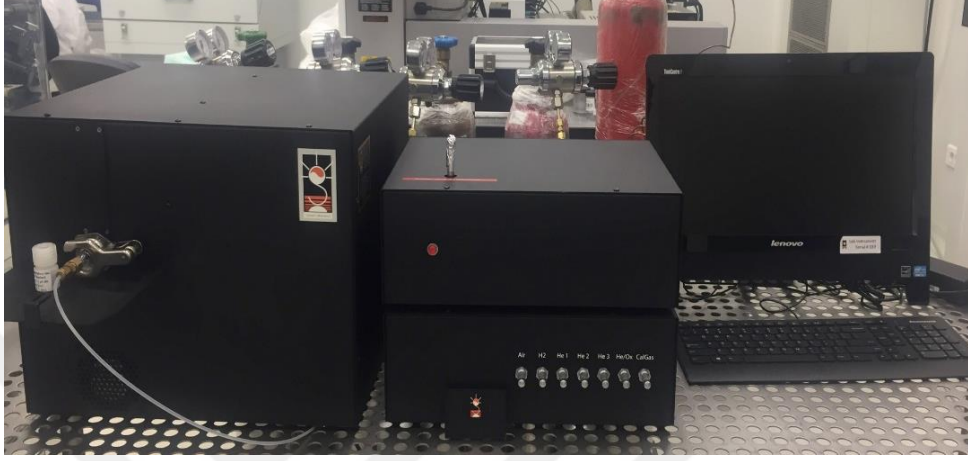


Şekil 3.5: Desikatör (a), Ohaus Adventurer Pro-AV264 marka hassas terazi (b), örneklemeden önce filtre görüntüsü (c) ve örneklemeden sonraki filtre görüntüsü (d).

Tartımdan sonra filtreler, plastik petri kaplarına yerleştirilip hava ve güneş ışığı ile temas etmeyecek şekilde parafilm ve alüminyum folyo ile sarılarak paketlenmiştir. Örnekleme işlemi ortalama olarak sabah 9.00'da başlatılmış ve diğer gün sabah 9:00'da sonlandırılmıştır. Örneklemeye başlarken örnekleme bilgileri örnekleme çizelgesine not edilmiştir. Örnekleme gerçekleştirildikten sonra, örnekler ilk durumla tamamen aynı koşullarda 24 saat tutulmuş ve sonra mikro terazide tekrar tartım işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm örnekler organik ve elementel karbon analizleri için 3 °C'nin altında bir buzdolabında muhafaza edilmiştir.

3.3. ORGANİK VE ELEMENTEL KARBON ANALİZLERİ

Toplanan PM_{2.5} örneklerine ait organik ve elementel karbon analizleri Sunset Lab. (Oregon, ABD) termal-optik karbon aerosol analizörü kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.6).



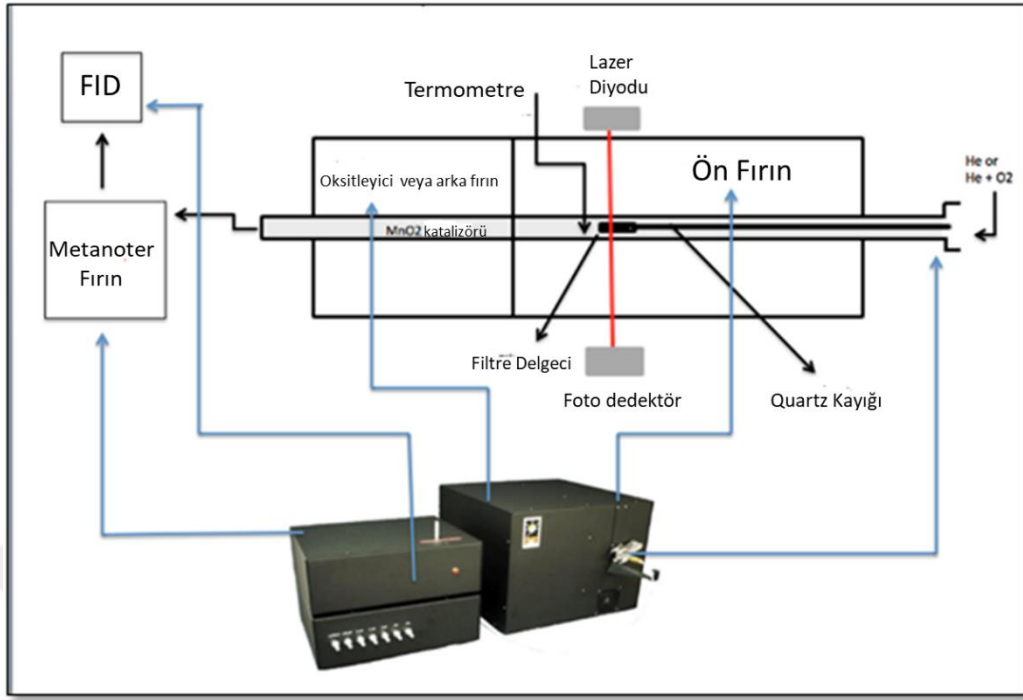
Şekil 3.6: Sunset Lab. (Oregon, ABD) termal-optik karbon aerosol analizörü.

Analizlerde Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) protokolünü izleyen termal optik iletim (TOT) metodu kullanılmıştır. Termal-optik yöntemde, sıcaklık, atmosfer kontrolü yoluyla organik, karbonat ve elementer karbon tespiti gerçekleştirilir (Birch ve Cary, 1996). Sunset Laboratory Inc. OK/EK cihazı kullanılarak gerçekleştirilen termal/optik OK/EK analizi, quartz fiber filtreler üzerinde toplanan partiküller üzerindeki organik ve elementel karbonun belirlenmesi için NIOSH tarafından tanınan bir yöntemdir. Sunset Laboratory Inc. termal-optik aerosol analizi ekipmanları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Cihaza önceden toplanmış 47 mm çaplı quartz fiber filtreler 1.5 cm² boyutunda kesilerek fırına konulur (Şekil 3.9 ve Şekil 3.11) (OC-EC/Laboratory Instrument Manual, 2013). Analiz sırasında kullanılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle, numune toplama için quartz fiber filtreler kullanılmalıdır (Birch ve Cary, 1996). Fırın helyumla temizlendikten sonra, kademeli bir sıcaklık rampası fırın sıcaklığını 870 °C termal olarak desorbe eden organik bileşiklere ve piroliz ürünlerini mangan dioksit (MnO₂) oksitleyici fırına dönüştürür. Karbon parçaları MnO₂ fırından akarken, nicel olarak CO₂ gazına dönüştürülür. Tablo 3.1’de, kullanılan gazın türünü ve her bir adımdaki analizin süresini içeren NIOSH 870 protokolündeki analiz adımlarını göstermektedir. CO₂ gazı, helyum akışındaki oksitleyici fırından dışarı atılır ve hidrojen gazıyla karıştırılır. Bu karışım daha sonra, nicel olarak metana dönüştürüldüğü ısıtılmış bir nikel katalizörden akar. Metan daha sonra bir alev

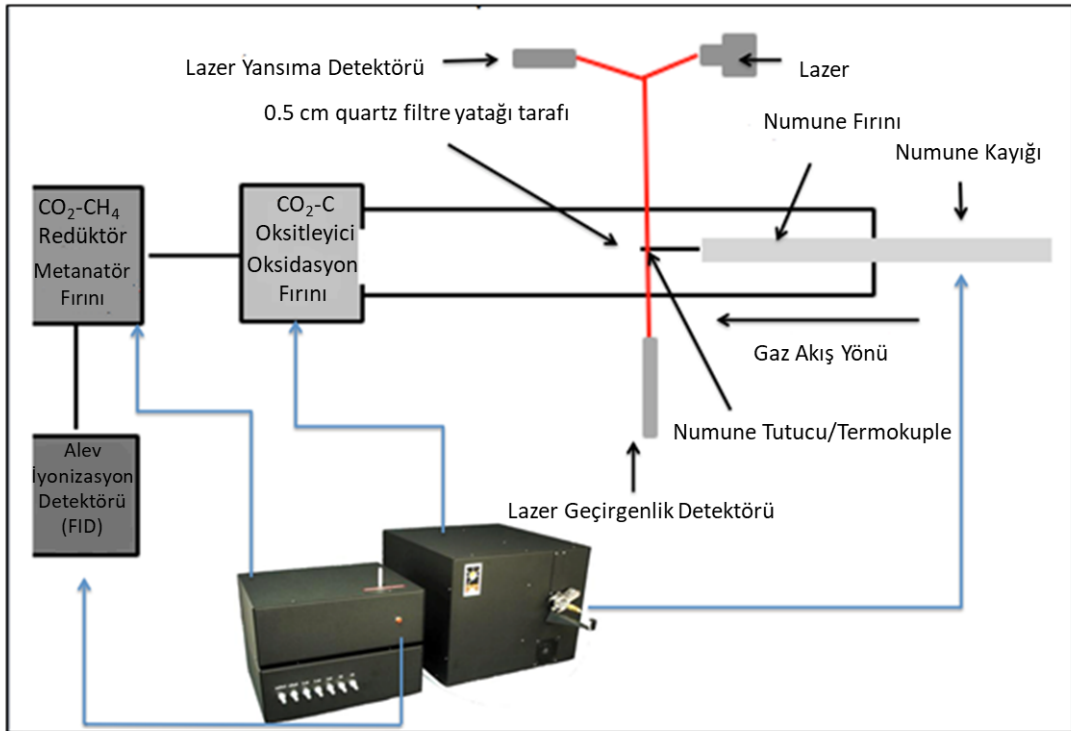
iyonizasyon detektörü (FID) kullanılarak ölçülür. Quartz numune fırında başlangıç sıcaklığı rampası tamamlandıktan sonra, fırın 550 ° C'ye soğutulur ve akış akımı oksitleyici bir helyum/oksijen taşıyıcı gaz karışımına geçirilir. Daha sonra oksitleme gazı akımında bir ikinci sıcaklık rampası başlatılır ve herhangi bir elementel karbon filtre ve oksitleyici fırına oksitlenir. Önce elementel karbon daha sonra organik karbonla aynı şekilde tespit edilir (OC-EC/Laboratory Instrument Manual, 2013).

Tablo 3.1: OK/EK analiz süresi boyunca oluşan piklerin sıcaklığı.

Analiz Basamakları	Gaz	Analiz Süresi (saniye)	Analiz Sıcaklığı (°C)
OK1	He	60	310
OK2	He	60	475
OK3	He	60	615
OK4	He	60	870
Soğuma		50	
EK1	He/O ₂	45	550
EK2	He/O ₂	45	625
EK3	He/O ₂	45	700
EK4	He/O ₂	45	775
EK5	He/O ₂	45	850
EK6	He/O ₂	45	870



Şekil 3.7: Sunset Lab. termal-optik karbon aerosol analizörü şematik görüntüsü.

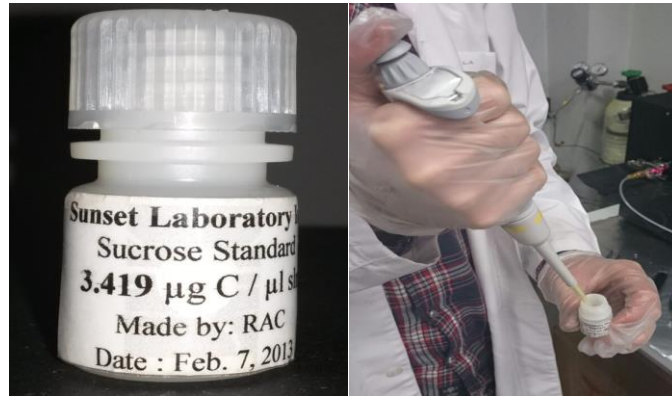


Şekil 3.8: Sunset Lab. termal-optik karbon aerosol analizörü şematik görüntüsü.

Organik ve elementel karbon analizlerinde NIOSH kalite ve güvence standartlarına göre her gün analizlere başlamadan önce cihazın içerisine boş quartz fiber filtre koyularak dış ortamdan veya cihazdan kaynaklanan kontaminasyon olup olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan analizlerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla içeriğindeki karbon miktarı bilinen sükroz çözeltisinden 10 μL (34.19 $\mu\text{g C}$) alınarak boş filtre üzerine mikro pipet ile enjekte edilmiştir (Şekil 3.10). Üzerine sükroz damlatılan filtre bir süre kurumak için bekletildikten sonra aynı koşullar altında analiz edilerek cihazdan ya da dış ortamdan kaynaklanabilecek herhangi bir problem olup olmadığı kontrol edilmiştir.



Şekil 3.9: Okunacak numunelerin hazırlanması aşaması.

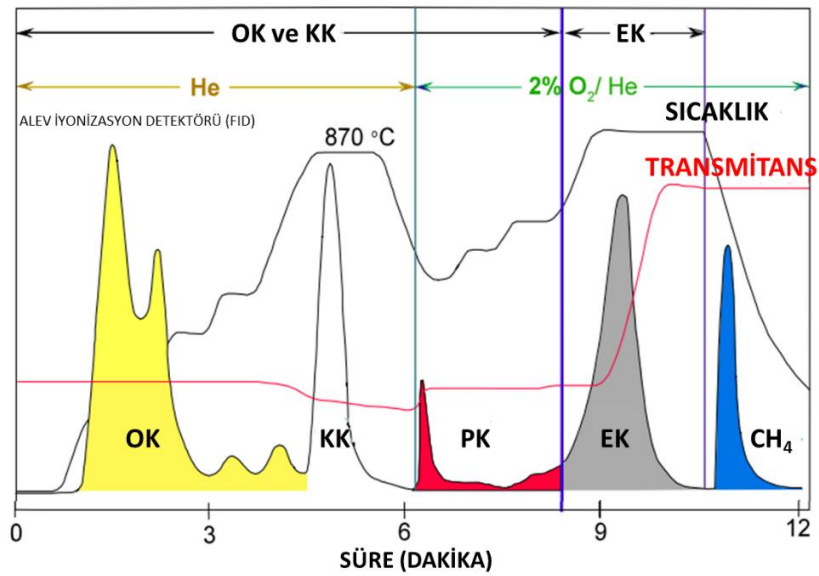


Şekil 3.10: Kalibrasyon için kullanılan sükroz çözeltisi ve uygulaması.



Şekil 3.11: Analizden önce ve sonra numunenin cihaza konulması ve alınması.

"Termogram" olarak adlandırılan cihaz çıktısının bir örneği Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Termogramda görünen üç grafik eğrisi, sıcaklık, filtre geçirgenliği ve dedektöre (FID) karşılık gelir. Analiz esas olarak iki aşamada ilerler. İlk olarak organik ve karbonat karbon (mevcutsa), sıcaklık yaklaşık 820 ° C'ye çıkınca saf bir helyum ortamında numuneden uçurulur. Oluşan karbon CO₂ dönüşerek katalitik olarak oksitlenir (Birch ve Cary, 1996).



Şekil 3.12: Sunset Lab. termal-optik karbon aerosol analizörünün termogramı (Birch, 2003).

MnO₂ ortamında (yaklaşık 900 ° C'de tutulan), metanator fırınında (450 ° C'de) FID detektörü ile CH₄ olarak ölçülür. Fırın sıcaklığı düşürülür, oksijen (%10) - helyum karışımı eklenir ve fırın sıcaklığı yaklaşık 860 ° C'ye yükseltilir. Oksijen fırına girdiğinde, pirolitik olarak üretilen EK oksitlenir ve filtre iletiminde eşzamanlı bir artış meydana gelir. EK miktarı, filtrenin başlangıç geçirgenlik değerine geri döndürülmesi için gerekli olan oksidasyon miktarının ölçülmesiyle gerçekleştirilir. Filtre geçirgenliğinin başlangıç değerine (dikey çizgi) ulaştığı nokta, organik ve elementel karbon arasındaki nokta olarak tanımlanır. Bölünmeden önce oluşan karbon, "organik" (karbonat dahil) olarak kabul edilir. Bölünmeden sonra ve cihaz kalibrasyonu için kullanılan tepe noktasından önce (nihai tepe noktası) "elementel" olarak kabul edilir (Birch ve Cary, 1996).

3.4. HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

3.4.1. İnce Partikül Madde (PM_{2.5}) Konsantrasyonunun Hesaplanması

Ortam havası PM konsantrasyonlarının hesaplanması aşağıdaki denklemde belirtilen şekilde yapılmıştır.

$$C = \frac{m}{V} * 10^{-6} \quad (3.1)$$

Burada;

C= PM konsantrasyonu (PM_{2.5} veya PM₁₀), µg/m³

m= PM'nin kütlesi (filtrelerin son ve ilk tartım arasındaki farkı)

V=Toplanan PM fraksiyonu boyunca çekilen hava miktarı, m³

3.4.2. Organik ve Elementel Karbon Konsantrasyonlarının Hesaplanması

Organik karbon ve elementel karbon konsantrasyonları bazı dönüşümler yapılarak hesaplanmaktadır. Analizler sonucu çıkan değerler OK-EK analizöründe µg cm⁻² olarak gösterilmektedir. Bu değerler matematiksel işlemlerle µg/m³ olarak dönüştürülmektedir. Organik ve elementel karbon konsantrasyonları aşağıdaki denklemde belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

$$C = A_{OCEC} * Af / V \quad (3.2)$$

Burada;

C= Havadaki Konsantrasyonu (C, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

A_{OCEC} = Cihazın Okuduğu Kirlilik ($\mu\text{g cm}^{-2}$)

A_f = Filtre Alanı (cm^2)

V= Toplam Örneklenen Hava (m^3)

Örneklenen Filtre Alanının Hesaplanması (A_f)

$$A_f = \pi * \frac{D^2}{4} \quad (3.3)$$

Toplam Örneklenen Havanın Hesaplanması (V)

$$V = \text{örnekleme debisi (L/m}^3) * 60 \text{ dk} * \text{örnekleme süresi (saat)} * 1000 \text{ m}^3/\text{1L} \quad (3.4)$$

3.5. METEOROLOJİK ANALİZ

3.5.1. Meteorolojik Veriler

Meteorolojik faktörler hava kirliliğini etkileyen önemli etkilere sahiptir. Hava kirliliğinde değerlendirme yapılırken sıcaklık, basınç, yağmur, nem, rüzgar hızı ve yönü değerlerine bakılarak yorumlanır. Meteorolojik faktörler havadaki kirletici konsantrasyonun artmasına ve dağılarak azalmasına neden olmaktadır. Hava kirliliğinin araştırıldığı bir konumda değerlendirme yapılırken o lokasyona en yakın meteorolojik istasyonlar kullanılması verilerin yorumlanması açısından önemlidir. Enlem ve boylam noktaları birbirine yakın olsalarda farklı meteorolojik özellik gösterebilir. Bu nedenle örnekleme noktasına en yakın istasyonun seçilmesi veri kalite ve kontrolü açısından önemlidir. Elde edilen verilerin ölçüm aralığının daha sık aralıklarla ölçülmesi olması verilerin değişimini anlamak için gereklidir. Özellikle saatlik ölçüm yapıldığında verilerin dakikalık olarak elde edilmelidir. Bu amaçla bu çalışmada sıcaklık, basınç, nem rüzgar hızı ve yönü verileri weather underground'a ait ölçüm istasyonuna en yakın Balmumcu istasyonu verileri kullanılmıştır. Meteoroloji verileri; ölçüm günleri aralığında 10 dakikalık olarak alınmıştır.

3.5.2. Geriye Doğru Yörünge Similasyonları (HYSPLIT) Modeli

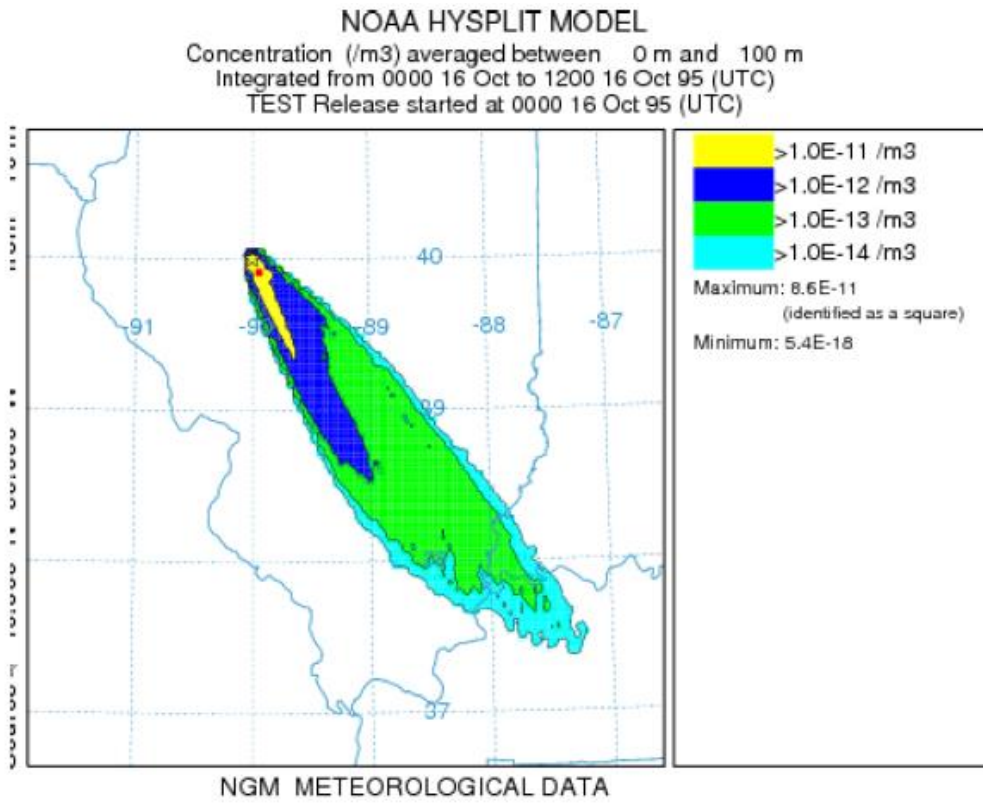
Geri yörünge hesaplaması, atmosferdeki kirletici türlerinin potansiyel kaynak alanlarını tanımlamak ve kimyasal bileşenlerin alıcı alanına ulaşmadan önce nakil yollarını belirlemek için hava kalitesi ölçümleri ile birlikte kullanılan bir modeldir. Bu nedenle model, hava kirleticilerinin kaynağının değerlendirilmesini sağlamaktadır (Stohl, 1995).

Hava yörüngeleri sıcaklık ve basınç farklılıkları ile birlikte bir hava kütlesi boyunca zaman ile bütünleşik olarak hareket etmektedirler. Geri hava yörüngeleri ise zamanda geriye doğru giderek hava kütesinin belirli bir zamanda hangi yükseklikte hangi lokasyonda olduğuna dair bilgi vermektedir (Munzur, 2008).

HYSPLIT (Hibrid Tek Parçacıklı Lagrangian Entegre Yörünge) modeli, daha önce gridlenmiş meteorolojik verileri kullanarak atmosferde gerçekleşen ani durumlara, tanısal vaka çalışmalarına veya klimatolojik analizlere hızlı yanıt vermek için tasarlanmıştır (Draxler ve Hess, 1998). Bu modelin geliştirilmesi NOAA ve Avustralya Meteoroloji Bürosu tarafından yapılmıştır (ARL, 2010a). Model hesaplamaları, önceki veya tahmini veri alanlarını kullanarak, inceden kaba çözünürlüğe giden çok sayıda meteorolojik grid üzerinde sırayla gerçekleştirilebilir. Atmosferik konsantrasyon hesaplamaları salınım (puff, partikül ya da her ikisi yoluyla) ve kirletici kütlesi ilişkilidir. Modeldeki dağılma oranı, dikey yayılma profili, rüzgar kayması ve rüzgar alanının yatay deformasyonu ile hesaplanır. Hava konsantrasyonları, puff için belirli bir grid noktasında ve partiküller için hücre ortalama konsantrasyonları olarak hesaplanır. Model sonuçlarının ortak özelliklerinden biri, rüzgar hızının ve yönünün kuvvetli gradyanları, dikey karıştırma oranına göre hava konsantrasyonları ve kirleticinin dikey dağılımının bir sonucu olan biriktirme nedeniyle zemin seviyesine yakın yerlerde, dikey atmosferik yapı yörüngelerine olan duyarlılıklarıdır (Draxler ve Hess, 1998).

Model, üç uyumlu harita projeksiyonundan (Polar, Lambert ve Mercator) birinde daha önceden çizilen meteorolojik verileri kullanır. HYSPLIT tarafından kullanılan meteorolojik veriler, NOAA Ulusal Çevre Koruma Merkezleri (NCEP) hava tahmini modellerinden analiz veya tahmin rüzgar alanları olarak çıkarılan dört boyutlu (x, y, z, t) meteorolojik alanlardır. Model çıktısındaki alan çözünürlüğü, modele göre, standart basınç seviyelerinden (1000, 925, 850 hPa) bölgesel modellerin her 25 hPa aralığına kadar değişiklik gösterir (ARL, 2010b).

HYSPLIT modeli, yörünge ve hava konsantrasyonlarını verebilir. Model hesaplama yöntemi, Lagrangian yaklaşımı (hava parselleri başlangıç konumlarından hareket ettikçe hareketli bir referans çerçevesini kullanarak) ve Eulerian yaklaşımı (referans çerçeve olarak sabit üç boyutlu bir grid kullanarak) arasındaki hibrid bir metodolojidir. Modelde, hava payı ve yörüngelerin taşınmasını tanımlamak için bir Lagrangian çerçevesi üzerinde adveksiyon ve difüzyon hesaplamaları yapılırken, kirletici konsantrasyonlarını hesaplamak için sabit bir grid kullanılır (ARL, 2010a). HYSPLIT modeline ait kirleticilerin havadaki konsantrasyonları görüntüsü Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13: HYSPLIT model kirleticinin havadaki konsantrasyonu görüntüsü.

HYSPLIT, hesaplamalarında orta ölçekten global skalalara kadar çok çeşitli meteorolojik model verilerini kullanabilir. Her meteorolojik veri kaynağı için değişkenler ve yapıdaki varyasyonlarla baş edebilmek için farklı bir HYSPLIT versiyonuna sahip olmak yerine, her meteorolojik veri kaynağını HYSPLIT uyumlu bir formata dönüştürmek için özelleştirilmiş bir ön işlemci kullanılır. Bu şekilde HYSPLIT, bir veya daha fazla meteorolojik veri seti ile aynı

anda, her bir hesaplama noktası için en uygun verileri kullanarak kolayca çalıştırılabilir (Stein ve diğ., 2015).

Bu çalışmada; HYSPLIT yüksek konsantrasyonlarının anlaşılması ve taşınım yörüngelerini belirlemek için yer seviyesinden 500, 1500, 3000 metre yukarıda ve 96 saatlik süre ile model çalıştırılmıştır.

3.6. TRAFİK VERİLERİ

Örnekleme periyodu olan 16 Mayıs 1- Temmuz arasında trafik sayımı ve trafik akışı gibi saatlik trafik verileri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Kontrol Merkezi'nden sağlanmıştır. İstanbul'daki trafik verileri, belirlenen trafik ağı noktalarında bulunan özel sensörler ve dedektörlerle ölçülmektedir.

Trafik ölçüm dedektörlerinden Radar Tabanlı RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor)'ler trafik algılama uygulaması için özel tasarlanan dedektörlerdir. Genellikle yüksek bir noktadan yola doğru yerleştirilen mikrodalga dedektörleri, kaplama üzerinde belli bir alana sürekli olarak düşük enerjili mikrodalga ışınları göndererek geri yansımalarını ölçer. Şekil 3.14'te de gösterilen sürekli olarak gönderilen mikro dalgalar, geçmekte olan aracı belirledikten sonra dalga göndermeye devam ederek geri yansımadaki değişimleri takip eder ve konumlandırıldığı noktadaki anlık araç sayısı, hızı, yoğunluğu hakkındaki trafik akış bilgisini ölçer (Kalkan, 2010).

Menzil aralığı özelliği sayesinde bu dedektörler; her türlü hava koşullarında yolda duran ve hareket halindeki araçları, belirlenen bölgelerde tespit edebilmektedirler. Aracın hareket etmediği durumlarda gönderilen dalga frekanslarında ise araç, herhangi bir değişim olmadığı için tespit edilememektedir (Kalkan, 2010). Bu çalışmada trafik verileri örnekleme noktasına en yakın Barbaros Bulvarında bulunan sensörler 262 ve 263 RTMS nolu dedektörlerden dakikalık olarak alınmıştır.

3.7. VERİ KALİTE KONTROLÜ (QA/QC)

Veri kalite kontrolü, verilerdeki ve veri üretim süreçlerindeki eksiklik ve performansı, tanımlanmış standartlara göre ölçen, oluşabilecek hataları minimize eden, teknik aktivitelerin tümüdür (EPA, 1998). Numunelerin toplanmasında ve analizlerinde ortaya çıkabilecek en

önemli sorun, çok düşük seviyelerdeki konsantrasyonlar nedeniyle oluşabilecek kontaminasyondur. Numune analizleri yapılırken ne kadar hassas çalışılsa bile, çok fazla sayıda numunenin rutin analizlerinin tamamında en doğru sonucu bulmak çok zordur (Kaya ve Tuncel, 1997). Kalite güvenilirliği, ölçümlerin istenilen güvenlik seviyesinde belirlenen standartları karşılayacak düzeyde yapıldığını kanıtlayan bir faaliyetler sistemidir. Kalite güvenilirliği programı, sadece standart kalite kontrol prosedürlerini içermeyip ölçümün belli doğruluk ve kesinlikte yapılmasını sağlayan prosedürleri, izleme amaçlarının tanımı, izleme ağı tasarımı, yönetim yapısı, cihaz seçimi, eleman eğitimi, denetim gibi konuları da kapsamaktadır. Uygun bir kalite güvenilirliği, izleme ağı içinde ve farklı izleme ağları arasında karşılaştırılabilir, birbiriyle uyumlu harmonize edilmiş verilerin sağlanmasıdır. Kalite güvenilirliği programı, farklı cihazlardan elde edilen sonuçların kabul edilebilir aralıkta olmasını, laboratuvarlar arası farklılıkların minimum düzeyde olmasını sağlar (Yeşilyurt ve Akçan, 2000).

Bu nedenle her analiz için veri kalite kontrolü prosedürleri ve standartları uygulanmıştır (EPA, 1997). Bu standartlar:

- Çalışmada kullanılan cihazların kalibrasyonları, bakımları ve kaçak testleri cihazın kullanım kılavuzunda belirtilen periyotlar ve durumlara göre yapılmıştır
- Analizlerin yapıldığı ortam şartlandırılmış ve izlenmiştir.
- Filtreler her zaman cımbız yardımıyla tutulmuştur.
- Filtrelerde delik ya da hasar olup olmaması durumlarına karşı gözle bakılarak kontrol edilmiştir.
- Filtreler ölçümden önce ve sonra desikatörde 24 saat bekletilerek şartlandırılmıştır.
- Organik ve elementel karbon analizinde filtre kesme işlemi alüminyum folyo üzerinde ve öncesinde etanol ile temizlenmiş bir yüzeyde yapılmıştır.
- Filtreler, ölçüm istasyonu ve laboratuvara parafilm ve alüminyum folyo ile kaplanarak (hava ve güneş almayacak şekilde) plastik petri kaplarında taşınmıştır.
- Quartz fiber filtrelerin tümü, adsorbe edilen organik buharları uzaklaştırmak için örneklemeden önce 3 saat 800 °C'de kül fırında bekletilmiştir.

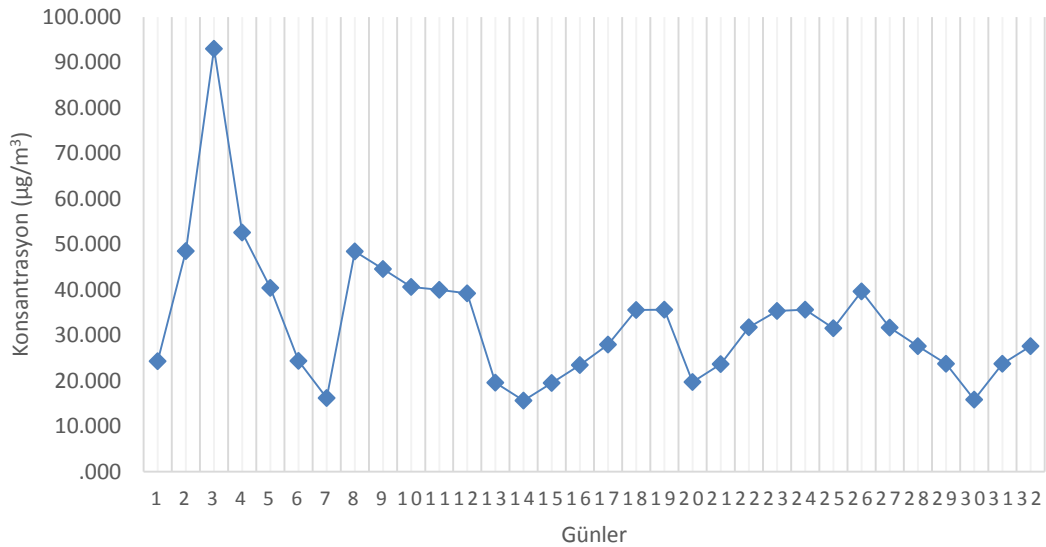
- Filtreler örneklemeden önce yüksek sıcaklıkta kül fırında bekletilerek karbon içeren bileşiklerden arındırılmıştır.
- Numuneler ölçüm sonrasında hava ve dış ortamdaki etkilere maruz kalmaması için 3 °C'nin altında bir buzdolabında muhafaza edilmiştir.
- Çalışmada kontaminasyon ve hassas terazide yapılan ölçüm hatalarına karşı belirli periyotlarla saha ve laboratuvar şahit numuneleri alınmıştır.
- Ölçüm işlemi belirli bir yükseklik ve debide yapılmıştır.
- Her gün aynı saat aralığında ölçüm yapılmıştır.
- Çalışma süresince saha ortam şartları ile analiz sonuçları önceden oluşturulan çizelge ve numune kaplarının üstüne yazılmıştır.

4. BULGULAR

Çalışma süresi boyunca elde edilen $PM_{2.5}$, organik ve elementel karbon değerlerini yorumlayabilmek için meteorolojik ve araç verilerine göre kütleli konsantrasyonlarının ortalaması, minimum ve maksimum değerleri, standart sapma değeri ve veri sayısını içeren istatistiksel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bu partikül maddeler ile organik ve elementel karbon arasındaki ilişkiyi de anlayabilmek amacıyla da dağılım ve korelasyon grafikleri oluşturularak çalışma sonuçlarının yorumlanması ve değerlendirilmesine yardımcı olunmuştur.

4.1. İNCE PARTİKÜL MADDENİN ($PM_{2.5}$) ÖLÇÜM SONUÇLARI

İnce partikül madde ($PM_{2.5}$) ölçümlerinde 16 Mayıs-1 Temmuz 2016 tarihleri arasında 24 saatlik örnekleme yapılmış ve gravimetric olarak konsantrasyonları hesaplanmıştır. $PM_{2.5}$ günlük olarak değişimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Ölçüm periyodu ve zamanına göre günlük $PM_{2.5}$ ölçüm değerleri.

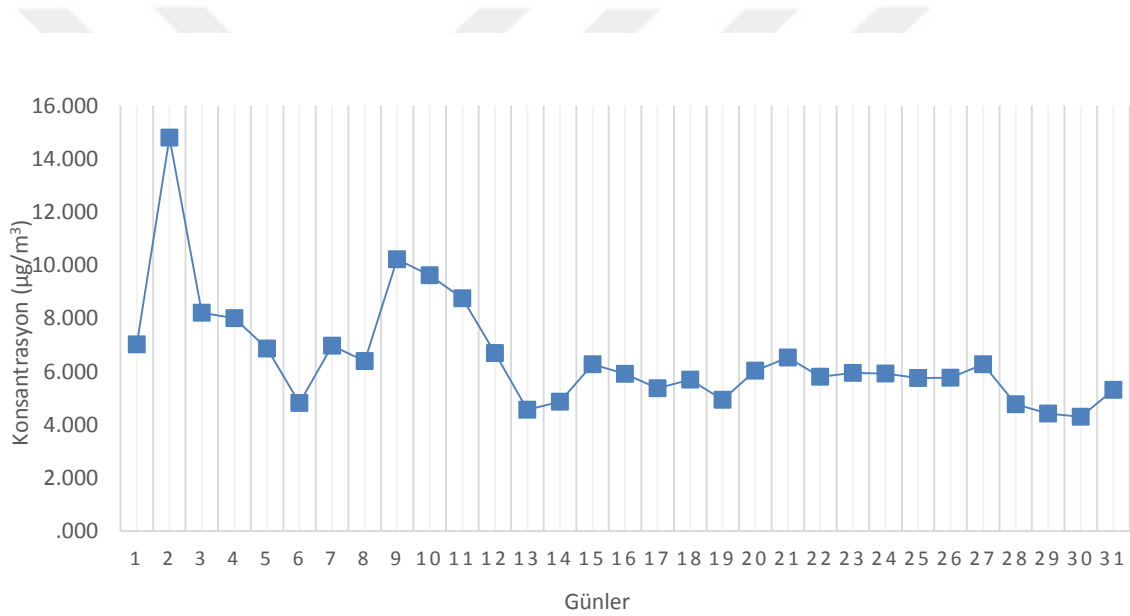
Ölçüm periyodunda sonuçlar $15,56$ ve $92,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerler arasında değiştiği görülmüştür. Ortalama değer $33,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Örnekleme zamanının ilk günlerinde ortalama değerin göre üç katı sonuçlar elde edilmiştir. $PM_{2.5}$ değerleri Mayıs ayında daha yüksek değerlere çıkmıştır. Dünya Sağlık Örgütü, EPA ve AB tarafından halk sağlığının korunması için günlük konsantrasyon değerinin sırasıyla $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$

değerlerinin olması önerilmektedir. Günlük ölçülen PM_{2.5} konsantrasyon değerlerinin AB ve WHO sınır değerine göre karşılaştırma yapıldığında yaklaşık %63 gibi büyük çoğunluğu sınır değerinin üzerinde elde edilmiştir.

4.2. ORGANİK VE ELEMENTEL KARBON SONUÇLARI

4.2.1. Organik Karbon Sonuçları

Organik karbon değerleri, PM_{2.5} boyutunda 24 saatlik olarak örneklenen quartz fiber filtreler analiz edilerek konsantrasyonları hesaplanmıştır. Ölçüm günlerinde elde edilen organik karbon sonuçları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

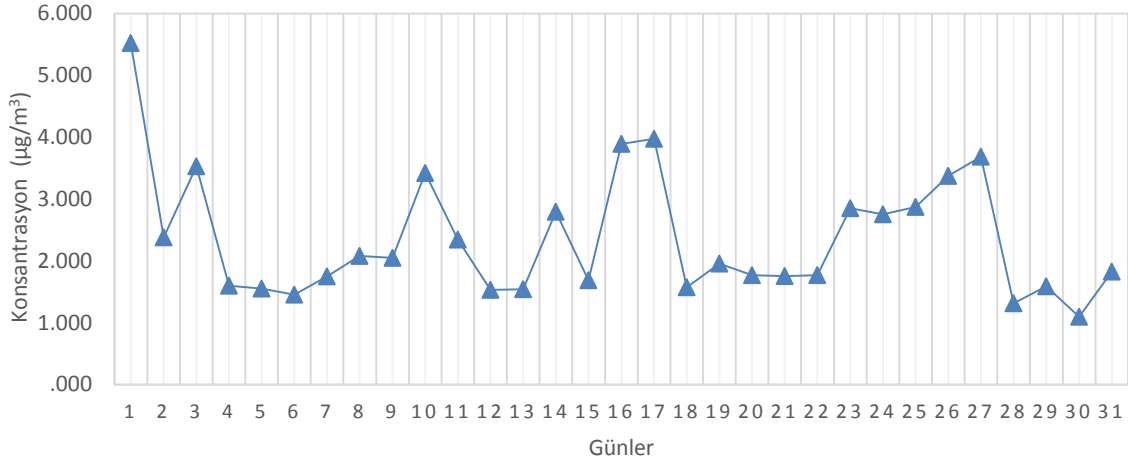


Şekil 4.2: Ölçüm periyodu ve zamanına göre günlük organik karbon değerleri.

Çalışmada organik karbon değerlerinin 4,31 ile 14,81 µg/m³ arasında değiştiği bulunmuştur. En yüksek OK değeri 18 Mayıs tarihindeki ölçümlerden hesaplanırken en düşük OK değeri 29 Haziran tarihinde yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. OK değerlerinin zamansal değişimi incelendiğinde Haziran ayında daha durağan bir dağılım gözlenirken Mayıs döneminde değişkenliğin daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca Mayıs ayındaki organik karbon değerleri daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. OK değerleri örnekleme zamanının ilk günlerinde ortalama değerinin iki katı konsantrasyonlara çıkmıştır.

4.2.2. Elementel Karbon Sonuçları

Elementel karbon değerleri, PM_{2.5} boyutunda 24 saatlik olarak örneklenen quartz fiber filtreler analiz edilerek konsantrasyonları hesaplanmıştır. Ölçüm günlerinde elde edilen elementel karbon sonuçları Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



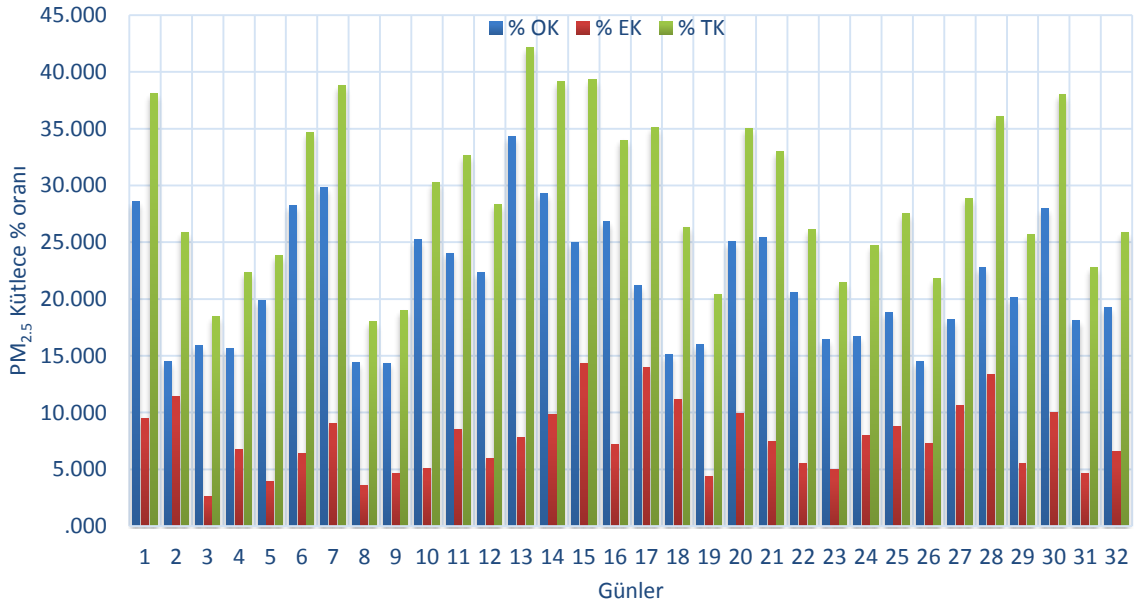
Şekil 4.3: Ölçüm periyodu ve zamanına göre günlük elementel karbon değerleri.

Çalışmada elementel karbon değerlerinin 1,09 ile 5,52 µg/m³ değerleri arasında değiştiği bulunmuştur. Ortalama değer 2,36 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. En yüksek EK değeri 17 Mayıs tarihli ölçümden hesaplanırken, en düşük EK değeri 29 Haziran tarihinde yapılan ölçümden elde edilmiştir. EK değerlerinin zamansal değişimleri incelendiğinde örnekleme ilk günlerinde konsantrasyon değeri ortalama değerin 2 katının üzerine çıkmıştır. Elementel karbon değerleri örnekleme periyodunda değişken değerler arasında dalgalanmalar görülmüştür. Örnekleme periyodunda 7 gün için 3 µg/m³ üzerinde sonuçlar elde edilmiştir.

4.3. İNCE PARTİKÜL MADDE (PM_{2.5}) İÇERİSİNDEKİ ELEMENTEL VE ORGANİK KARBON İÇERİKLERİ

4.3.1. İnce Partikül Madde (PM_{2.5}) İçerisindeki Elementel ve Organik Karbon Yüzdeleri

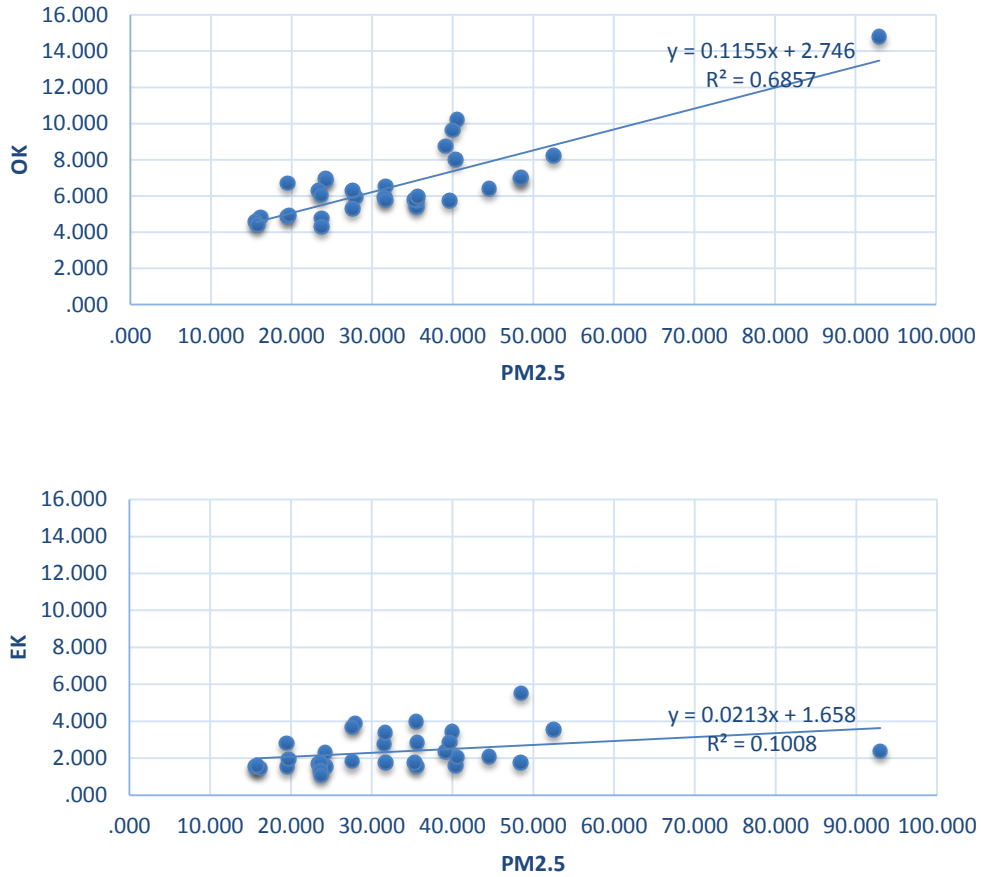
İnce partikül madde içerisindeki karbon içeriklerinin oranını belirlemek için OK, EK, TK derişimlerinin, PM_{2.5} derişimleri içerisindeki yüzde oranları hesaplanmıştır. PM_{2.5} konsantrasyonları ile organik, elementel ve toplam karbon (TK=OK+EK) değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.4'te görülmektedir. Şekil 4.4 incelendiğinde organik karbon değerlerinin PM_{2.5} kütlesinin %14,35 ve %34,31'ü arasında olduğu görülmektedir. OK değerleri ortalama olarak PM_{2.5} kütlesinin %21,40'ını oluşturmaktadır. Elementel karbon değerleri PM_{2.5} kütlesinin %2,56 ila %14,35 arasında değişiklik göstermekte ve elementel karbon ortalama olarak PM_{2.5} kütlesinin %7,77'sini oluşturmaktadır. Toplam karbon ise PM_{2.5} değerinin %17,99 ila %42,14 arasında değişen yüzdelerde bulunmuş ve ortalama değeri ise PM kütlesinin %29,17 seviyelerinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4: PM_{2.5} içerisindeki organik, elementel ve toplam karbon kütlece yüzdeleri.

4.3.2. İnce Partikül Madde (PM_{2.5}) ile Elementel ve Organik Karbon Korelasyonları

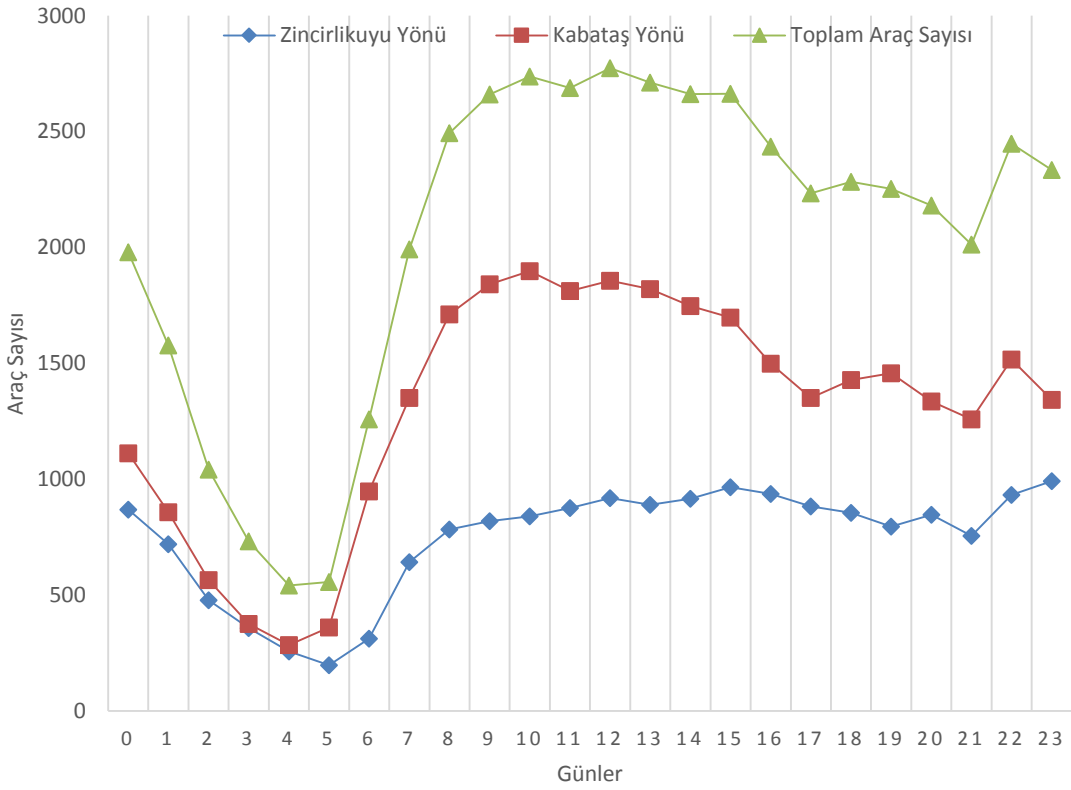
İnce partikül madde (PM_{2.5}) içerisindeki karbon oranlarını belirlemek örnekleme bölgesinin karakteristik özellikleri açısından önemlidir. Bu amaçla ince partikül madde (PM_{2.5}), organik ve elementel karbon değerleri arasındaki ilişkileri açıklamak için korelasyon dağılımları incelenmiştir. PM_{2.5}; organik ve toplam karbon ile yüksek korelasyona sahipken elementel karbon değerleri ile düşük uyum göstermiştir. Bu değişkenliğin bölgedeki araç trafiklerinden kaynakladığı düşünülmektedir. OK, EK ve PM_{2.5} regresyon sonuçları Şekil 4.5 incelendiğinde; r^2 değerlerinin OK ve EK için sırasıyla 0,685 ve 0,101 olduğu görülmektedir. Bu r^2 değerleri; OK ve PM_{2.5} arasında yüksek bir korelasyon, EK ile PM_{2.5} arasında düşük korelasyon olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.5: Organik ve elementel karbon ile PM_{2.5} arasındaki korelasyonlar.

4.4. ARAÇ SAYISININ ÖLÇÜM ARALIĞINDAKİ GÜNLÜK DEĞİŞİMİ

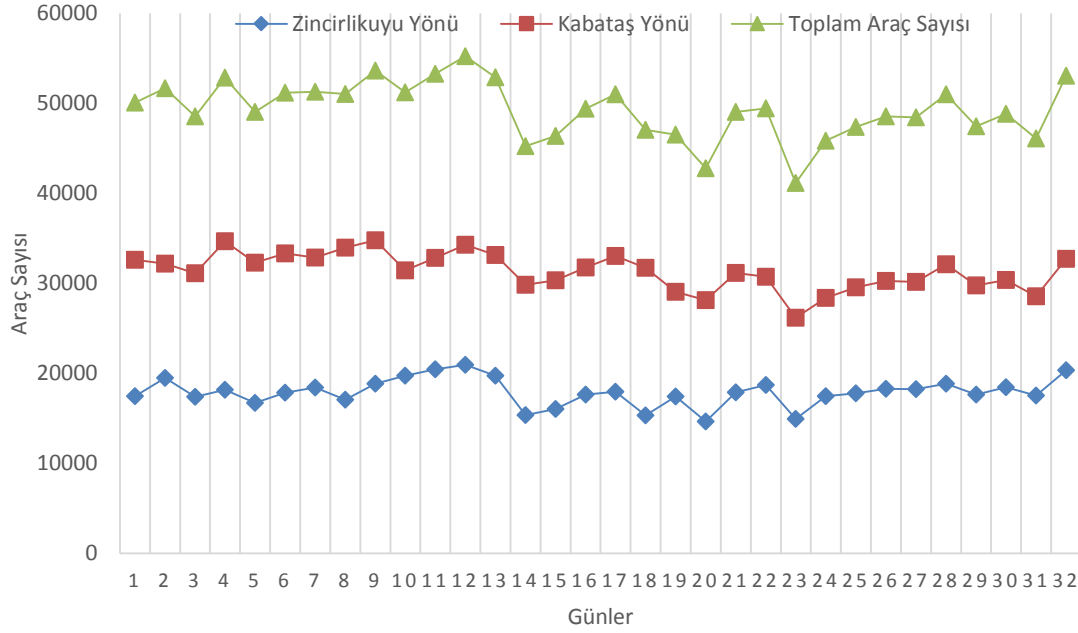
İBB Trafik müdürlüğünden elde edilen verilerinden ölçüm yapılan Barbaros Bulvarının Kabataş ve Zincirlikuyu iki yönü toplamı alınarak araç sayısı hesaplanmıştır. Kabataş yönünden daha fazla araç sayıda araç geçtiği gözlemlenmiştir. Günlük içerisinde araç sayının ölçüm yapılan günler arasında değerlendirildiğinde saat 2-5 arasında en düşük değerler elde edilirken 6.00'dan başlayarak artış gösterdiği ve 8.00-15.00 arasında maksimum değerlere ulaşılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6: Örnekleme yapılan günlerdeki saatlik ortalama araç sayısı değişimi.

Örnekleme yapılan günlerdeki araç sayısı değişimi Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Çalışma süresi boyunca günlük toplam araç sayısı 41.151-55.249 aralığında değişmektedir. Ölçüm yapılan süre içerisinde ortalama günlük 50.000 sayıda araç geçtiği hesaplanmıştır. Her iki şeritteki toplam araç sayısı değerlendirildiğinde mayıs ayında Barbaros Bulvarında daha fazla araç

geçtiği görülmüştür. Her iki şeritteki günlük araç sayısı değişimindeki artış ve azalışlarda büyük çoğunlukla aynı trend görülmektedir.



Şekil 4.7: Örnekleme yapılan zaman aralığına ait günlük araç sayısı.

4.5. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

4.5.1. Genel İstatistik Bilgileri

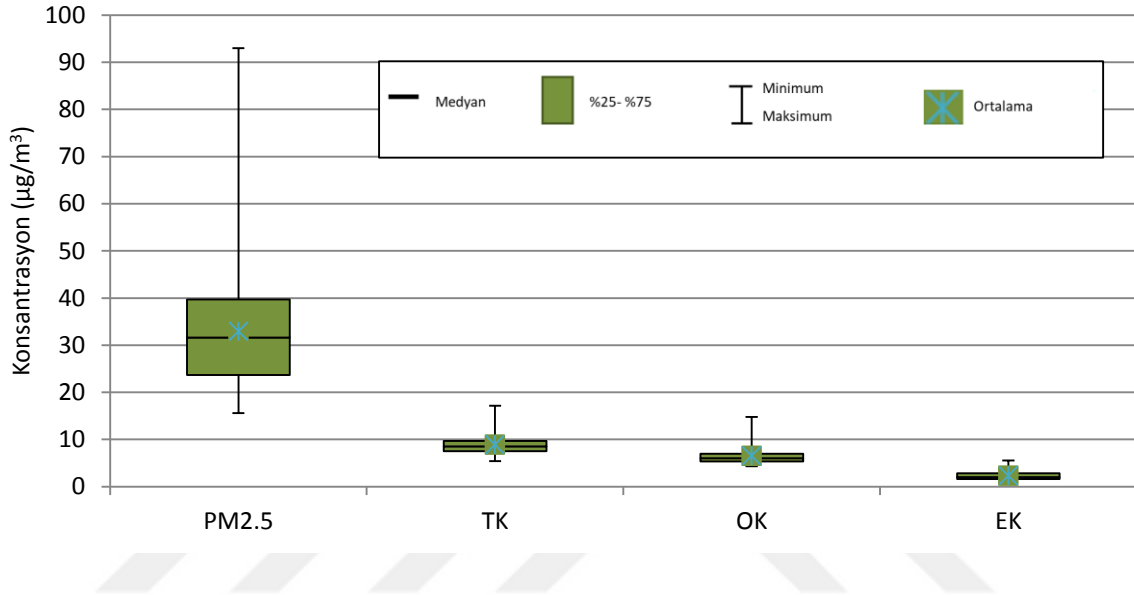
Çalışma periyodu boyunca Barbaros Bulvarında yapılan örneklemeelerde elde edilen $PM_{2.5}$, OK, EK ve araç sayısına ait istatistik parametreler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Araç sayısı, $PM_{2.5}$, organik ve elementel karbon değerlerine ait istatistik bilgiler.

N=32	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	OK ($\mu g/m^3$)	EK ($\mu g/m^3$)	Araç Sayısı
Minimum Değer	15,59	4,31	1,09	41152
Maksimum Değer	92,97	14,81	5,52	55249
Medyan	31,68	5,95	1,96	49072
Ortalama Değer	33,29±15,05	6,55±2,11	2,36±1,02	49255±3233

$PM_{2.5}$, OK, EK konsantrasyon değerlerinin box-plot gösterimi Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Kutunun box çizgisi ve işaret noktası bu kümedeki medyan ve ortalamayı temsil eder. Box

uçları, konsantrasyonlarının 25. ve 75. yüzdelerini temsil eder. Grafiğin alt ve üst uçları bu kümedeki minimum ve maksimum konsantrasyonları göstermektedir. Bu şekle göre PM_{2.5}, OK, EK nin ortalama konsantrasyon değeri sırasıyla 33,29, 6,55, 2,36 µg/m³ elde edilmiştir. PM_{2.5} değer aralığı çok değişkenlik göstermesine rağmen OK, EK ve TK değerleri fazla değişmemiştir.



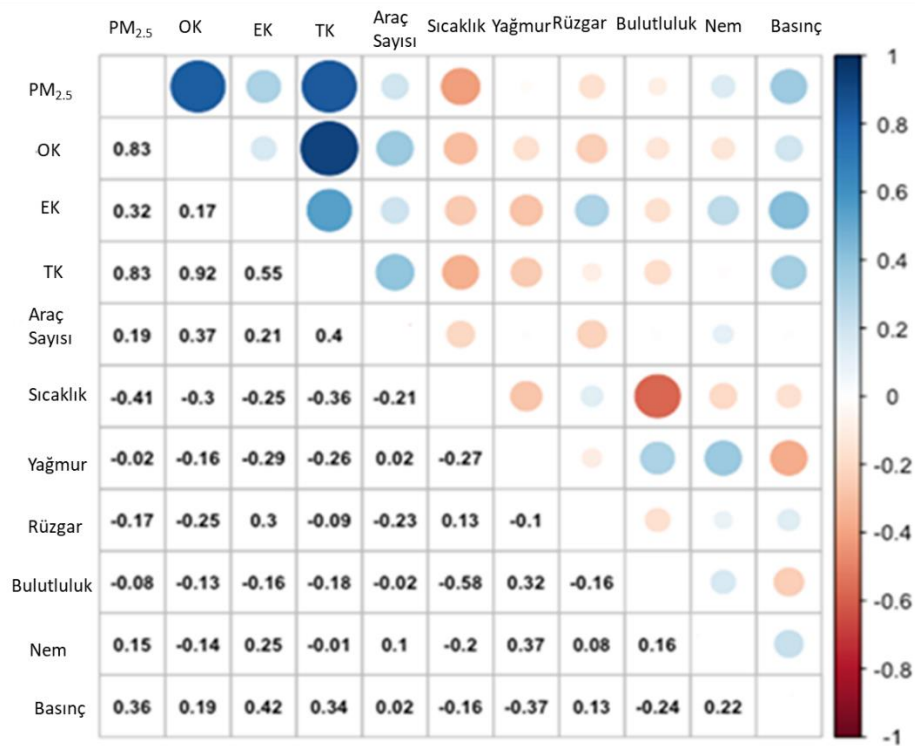
Şekil 4.8: PM_{2.5}, toplam, organik ve elementel karbon değerlerinin box-whisker plot grafiği.

4.5.2. Korelasyon Analizleri

Yapılan çalışmada korelasyon analizi, iki değişken arasındaki korelasyon pozitif ve negatif olarak iki parametre arasında yorumlamak için yapılmıştır. Korelasyon ilişkileri PM_{2.5}, organik, elementel, toplam karbon değerleri; araç sayısı ve meteorolojik faktörler arasında ayrı ayrı incelenmiştir. Korelasyon matrisindeki ‘-’ ve ‘+’ değerler iki değişken arasındaki ilişkinin negatif veya pozitif olduğu ifade eder.

Ölçüm sonuçları ile meteorolojik veriler ve araç sayısı arasında korelasyon analizi sonuçlarına göre PM_{2.5} değerinin en yüksek korelasyonu basınç ($r=0.36$) ve sıcaklıkla ($r=-0.41$) göstermiştir. Elementel karbon basınç ($r=0.42$) ve yağmurla ($r=-0.29$) en yüksek korelasyon değerlerine sahiptir. Organik karbon araç sayısı ($r=0.37$) ve sıcaklık ($r=-0.30$) arasında yüksek korelasyon göstermiştir. Toplam karbonun en yüksek korelasyonları ise sıcaklık ($r=-0.36$) ve basınç ($r=0.34$) değerleri arasında olmuştur.

Şekil 4.9 incelendiğinde $PM_{2.5}$ değerlerinin OK ve TK ile yüksek oranda korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Bunun dışında kalan meteorolojik faktörlerle $PM_{2.5}$ korelasyonu düşük seviyelerdedir. Bu durum elde edilen $PM_{2.5}$ değerinin meteorolojik kökenli değil trafik kaynaklı olduğunun bir göstergesidir. Araç sayısı ile düşük korelasyon değerinin düşük olması örnekleme bölgesinde geçen araçların değişkenlik göstermesine bağlanmaktadır. Araçların özellikleri ve kullandıkları yakıt türlerine göre emisyon miktarı değişmektedir.



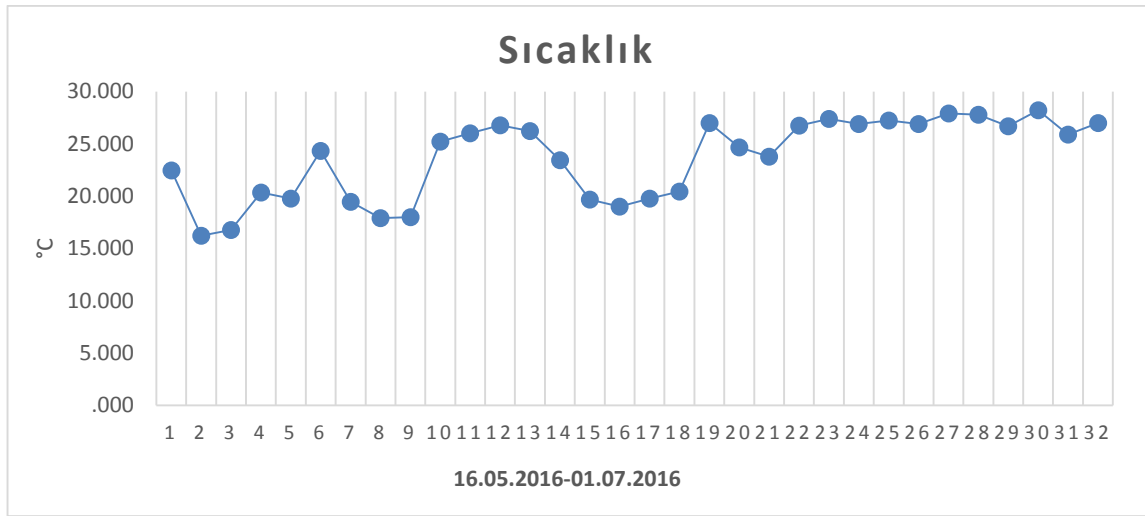
Şekil 4.9: Elde edilen verilere ait korelasyon matrisi.

4.6. METEOROLOJİK ANALİZ

4.6.1. Meteorolojik Verilerin Günlük Değişimi

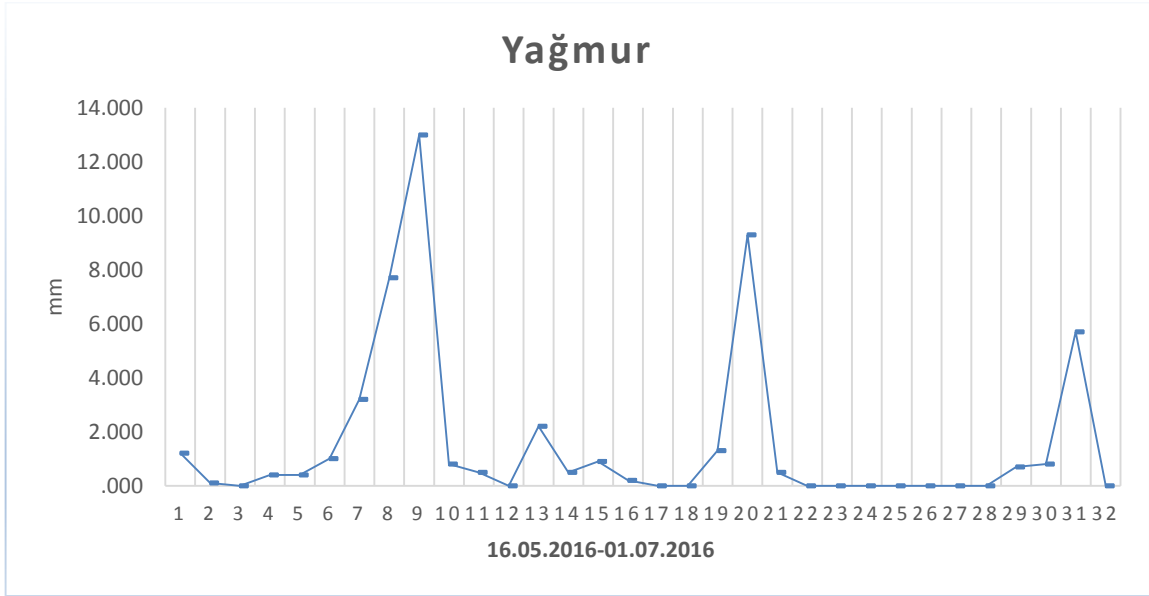
$PM_{2.5}$ örnekleme süreci boyunca örnekleme yapılan bölgedeki meteorolojik koşullar takip edilmiştir. Örnekleme noktasına en yakın olan Balmumcu meteoroloji istasyonunda sıcaklık, basınç, nem, rüzgar hızı ve yağış parametreleri ölçülmektedir. Bu parametrelerin takibi <https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IISTANBU23> adresinden yapılmış ve her örnekleme süresi için kaydedilmiştir.

16 Mayıs-1 Temmuz arasındaki ölçüm günlerindeki sıcaklık değerleri 16 ve 28 ° C aralığında değişmektedir. Mayıs ayı ve Haziran ayının ilk iki haftası sıcaklık değerleri arasında ortalama değerin altında iken ölçüm günlerinin son iki haftasında değerler 26-28 ° C aralığında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Haziran ayında yapılan ölçüm günlerindeki sıcaklığın Mayıs ayına göre yüksek olduğu görülmektedir. Örneklemenin ilk periyodunda sıcaklık değerlerinde dalgalamalar görülürken ikinci periyodunda sıcaklık değerleri durağan olarak değişmemiştir. (Şekil 4.10).



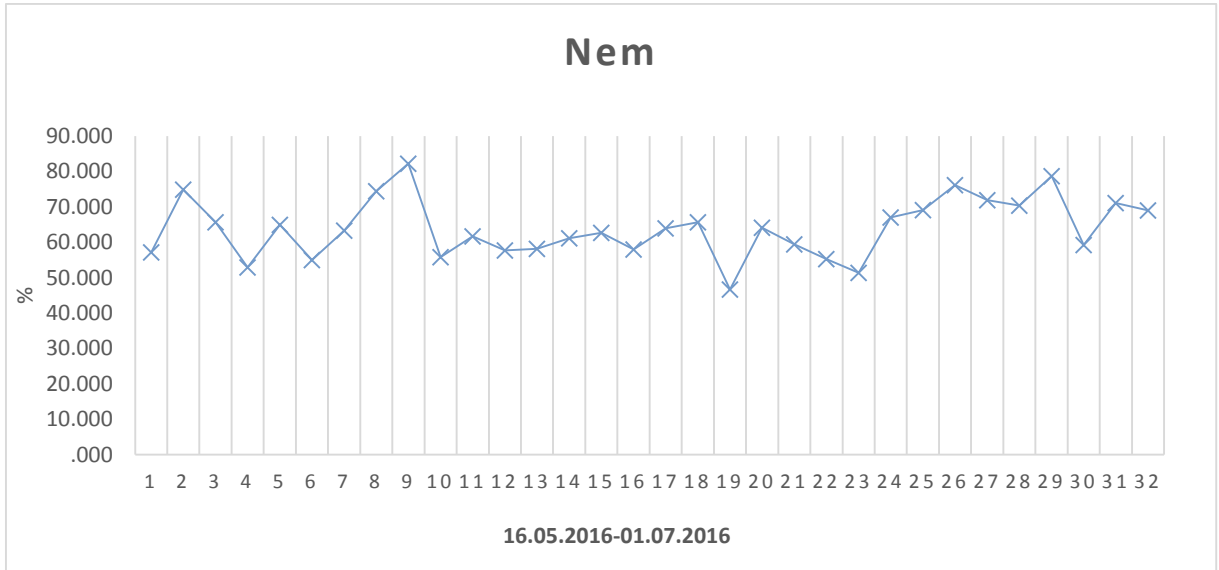
Şekil 4.10: Her örnekleme aralığına ait sıcaklık değişimi.

Ölçüm aralığında yapılan günlerde çok fazla yağışın olmadığı görülmüştür. En fazla yağışın olduğu günlerde 13,00, 9,30, 7,70 mm yağışlar gözlenmiştir. Ölçüm günlerinde ortalama yağış değeri 1,58 mm olduğu görülmüştür (Şekil 4.11).



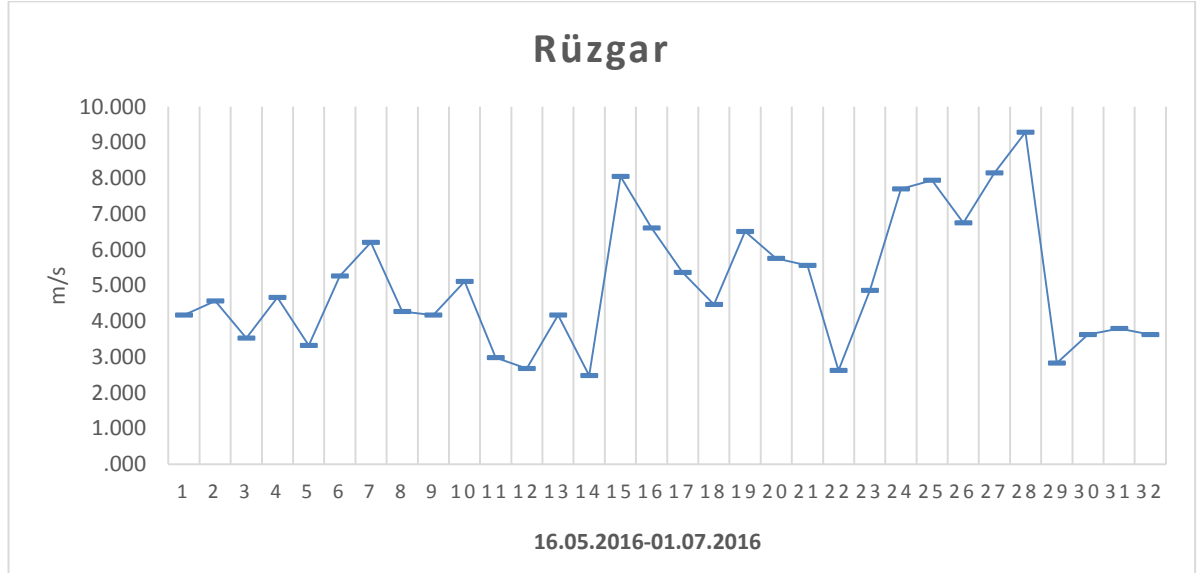
Şekil 4.11: Her örnekleme aralığına ait yağış değişimi.

Örnekleme yerinde ölçüm periyodundaki nemin %46,67 ve %82,22 aralığında değiştiği ortalama nem değeri %63,88 olduğu görülmüştür. 13 Haziran günü nem değeri minimum seviyeye düşerek büyük değişim göstermiştir. Örneklemenin ilk ve son haftalarındaki nem değerlerinde değişkenliğin daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.12).



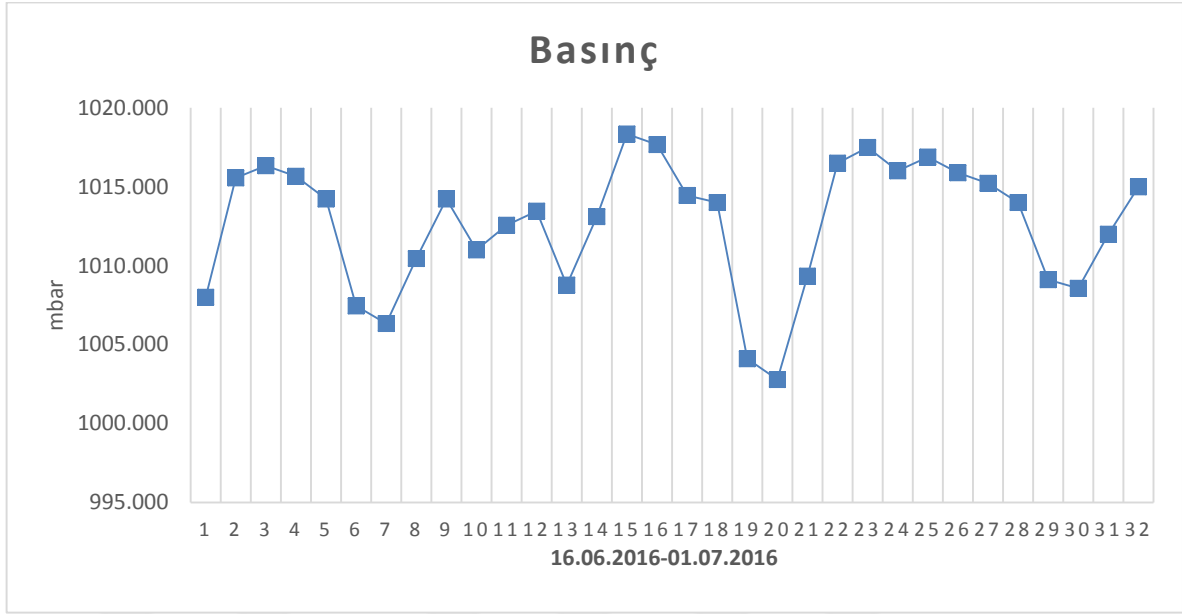
Şekil 4.12: Her örnekleme aralığına ait nem değişimi.

Rüzgar hızı 2,48 ve 9,29 m/s arasında değişkenlik göstermiştir. Rüzgar ortalama olarak 5,04 m/s değerindedir. Ölçüm periyodundaki haziran ayı içinde rüzgar hızının daha fazla değişim olduğu görülmüştür. Bu ay içerisinde rüzgar hızı hem maksimum hem de minimum seviyelerine ulaşmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13: Her örnekleme aralığına ait rüzgar değişimi.

Basınç değerleri 1003 ve 1018 mbar değerleri arasında değişmiş ve ortalama 1013 mbar değerindedir. Ölçüm periyodundaki basınç değerlerinin büyük çoğunluğu 1015 mbar seviyesinin üzerine çıktığı görülmüştür. Haziran ayı içerisindeki günlerde basınç değeri 1002 mbar seviyesine kadar düşmüştür (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Her örnekleme aralığına ait basınç değişimi.

4.6.2. Meteorolojik Verilere Ait İstatistik Bilgileri

Çalışmanın bu aşamasında ölçüm yapılan günlere ait meteorolojik veriler istatistiksel olarak incelenmiştir. Sıcaklık değerleri maksimum 28 °C olduğu görülmüştür. Yağmurun ortalama değeri 1.58 mm'dir. Örnekleme yapılan günlerde genel olarak yağış görülmemiştir. Yağmurun en çok olduğu günlerde 7.70, 9.30 ve 13.00 mm yağış gözlenmiştir. Rüzgar hızı 2,48 ve 9,29 m/s arasında değişkenlik göstermiştir. Rüzgar ortalama olarak 5,04 m/s değerindedir. Ortalama nem değeri %64 oranında görülmüş ve en yüksek %82 değerine ulaşmıştır. Basınç değerleri 1003 ve 1018 mbar değerleri arasında değişmiş ve ortalama 1013 mbar değerindedir. Meteorolojik verilere ait genel bir değerlendirme Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

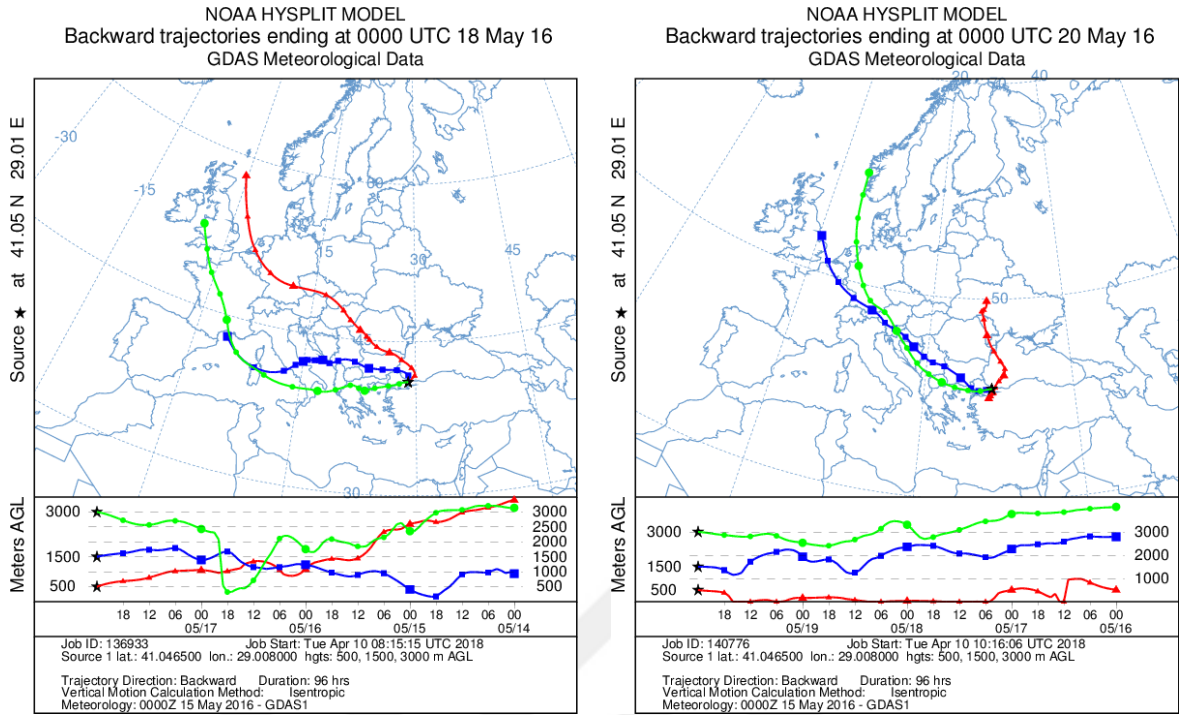
Tablo 4.2: 32 Ölçüm gününe ait meteorolojik verilerin genel değerlendirilmesi.

	Sıcaklık (°C)	Yağmur (mm)	Rüzgar (m/s)	Nem (%)	Basınç (mbar)
Ortalama Değer	24	1,58	5,04	64	1013
Minimum Değer	16	0	2,48	47	1003
Maksimum Değer	28	13	9,29	82	1018

4.6.3. Geriye Doğru Yörünge Simülasyonları (HYSPLIT)

Uzun menzilli ölçülen partikül madde kaynakları değerlendirmek için, Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından online olarak temin edilebilen Geriye Doğru Yörünge Simülasyonları (HYSPLIT) modelini kullanarak kirleticilerin geriye doğru yörüngeleri belirlenmiştir. Back trajectory, kaynak ve hava kütleleri arasında bulunan ilişkiyi belirlemek için kullanılan bir metottur (Draxler ve Hess, 1998). Hava yörüngelerinin hesaplanması, küresel ölçekteki kirlilik problemlerinin araştırılmasında sıkça kullanılan en önemli metotlardan birisidir (Miller, 1987). Hava kütlelerinin geri yörüngeleri ise belirli bir bölgede gözlenen aerosollerin menşei ve bu aerosolleri taşıyan hava kütlelerinin aerosollerin gözleendiği bölgeye gelene kadar izlediği rota hakkında önemli bilgiler vermektedir. Bu model NCEP tarafından üretilen meteorolojik verileri kullanarak hava parselleri için adveksiyon ve dispersiyon hesabı yapmaktadır (ARL, 2010a). Bu tez çalışmasında, örnekleme yerine ulaşan hava parsellerinin 4 gün boyunca hangi rotaları izlediğini bulabilmek için HYSPLIT modeli 500, 1500, 3000 m başlangıç yüksekliği için çalıştırılmıştır. Modeli çalıştırmadan önce geri yörüngelerin bitiş saati olarak 00:00 saati ve bitiş koordinatları koordinatları sisteme girilmiştir.

Bu modeldeki temel amaç; PM_{2.5} konsantrasyon değeri en yüksek olan günlerin kirlilik kaynaklarının lokal kaynaklı trafikten mi yoksa başka bölgelerden taşınım ile geldiğinin araştırılmasıdır. En yüksek konsantrasyon değeri olan 52,57 ve 92,97 µg/m³ için 4 günlük HYSPLIT modeli çalıştırılmıştır (Şekil 4.15). Taşınımın genellikle örnekleme yerine Avrupa'dan geldiği görülmektedir. Sonuçlara göre örnekleme bölgesinin konsantrasyon değerini yüksek değerlere çıkaracak Afrika bölgesinden taşınımın olmadığı görülmüştür. Afrika kökenli PM kaynakları olan sahra tozlarının taşınımının olmadığı Şekil 4,15'de görülmektedir. Buda ölçülen PM konsantrasyonlarının lokal veya Avrupa'dan taşınan kirleticiler olduğunun göstergesidir. Çalışma süresince rüzgar ve yağmur gibi taşınım ve çökelmeye etki edecek faktörlerin düşük sevide olması ölçülen PM kirliliklerinin bölgesel trafik kaynaklarının kaynaklı olduğunun diğer bir göstergesidir. Bu yüksek konsantrasyon değerlerinin arttığı günlerin yoğun araç trafiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu günlerde araçların örneklenin yapıldığı Barbaros Bulvarında diğer günlere göre araç yoğunluğunun arttığı veya çevreye daha fazla emisyon yayan türdeki araçların geçtiği öngörülmektedir. Örnekleme bölgesinde araçların türlerini veya sınıflarını belirlemek veri analizi açısından daha güvenilir sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.



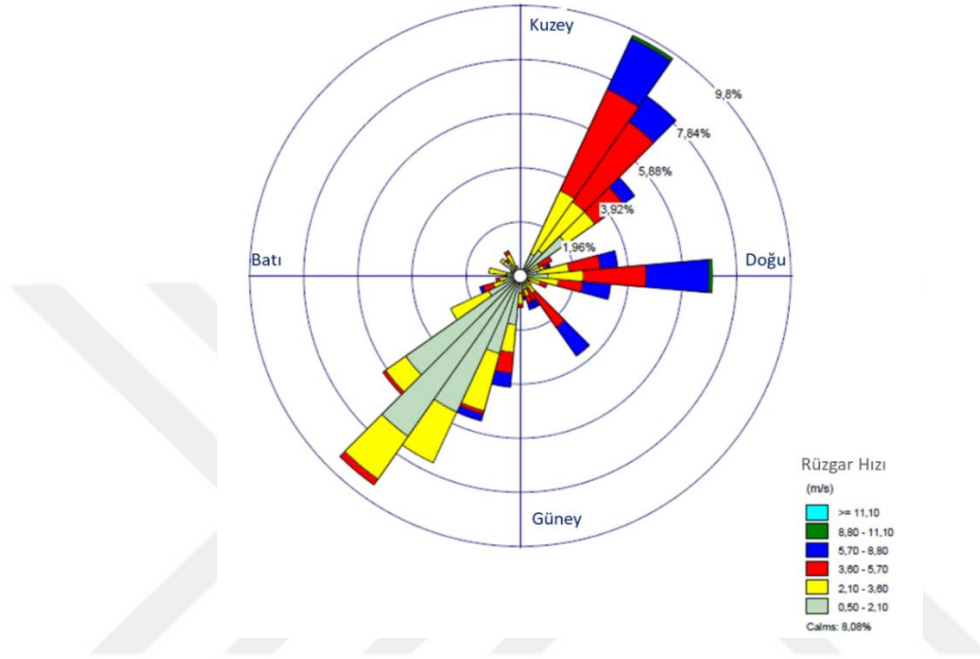
Şekil 4.15: Yüksek konsantrasyonlara sahip 18 ve 20 Mayıs günleri için HYSPLIT model sonuçları.

4.6.4. Rüzgar Gülü

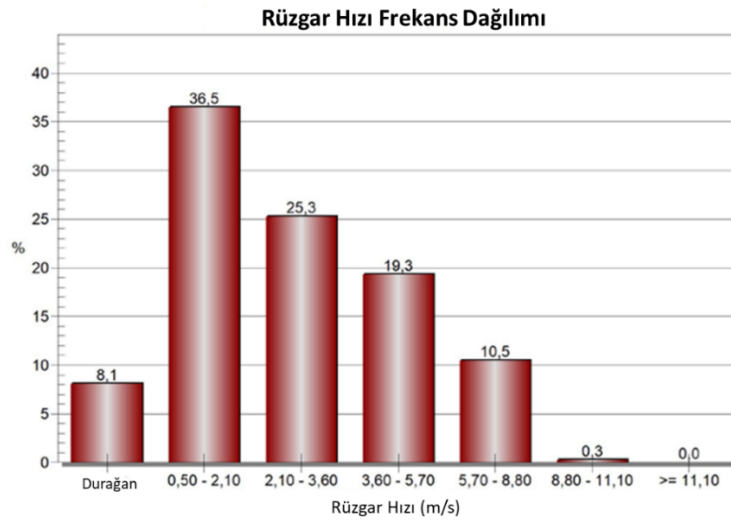
Bir rüzgar gülü, belirli rüzgar yönündeki sektörlerin her birinde rüzgarların görülme sıklığını ve önceden belirlenmiş bir alan ve zaman periyodu için rüzgar hızı modüllerini göstermektedir (Rao ve Rao, 1989). En düzenli yapı, sekiz ya da on altı çizginin her bir yön için bir tane daireden oluşur. Her bir hattın uzunluğu, bu yönden rüzgâr oluşumu ile benzerdir ve merkezde durağan koşulların oluşumuna bağlıdır. Rüzgar gülleri çeşitli şekillerde tasvir edilirler. Bazıları her yönden rüzgar hızları aralığını gösterir ve bazıları diğer meteorolojik koşullarla rüzgar yönünü gösterir (ChammiReddy ve Karthikeyan, 2016).

Örnekleme yapılan günler için alınan meteorolojik veriler kullanılarak örnekleme bölgesinin rüzgar yön ve hızları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre örnekleme bölgesinin ağırlıklı olarak güney batı ve kuzey doğu yönlerinden estiği görülmüştür (Şekil 4.16). Örnekleme zamanında bofor rüzgar skalasında 2 derece hafif rüzgar (1,6-3,3 m/s), 3 derece tatlı rüzgar (3,4-5,4 m/s), 4 derece orta rüzgar (5,5-7,9 m/s) olduğu görülmüştür.

Örnekleme periyoduna ait rüzgar frekans dağılımı ölçüm zamanına göre durağan %8,1, 0,5-2,1 m/s %36,5, 2,1-3,6 m/s %25,3, 3,6-5,7 m/s %19,3, 5,7-8,8 m/s %10,5, 8,8-11,1 m/s %0,3 üni oluşturmaktadır (Şekil 4.17). Buna göre örnekleme bölgesinin ağırlıklı olarak 2,1-3,6 m/s rüzgar hızına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.16: Örnekleme periyodu için rüzgar gülü.



Şekil 4.17: Örnekleme periyodu için rüzgar hızı frekans dağılımı.

4.7. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN LİTERATÜRLE KARŞILAŞTIRMASI

Yapılan çalışmada elde edilen PM_{2.5}, organik ve elementel karbon sonuçları diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Buna göre önceki yıllarda Özdemir ve diğ. (2010, 2014) tarafından aynı lokasyondaki ölçülen PM_{2.5} değerleri ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. 2009 yılında yapılan Mart ayındaki bulunan 40,99 µg/m³ değeri bu çalışmada yapılan ölçüm sonuçlarının üzerinde çıkmıştır. Aynı yıllarda yapılan elementel karbon sonuçları ile 3-4 kat yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Diğer ülkelerdeki mega şehirlerde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında Kaohsiung, Kalifornia, Inchon, Pekin, Xiamen, Tianjin, Delhi şehirleri PM_{2.5} olarak yüksek konsantrasyonlarda gözlenmiştir (Lin ve Tai, 2001; Na ve diğ., 2004; Choi ve diğ., 2012; Wang ve diğ., 2015; Dongsheng ve diğ., 2016; Zhang ve diğ., 2011; Zhao ve diğ., 2013; Tiwari ve diğ., 2013).

Delhi, PM_{2.5} ortalama 209,6 µg/m³ konsantrasyonu ile en yüksek PM_{2.5} değerine sahiptir. Kentsel alandaki OK ve EK ortalama konsantrasyonları sırasıyla 54,10 ve 10,4 µg/m³'tür. OK/EK oranı ise 5,2'dir. Bu sonuçlar yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında PM_{2.5} değerleri yaklaşık 8 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Çine ait bazı şehirlerdeki ortalama PM_{2.5} konsantrasyonları He ve diğ. (2011) yaptığı çalışmada Pekin'de 115 µg/m³, Zhang ve diğ. (2014) yaptığı çalışmada Xiamen'de endüstri bölgesinde 74,80 µg/m³ ve kentsel bölgede 72,12 µg/m³, Wang ve diğ. (2015) yaptığı çalışmada Pekin'de 95,16 µg/m³ ve Dongsheng ve diğ. (2016) yaptığı çalışmada Pekin şehrinde 93,18 µg/m³ olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar AB ve WHO limit değerlerin 3-4 kat üzerindedir.

Avrupadaki yapılan çalışmalar Paris, Barselona ve Ghent şehirleri gözlemlenen 14,8 µg/m³, 29,1 µg/m³, 20,8 µg/m³ değerleri PM_{2.5} konsantrasyonları en düşük ve hava kalite standart değerlerinin altındadır. Bu şehirlerdeki PM_{2.5} ortalama konsantrasyonları, bu çalışma sonuçlarına göre daha düşüktür. Barselona, diğerleriyle karşılaştırıldığında en yüksek OK ve EK 'ya sahiptir. Bu çalışmadaki OK/EK oranı, Paris ve Barselona'dan daha yüksektir.

Türkiye'de yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında Melek ve Keleş (2016) ve Arı ve Gaga (2015) tarafından Bolu ve Eskişehir'de yapılan çalışmalardaki PM_{2.5} değerlerine göre yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Organik ve elementel karbon sonuçları ise Arı ve Gaga (2015) tarafından yapılan çalışmaya göre düşük sonuçları mevcutken Melek ve Keleş (2016) tarafından yapılan çalışmadaki organik karbon değerleri yaklaşık 10 kat yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Melek ve Keleş (2016) çalışmasında hesaplanan elementel karbon değerleri ise bu çalışmadan yaklaşık 2 kat daha fazladır. Bu çalışmada elde edilen sonuçların literatürle kıyaslanması ve detaylı analizi Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Bu çalışmada ölçülen PM_{2.5}, organik ve elementel konsantrasyon değerlerinin literatürle karşılaştırılması ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Bölge	Periyot	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OK ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EK ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OK/EK	Kaynak
İstanbul, Beşiktaş	Mayıs -Temmuz 2016	33,01	6,55	2,36	3,11	Bu Çalışma
İstanbul, Beşiktaş	Mart 1–18, 2009	40,99	-	9,92	-	Özdemir ve diğ., 2014
İstanbul, Beşiktaş	Mart 1–19, 2010	30,40	-	8,96	-	Özdemir ve diğ., 2014
İstanbul, Beşiktaş	Ağustos 2010 - Ağustos 2011	36,38	-	12,96	-	Özdemir ve diğ., 2014
Kaohsiung	Kasım 1998-Nisan 1999	68	10,4	4	2,6	Lin ve Tai, 2001
Kalifornia	Eylül 2001 – Ocak 2002	41,8	10,8	2,1	5,2	Na ve diğ., 2004
Ghent	2007	20,8	5,4	1,2	4,4	Viana ve diğ., 2007
Amsterdam	2007	34,4	6,7	1,7	4,7	Viana ve diğ., 2007
Barcelona	2007	29,1	6,9	2,6	3,1	Viana ve diğ., 2007
Mexicocity	Mart 2006	-	8,7	3,8	2,3	Stone ve diğ., 2010
Xiamen (Kentsel)	2009-2010	72,12	19,28	3,30	5,8	Zhang ve diğ., 2011
Xiamen (Enüstüriyel)	2009-2010	74,80	19,73	3,49	5,7	Zhang ve diğ., 2011
Madrid	Şubat 2006–Haziran 2008	-	3,7	1,3	4,3	Plaza ve diğ., 2011
Inchon	Haziran 2009–Mayıs 2010	41,9	10,9	1,8	6,1	Choi ve diğ., 2012
Seoul	Aralık 2010– Ocak 2011	-	9,6	2,7	3,6	Park ve diğ., 2012
Tianjin	Nisan 2009–Şubat 2010	141,5	18,8	6,9	2,68	Zhao ve diğ., 2013
Delhi	Kasım 2010- Şubat 2011	209,6	54,1	10,4	5,2	Tiwari ve diğ., 2013
Paris	Eylül 2009–Eylül 2010	14,8	3	1,4	2,1	Bressi ve diğ., 2013
Chengdu	Mayıs 2012–Nisan 2013	-	19	4,6	4,1	Chen ve diğ., 2014
Chongqing	Mayıs 2012–Nisan 2013	-	15,2	4,2	3,6	Chen ve diğ., 2014

Tablo 4.3(devam): Bu çalışmada ölçülen PM_{2.5}, organik ve elementel konsantrasyon değerlerinin literatürle karşılaştırılması ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Bölge	Periyot	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OK ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EK ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OK/EK	Kaynak
Hong Kong	4 Mevsim (2011–2012)	-	3	1,7	1,8	Zhou ve diğ., 2014
Eskişehir	15 Mart 2012 – 5 Nisan 2012	28,6	4,4	1,5	3,2	Arı ve diğ., 2014
Pekin	Temmuz 2012–Nisan 2013	95,6	13,3	3,3	3,7	Wang ve diğ., 2015
Pekin	Mart 2013–Şubat 2014	93,8	14	4,1	3,4	Dongsheng ve diğ., 2016
Bolu	Aralık 2014–Şubat 2015	20	59,9	5,92	10,1	Öztürk ve Keleş, 2016
Veneto	Nisan 2012–Şubat 2013	-	5,5	1,31	4,54	Khan ve diğ., 2016

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyada artan sayıları ile motorlu taşıtlar kullandıkları fosil yakıtlar sonucunda havaya çeşitli emisyonları yayarlar. Bu trafik kaynaklı emiyonlardan biri olan ince partikül maddeler, mega şehirlerde insan sağlığı ve çevresel etkileri bulunmaktadır. Bu kirleticiler atmosferdeki ömrü ve uzun mesafelerde taşınabilmesi nedeniyle global ölçekte bütün dünyayı etkilemektedir. İnsan vücudunda alvoellere kadar girebilen ince partikül maddelere uzun süre maruz kalma, özellikle kalp hastalıkları, kalp krizi ve felç gibi kardiyovasküler etkilerle ilgili erken ölümlere, akciğer gelişiminin azalmasına ve çocuklarda astım gibi kronik solunum yolu hastalıklarına neden olmaktadır. Organik ve elementel karbon dünyanın sıcaklığının değişmesine ve kutupları erimesine neden olabilen ve genellikle araç emisyonları, yanma prosesleri ve atmosferde kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan ince partikül maddelerin en önemli bileşenleri arasındadır. Partikül maddeler; organik ve elementel karbonun kentsel alanlardaki kaynaklarını trafik emisyonları oluşturmaktadır. Sayıları artan motorlu taşıtlar özellikle insan popülasyonu 10 milyondan fazla olan mega şehirlerde insan vücudunun akciğerine kadar girebilen ve solunum sistemini etkileyen ince partikül maddeler halk sağlığı için büyük tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yoğun araç trafiğinin ince partikül maddeler ve önemli bileşenleri olan organik ve elementel karbon miktarı araştırılmıştır. Çalışma alanı olarak İstanbul'un ekonomi, kültür ve endüstri merkezi olan Avrupa ve Asya yakasını birbirine bağlayan Fatih Sultan Mehmet köprüsüyle bağlantılı olan Beşiktaş Barbaros Bulvarı seçilmiştir. Çalışmada meteorolojik faktörler için en uygun olan zaman aralığı olan Mayıs-Temmuz aralığı seçilmiştir. Çalışmada PM_{2.5} olarak günlük ölçümü ve toplanan örneklerde termal-optik metodu kullanılarak organik ve elementel karbon seviyesi belirlenmiştir. Elde edilen bulgular değişen meteorolojik koşullar ve örnekleme bölgesinin yakınındaki yol kenarındaki araç değişimlerine bağlı olarak yorumlanmıştır.

Çalışmada gravimetrik olarak ölçülen PM_{2.5} konsantrasyonları ölçüm yapılan günlerde ortalama 33.05 µg/m³ elde edilmiştir. PM_{2.5} değerleri minimum 15,59 µg/m³ ve maksimum 92,97 µg/m³ aralığındadır. Dünya Sağlık Örgütü, EPA ve AB tarafından halk sağlığının korunması için günlük konsantrasyon değerinin sırasıyla 20 µg/m³, 25 µg/m³, 35 µg/m³ değerlerinin olması önerilmektedir. Ölçüm yapılan günlerdeki PM_{2.5} konsantrasyonların %81'i WHO, %63'ü AB, %44'ü EPA standartlarının üzerinde çıkmıştır.

Çalışmada PM_{2.5} içeriğindeki organik, elementel, toplam karbon miktarları termal-optik analiz metodu kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen değerlere göre ortalama EK, OK ve TK değerleri sırasıyla 6,56 µg/m³, 2,36 µg/m³, 8,92 µg/m³ olarak bulunmuştur. Organik karbon değerleri 4,31 µg/m³ ile 14,81 µg/m³ arasında iken EK değerleri 1,09 µg/m³ ile 5,52 µg/m³ aralığında bulunmuştur. Toplam karbon değerinin PM_{2.5} kütlelerinin yaklaşık %30'unu oluşturduğu görülmüştür. OK/EK oranı 3,11 olarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın yapıldığı Barbaros bulvarındaki araç sayısının 40.000 ve 55.000 arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. PM, OK, EK ve TK değerlerinin araç sayısı ve meteorolojik faktörlerle korelasyon analizi yapılarak aralarındaki ilişkiler incelenmiştir. En yüksek korelasyonların partikül maddenin OK ($r^2=0,68$) ve TK ($r^2 =0,69$) arasında iyi korelasyon gözlenmiştir. PM_{2.5} değerinin en yüksek korelasyonu basınç ($r=0.36$) ve sıcaklıkla ($r=-0.41$) göstermiştir. Elementel karbon basınç ($r=0.42$) ve yağmurla ($r=-0.29$) en yüksek korelasyon değerlerine sahiptir. Organik karbon araç sayısı ($r=0.37$) ve sıcaklık ($r=-0.30$) arasında yüksek korelasyon göstermiştir. Toplam karbonun en yüksek korelasyonları ise sıcaklık ($r=-0.36$) ve basınç ($r=0.34$) değerleri arasında olmuştur. Araç sayısı ile partikül madde, organik ve elementel karbon konsantrasyonunun düşük korelasyon göstermesi araç türlerinin örnekleme bölgesinde değişken olmasına bağlanmaktadır. Araç cinsi ve sınıflarının özellikleri ve yakıt türlerine göre emisyon ve kirlerici değerleri farklılık göstermektedir.

Örnekleme periyodunda meteorolojik faktörlerin değişkenliğinin az olduğu değerler alınmıştır. Rüzgar hızının 2-8 m/s arasında değiştiği ve dolayısıyla düşük rüzgar hızı göstermektedir. Örnekleme döneminde fazla yağış görülmediği, maksimum 13 mm ve ortalama 1,28 mm hesaplanmıştır. Sıcaklık değerleri ortalama 24 °C, minimum 16 °C ve maksimum 28 °C görülmüştür. Basınç ortalama 1013 mbar seviyesindedir. Bu nedenle elde edilen sonuçların farklılığı değişen meteorolojik koşulların değil, bölgedeki araç trafiği değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Örnekleme bölgesine gelen kirletici taşınımın HYSPLIT geri yörünge simülasyonları modeli kullanılarak 96 saat için uzun mesafeli taşınımlar (500, 1500 ve 3000 m seviyelerinde) yüksek konsantrasyon günlerinde incelenmiş ve özellikle Avrupa üzerinden gelen emisyonların bu hava parsellerini (sektörlerle) taşıdığı görülmüştür. Örnekleme bölgesinin konsantrasyonlarını yüksek seviyeye çıkaracak Afrika bölgesinden taşınımın olmadığı ve bu değerlerin yoğun araç trafiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan çalışma literatür ile karşılaştırıldığında İstanbul; Paris, Madrid, Barselona gibi büyük mega şehirlere göre yüksek PM_{2.5} değerlerine sahiptir. Diğer ülkelerdeki mega şehirlerde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında Kaohsiung, Kalifornia, Inchon, Pekin, Xiamen, Tianjin, Delhi şehirlerinde elde edilen PM_{2.5} değerleri bu çalışmadan çok yüksek konsantrasyonlarda olduğu gözlenmiştir.

Yapılan çalışma, yoğun araç trafiği bölgesinde yaşayan insanların yüksek konsantrasyonlarda partikül madde, organik ve elementel karbon kirliliğine maruz kaldığını göstermiştir. Epidemiyolojik çalışmalar araç emisyonlarından ince partikül maddelerin insanların solunum sistemlerine, akut, kronik ve hatta ölümlü sonuçlanan etkilere sahiptir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde her geçen artan araç sayısına bağlı olarak bu emisyonların giderek artacağı düşünülmektedir. Gelişmiş olan ülkelerde trafiğe bağlı emisyonları azaltılması ve bu yönde çalışmalar yapılmaktadır. Fosil yakıt kullanan araçların yerine bu emisyonları azaltmak için elektrikli, hibrit ya da çevre dostu yakıt kullanan araçların yaygınlaştırılması önemlidir. Ayrıca bu çalışmada trafiğin insanların bulunduğu yerlere olan mesafesinin artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bazı çalışmalar trafik noktalarına olan uzaklığın artması ile emisyon miktarlarının düştüğü yönünde bulgular edinilmiştir (Karner ve diğ., 2010). Başka bir husus ise insanların günlük yaşamlarında kısa mesafelerde bisiklet yollarının yaygınlaştırılarak kişisel motorlu taşıt kullanımının azaltılarak yerine bisiklet, elektrikli motor kullanımının artırılması partikül madde kirliliğini azaltacağı öngörülmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alındığında daha uzun süreli örnekleme ve daha fazla sayıda örnekleme noktasının kullanılmasıyla veri analizi için daha güvenilir sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir. Ayrıca araçların özellikleri ve tiplerini tespit edebilecek sistemlerin geliştirilmesi ile birlikte kirletici türleri arasındaki ilişkiler daha yüksek güven aralıklarında tespit edilmesi öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abu-Allaban, M., Gillies, J.A., Gertler, A.W., Clayton, R., Proffitt, D., 2003, Tailpipe, resuspended road dust, and brake wear emission factors from on-road vehicles, *Atmospheric environment*, 37, 5283-5293.
- Ahmed, T., Dutkiewicz, V.A., Shareef, A., Tuncel, G., Tuncel, S., Husain, L. 2009, Measurement of black carbon (BC) by an optical method and a thermal-optical method: intercomparison for four sites, *Atmospheric environment*, 43, 6305-6311.
- Ahrens, C.D., 2009, *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*, 9th Edition, Brooks/Cole, USA, ISBN: 13: 978-0-495-55573-5.
- American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health, 2005, Lead exposure in children: Prevention, detection, and management, *Pediatrics*, 116, 1036-1046.
- Ancelet, T., Davy, P. K., Trompetter, W. J., Markwitz, A., Weatherburn, D.C., 2011, Carbonaceous aerosols in an urban tunnel, *Atmospheric environment*, 45 (26), 4463-4469.
- Andreae, M.O., Gelencser' A., 2006, Black carbon or brown carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosols, *Atmospheric chemistry and physics*, 6, 3131-3148.
- Andreae, M.O., 2001, The dark side of aerosols, *Nature*, 409, 671-672.
- Andrews, E., Saxena, P., Musarra, S., Hildemann, L.M., Koutrakis, P., McMurry, P.H., Olmez, I., White W.H., 2000, Concentration and composition of atmospheric aerosols from the 1995 SEAVS experiment and a review of the closure between chemical and gravimetric measurements, *Journal of the air & waste management association*, 50, 648-664.
- Arctic Council, 2013, *Arctic Council Task Force on Short-Lived Climate Forcers: Recommendations to Reduce Black Carbon and Methane Emissions to Slow Arctic Climate Change*, Arctic Council, <http://www.arctic-council.org/index.php/en/our-work/2/8-news-and-events/320-technicalreport-of-the-arctic-council-task-force-on-short-lived-climate-forcers>, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- Arı, A., Gaga, E.O., 2014, Eskişehir atmosferinde toplanan PM_{2.5} örneklerinin organik karbon (OC) ve elementel karbon (EC) derişimlerinin belirlenmesi, *Hava kirliliği araştırmaları dergisi*, 3, 29-38.
- ARL, 2010a, HYSPLIT Model Research, Air Resources Laboratory, ARL, http://www.arl.noaa.gov/documents/Summaries/HYSPLIT_FINAL.pdf, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- ARL, 2010b, HYSPLIT Frequently Asked Questions, Air Resources Laboratory, ARL, http://www.arl.noaa.gov/faq_md4.php, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- Atkinson, R., 2000, Atmospheric chemistry of VOCs and NO_x, *Atmospheric environment*, 34, 2063-2101.

- Bachmann, J., 2009, Black Carbon: A Science/Policy Primer, *Pew center on global climate change*.
- Bae, M.-S., Schauer, J.J., Turner, J.R., Hopke, P.K., 2009, Seasonal variations of elemental carbon in urban aerosols as measured by two common thermal-optical carbon methods, *Science total environmental*, 407 (18), 5176-5183.
- Baedecker, P.A., Reddy, M.M., Reimann, K.J., Sciammarella, C.A., 1992, Effects of acidic deposition on the erosion of carbonate stone - experimental results from the U.S. National Acid Precipitation Assessment Program NAPAP, *Atmospheric environment*, 26B, 147-158.
- Bahadar, H., Mostafalou, S., Abdollahi, M., 2014, Current understandings and perspectives on non-cancer health effects of benzene: a global concern, *Toxicology and applied pharmacology*, 276, 83-94.
- Balali-Mood., M., Shademanfar, S., Rastegar Moghadam, J., Afshari R, Namaei Ghassemi, M., Allah Nemati, H., Keramati, M.R., Neghabian, J., Balali-Mood, B., Zare, G., 2010, Occupational lead poisoning in workers of traditional tile factories in Mashhad, Northeast of Iran, *The international journal of occupational and environmental medicine*, 1, 29-38.
- Bates, T.S., Quinn, P.K., Coffman, D.J., Johnson, J.E., Middlebrook, A.M., 2005, Dominance of organic aerosols in the marine boundary layer over the Gulf of Maine during NEAQS 2002 and their role in aerosol light scattering, *Journal of geophysical research*, 110 (D18202), 1-14.
- Batterman, S., Ganguly, R., Isakov, V., Burke, J., Arunachalam, S., Snyder, M., Robins, T., Lewis, T., 2014, Dispersion modeling of traffic-related air pollutant exposures and health effects among children with asthma in Detroit, Michigan, *Transportation research board*, 2452, 105-112.
- Beelen, R., Hoek, G., van den Brandt, P.A., Goldbohm, R.A., Fischer, P., Schouten, L.J., Jerrett, M., Hughes, E., Armstrong, B., Brunekreef, B., 2008, Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study), *Environmental health perspectives*, 116, 196-202.
- Beig, G., 2010, Scientific Evaluation of Air Quality Standards and Defining Air Quality Index for India, Indian Institute of Tropical Meteorology, Pune, India Ministry of Earth Sciences, Govt. of India.
- Bell, M.L., Ebisu, K., Peng, R.D., Samet, J.M., Dominici, F., 2009, Hospital admissions and chemical composition of fine particle air pollution. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 179, 1115-1120.
- Bennett, R.L., Stockburger L., 1994, Sampling Carbonaceous Aerosols: Review of Methods and Previous Measurements, U.S. Environmental Protection Agency, Atmospheric Research and Exposure.
- Birch, M.E., 2003, Monitoring of diesel particulate exhaust in the workplace, NIOSH Manual of Analytical Methods, 229-259.

- Birch, M.E., Cary, R.A., 1996, Elemental carbon-based method for monitoring occupational exposure to particulate diesel exhaust, *Aerosol science technology*, 25, 221-241.
- Bond, T.C., Doherty, S.J., Fahey, D.W., Forster, P.M., Berntsen, T., DeAngelo, B.J., Flanner, M.G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P.K., Sarofim, M.C., Schultz, M.G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., Bellouin, N., Guttikunda, S.K., Hopke, P.K., Jacobson, M.Z., Kaiser, J.W., Klimont, Z., Lohmann, U., Schwarz, J.P., Shindell, D., Storelvmo, T., Warren, S.G., Zender, C.S., 2013, Bounding the role of black carbon in the climate system: a scientific assessment, *Journal of geophysical research: atmospheres*, 118 (11), 5380-5552.
- Bond, T.C., Streets, D.G., Yarber, K.F., Nelson, S.M., Woo, J.-H., Klimont, Z., 2004, A technology- based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion, *Journal of geophysical research*, 109 (D14203), 1-43.
- Borrego, C., Tchepel, O., Barros, N., Miranda, A.I., 2000, Impact of traffic emissions on air quality of the Lisbon region, *Atmospheric environment*, 34, 4683-4690.
- Boubel, R.W., Turner, B., Fox, D.L., 1994, *Fundamentals of air pollution*, Academic Pres, San Diego, ABD.
- Brauer M., Freedman, G., Frostad, J., van Donkelaar, A., Martin, R.V., Dentener, F., van Dingenen, R., Estep, K., Amini, H., Apte, J.S., Balakrishnan, K., Barregard, L., Broday, D., Feigin, V., Ghosh, S., Hopke, P.K., Knibbs, L.D., Kokubo, Y., Liu, Y., Ma, S., Morawska, L., Texcalac Sangrador, J.L., Shaddick, G., Anderson, H.R., Vos, T., Forouzanfar, M.H., Burnett, R.T., Cohen, A., 2016, Ambient Air Pollution Exposure Estimation for the Global Burden of Disease 2013, *Environmental science and technology*, 50 (1), 79-88.
- Bressi, M., Sciare, J., Gherzi, V., 2013, A one-year comprehensive chemical characterisation of fine aerosol (PM_{2.5}) at urban, suburban and rural back ground sites in the region of Paris (France), *Atmospheric chemistry and physics*, 13, 7825-7844.
- Brokamp, C., Rao, M.B., Fan, Z.T., Ryan, P.H., 2015, Does the elemental composition of indoor and outdoor PM_{2.5} accurately represent the elemental composition of personal PM_{2.5}? *Atmospheric environment*, 101, 226-234.
- Brunekreef, B., Beelen, R., Hoek, G., Schouten, L., Bausch-Goldbohm, S., Fischer, P., Armstrong, B., Hughes, E., Jerrett, M., van den Brandt, P., 2009, Effects of long-term exposure to traffic-related air pollution on respiratory and cardiovascular mortality in the Netherlands: The NLCS-AIR study, *Res rep health eff instute*, 139, 5-71.
- Brunekreef, B., Holgate, S.T., 2002, Air pollution and health, *Lancet*, 360 (9341), 1233-1242.
- Buckeridge, D.L., Glazier, R., Harvey, B.J., Escobar, M., Amrhein, C., Frank, J., 2002, Effect of motor vehicle emissions on respiratory health in an urban area, *Environmental health perspectives*, 110 (3), 293-300.
- Camargo, J.A., Alonso, A., Salamanca, A., 2005, Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates, *Chemosphere*, 58 (9), 1255-1267.

- Catcott, E.J., 1961, Effects of air pollution on animals, *Monogr ser world health organ*, 46, 221-231.
- Cavalli, F., Viana, M., Yttri, K. E., Genberg, J., and Putaud, J.-P., 2010, Toward a standardised thermal/optical protocol for measuring atmospheric organic and elemental carbon: the EUSAAR protocol, *Atmospheric measurement techniques*, 3, 79-89.
- ChammiReddy, A.K.R., Karthiceyan, J., 2016, Development of wind rose diagrams for Kadapa region of Rayalaseema, *International journal of chem tech research*, 9 (2), 60-64.
- Chen, T.M., Gokhale, J., Shofer, S., Kuschner, W.G., 2007, Outdoor air pollution: Nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects, *The American journal of the medical sciences*, 333, 249-56.
- Chen, Y., Xie, S., Luo, B., 2014. Characteristics and origins of carbonaceous aerosol in the Sichuanbasin, China, *Atmospheric environment*, 94, 215-223.
- Choi, J.K., Heo, J.B., Ban, S.J., Yi, S.M., Zoh, K.D., 2012, Chemical characteristics of PM_{2.5} aerosol in Incheon, Korea, *Atmospheric environment*, 60, 583-592.
- Chow, J. C., Watson, J. G., Pritchett, L. C., Pierson, W. R., Frazier, C. A., Purcell, R. G., 1993, The DRI thermal/optical reflectance carbon analysis system: description, evaluation and applications in US air quality studies, *Atmospheric environment*, 27A, 1185-1201.
- Chow, J.C., Watson, J.G., 1998. Guideline on speciated particulate monitoring. prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, by Desert Research Institute, Reno, NV.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Chen, L.W., Chang, M.C., Robinson, N.F., Trimble, D., Kohl, S., 2007, The IMPROVE_A temperature protocol for thermal/optical carbon analysis: maintaining consistency with a long-term database, *Journal of the air & waste management association*, 57 (9), 1014-1023.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Chen, L.W.A., Arnott, W.P., Moosmüller, H., Fung, K., 2004, Equivalence of elemental carbon by thermal/optical reflectance and transmittance with different temperature protocols, *Environmental science & technology*, 38 (16), 4414-4422.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Crow, D., Lowenthal, D.H., Merrifield, T., 2001, Comparison of IMPROVE and NIOSH Carbon Measurements, *Aerosol science and technology*, 34 (1), 23-34.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Louie, P.K.K., Chen, L.-W.A., Sin, D., 2005, Comparison of PM_{2.5} carbon measurement methods in Hong Kong, China, *Environmental pollution*, 137, 334-344.
- Chow, J.C., Watson, J.G., Robles, J., Wang, X., Chen, L.W.A., Trimble, D., Kohl, S., Tropp, R., Fung, K., 2011, Quality assurance and quality control for thermal/optical analysis of aerosol samples for organic and elemental carbon, *Analytical and bioanalytical chemistry*, 401 (10), 3141-3152.

- Chuang, P.Y., Duvall, R.M., Bae, M.S., Jefferson, A., Schauer, J.J., Yang, H., Yu, J.Z., Kim, J., 2003, Observations of elemental carbon and absorption during ACE-Asia and implications for aerosol radiative properties and climate forcing, *Journal of geophysical research*, 108 (D23), 8634.
- Chung, K.F., Zhang, J., Zhong, N., 2011, Outdoor air pollution and respiratory health in Asia, *Respirology*, 16, 1023-1026.
- Chung, S.H., Seinfeld, J.H., 2002., Global distribution and climate forcing of carbonaceous aerosols, *Journal of geophysical research*, 107 (D19), AAC 14-1-AAC 14-33.
- Cofala, J., Amann, M., Klimont, Z., Kupiainen, K., Höglund-Isaksson, L., 2007, Scenarios of global anthropogenic emissions of air pollutants and methane until 2030, *Atmospheric environment*, 41 (38), 8486-8499.
- Cohen, A.J., Brauer, M., Burnett, R.T., Anderson, H.R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., Pope, C.A. 3rd., Shin, H., Straif K., Shaddick, G., Thomas M., van Dingenen, R., van Donkelaar, A., Vos, T., Murray, C.J.L., Forouzanfar, M.H., 2017, Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global burden of Diseases Study 2015, *Lancet*, 389, 1907-1918.
- Cooke, W.F., Liousse, C., Cachier, H., Feichter, J., 1999, Construction of a $1^\circ \times 1^\circ$ fossil fuel emission data set for carbonaceous aerosol and implementation and radiative impact in the ECHAM4 model, *Journal of geophysical research*, 104, 22137-22162.
- Çapraz, O., Deniz, A., Doğan, N., 2017, Effects of air pollution on respiratory hospital admissions in Istanbul, Turkey, 2013 to 2015, *Chemosphere*, 181, 544-550.
- Dadvand, P., Parker, J., Bell, M.L., Bonzini, M., Brauer, M., Darrow, L.A., Gehring, U., Glinianaia, S.V., Gouveia, N., Ha, E.H., Leem, J.H., van den Hooven, E.H., Jalaludin, B., Jesdale, B.M., Lepeule, J., Morello-Frosch, R., Morgan, G.G., Pesatori, A.C., Pierik, F.H., Pless-Mulloli, T., Rich, D.Q., Sathyanarayana, S., Seo, J., Slama, R., Strickland, M., Tamburic, L., Wartenberg, D., Nieuwenhuijsen, M.J., Woodruff, T.J., 2013, Maternal exposure to particulate air pollution and term birth weight: a multi-country evaluation of effect and heterogeneity, *Environmental health perspectives*, 121, 267-373.
- Dan, M., Zhuang, G., Li, X., Tao, H., Zhuang, Y., 2004, The characteristics of carbonaceous species and their sources in PM_{2.5} in Beijing, *Atmospheric environment*, 38, 3443-3452.
- De Gouw, J., Jimenez, J.L., 2009, Organic aerosols in the earth's atmosphere, *Environmental science and technology*, 43 (20), 7614-7618.
- Demirci, N., Çınar, M.A., 2008, Şehirlerdeki hava kirliliğinin ağır metal kontaminasyonları açısından halk sağlığı üzerine etkileri, *Ulusal hava kalitesi sempozyumu*, 30-31 Mayıs 2008 Konya, 197-209.

- Dockery, D., Pope, C.A., Xu, X., Spengler, J., Ware, J., Fay, M., Ferris, B., Speizer F., 1993, An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New England journal of medicine*, 329, 1753-1759.
- Donahue, N., Robinson, A., Pandis., S., 2009, Atmospheric organic particulate matter: From smoke to secondary organic aerosol, *Atmospheric environment*, 43 (1), 94-106.
- Dongsheng, J., Zhang, J., He, J., Wang, X., Pang, B., Liu, Z., Wang, L., Wang, Y., 2016, Characteristics of atmospheric organic and elemental carbon aerosols in urban Beijing, China, *Atmospheric environment*, 125, 293-306.
- Draxler R.R., Hess, G.D., 1998, An overview of the HYSPLIT_4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition, *Australian meteorological magazine*, 47, 295-308.
- Du Four V.A., Van Larebeke, N., Janssen, C.R., 2004, Genotoxic and mutagenic activity of environmental air samples in Flanders, Belgium, *Mutation research*, 558, 155-167.
- EA (Environment Agency), 2000, *Report into an Air Pollution Episode: Sulphur Dioxide*, 2 September 1998, Midlands and South Yorkshire, Bristol, Environment Agency.
- Ebert, M., Weinbruch, S., Hoffmann, P., Ortner, H.M., 2004, The chemical composition and complex refractive index of rural and urban influenced aerosols determined by individual particle analysis, *Atmospheric environment*, 38, 6531-6545.
- Erinç, S., 1996, *Klimatoloji ve metodları*, Genişletilmiş 4.Baskı, Alf Basım Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Erol, O., 1999, *Genel klimatoloji*, Genişletilmiş 5.Baskı, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Ertürk, F., 2002, Hava Kirliliği ve Kontrolü Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- EU, 2000, Directive (2000/69/EC) of the European Parliament and of the Council of 16 November 2000 relating to limit values of benzene and carbon monoxide in ambient air, *Official Journal of the European Communities*, No L 313/12, 13.12.2000.
- Evyapan, F., 2006, *Türkiye’de Hava Kirliliği Sorunu Ve Solunum Sistemi Sağlığı Üzerine Etkileri*, Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı.
- Fan, Y., Meng, Q., Weisel, C., Shalat, S., Laumbach, R., Ohman-Strickland, P., Black, K., Rodriguez, M., Bonanno, L., 2006, Acute short-term exposures to PM_{2.5} generated by vehicular emissions and cardiopulmonary effects in older adults, *Epidemiology*, 17 (6), 213-214.
- Farhat, A., Mohammadzadeh, A., Balali-Mood, M., Aghajanpoor-Pasha, M., Ravanshad, Y., 2013, Correlation of blood lead level in mothers and exclusively breastfed infants: a study on infants aged less than six months, *Asia pacific journal of medical toxicology*, 2, 150-152.

- Farhat, A.S., Parizadeh, S.M., Balali, M., Balali, M., Khademi, G.R., 2005, Comparison of blood lead levels in 1-7 year old children with and without seizure, *Neurosciences (Riyadh)*, 10, 210-212.
- Finlayson-Pitts, B.J., Pitts, J.N., 2000, *Atmospheric chemistry fundamentals and experimental techniques*, Wiley, USA.
- Fraser, M.P., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1999, Particulate organic compounds emitted from motor vehicle exhaust and in the urban atmosphere, *Atmospheric environment*, 33, 2715-2724.
- Galvão, E.S., Santos, J.M., Lima, A.T., Reis, N.C., Orlando, M.T.D., Stuetz, R.M., 2018, Trends in analytical techniques applied to particulate matter characterization: A critical review of fundamentals and applications, *Chemosphere*, 199, 546-568.
- Gelencsér, A., May, B., Simpson, D., Sánchez-Ochoa, A., Kasper-Giebl, A., Puxbaum, H., Caseiro, A., Pio, C., Legrand, M., 2007, Source apportionment of PM_{2.5} organic aerosol over Europe: primary/secondary, natural/anthropogenic, fossil/biogenic origin, *Journal of geophysical research*, 112 (D23S04), 1-12.
- Ghorani-Azam, A., Riahi-Zanjani B., Balali-Mood, M., 2016, Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran, *Journal of Research in Medical Sciences: The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 21, 65.
- Gilli, G., Pignata, C., Schilirò, T., Bono, A., La Rosa, A., Traversi, D., 2007, The mutagenic hazards of environmental PM_{2.5} in Turin. *Environmental research*, 103 (2), 168-175.
- Godish, T., 2004, *Air quality*, 4th ed., CRC Press, U.S.A.
- Goncaloğlu B.İ., 2001, *İstanbul'daki sanayi tesislerinden atmosfere atılan hava kirleticilerinin emisyon envanterinin çıkarılması*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gorai, A.K., Tuluri, F., Tchounwou, P.B., 2014, A GIS based approach for assessing the association between air pollution and asthma in New York state, USA, *International journal of environmental research and public health*, 11, 4845-4869.
- Grieshop, A.P., Logue, J.M., Donahue, N.M., Robinson, A.L., 2008, Laboratory investigation of photochemical oxidation of organic aerosol from wood fires-part 1: Measurement and simulation of organic aerosol evolution, *Atmospheric chemistry and physics discussions*, 8(4), 15699-15737.
- Gu, J., Du, S., Han, D., 2014, Major chemical compositions, possible sources, and mass closure analysis of PM_{2.5} in Jinan, China. *Air quality, atmosphere & health*, 7, 251-262.
- Guenther, A., Geron, C., Pierce, T., Lamb, B., Harley, P., Fall, R., 2000, Natural emissions of non-methane volatile organic compounds, carbon monoxide, and oxides of nitrogen from North America, *Atmospheric environment*, 34, 2205-2230.

- Güney, E., 2002, *Türkiye çevre sorunları, doğal ve kültürel ortam bozulması*, 2.Baskı, Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Habre, R., Coull, B., Moshier, E., Godbold, J., Grunin, A., Nath, A., Castro, W., Schachter, N., Rohr, A., Kattan, M., Spengler, J., Koutrakis, P., 2014, Sources of indoor air pollution in New York city residences of asthmatic children, *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 24, 269-278.
- Hajat, S., Armstrong, B., Wilkinson, P., Busby, A., Dolk, H., 2007, Outdoor air pollution and infant mortality: analysis of daily time-series data in 10 English cities, *Journal of epidemiology and community health*, 61, 719-722.
- Han, Y., Chen, A., Cao, J., Fung, K., Ho, F., Yan, B., Zhan, C., Liu, S., Wei, C., An, Z., 2013, Thermal/optical methods for elemental carbon quantification in soils and urban dusts: equivalence of different analysis protocols, *Plos one*, 8 (12), e83462.
- Hansen, J., Nazarenko, L., 2004, Soot climate forcing via snow and ice albedos, *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, 101 (2), 423-428.
- Hansen, J., Sato, M., Lacis, A., Ruedy, R., Tegen, I., Matthews, E., 1998, Climate forcings in the industrial, era, *Proceedings of the national academy of sciences*, 95, 12753-12758.
- Hansen, J., Nazarenko, L., Ruedy, R., Sato, M., Willis, J., Del Genio, A., Koch, D., Lacis, A., Lo, K., Menon, S., Novakov, T., Perlwitz, J., Russell, G., Schmidt, G.A., Tausnev, N., 2005, Earth's energy imbalance: Confirmation and implications, *Science*, 308, 1431-1435.
- He, K., Yang, F., Ma, Y., Zhang, Q., Yao, X., Chan, C.K., Cadle, S., Chan, T., Mulawac, P., 2001, The characteristics of PM_{2.5} in Beijing, China, *Atmospheric environment*, 35, 4959-4970.
- He, Z., Kim, Y.J., Ogunjobi, K.O., Hong, J.S., 2003, Characteristics of PM_{2.5} species and long-range transport of air masses at Taejeon background station, South Korea, *Atmospheric environment*, 37 (2), 219-230.
- Heald, C.L., Jacob, D.J., Turquety, S., Hudman, R.C., Weber, R.J., Sullivan, A.P., Peltier, R.E., Atlas, E.L., de Gouw, J.A., Warneke, C., Holloway, J.S., Neuman, J.A., Flocke, F.M., Seinfeld, J.H., 2006, Concentrations and sources of organic carbon aerosols in the free troposphere over North America, *Journal of geophysical research*, 111, D23S47.
- Heald, C.L., Spracklen, D.V., 2009, Atmospheric budget of primary biological aerosol particles from fungal spores, *Geophysical research letters*, 36, L09806.
- Healy, R., 2006, "The Chemistry of Smog", http://crac.ucc.ie/downloads/presentations/talk_robhealy_science4all.pdf, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- HEI Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution, 2010, *Traffic-related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects*, HEI Special Report, 17. Health Effects Institute, Boston, MA.

- HGK, 2017, http://www.hgk.msb.gov.tr/images/urun/il_ilce_alanlari.pdf, [Ziyaret Tarihi:11 Mayıs 2018].
- Hitzenberger, R., Berner, A., Giebl, H., Kromp, R., Larson, S.M., Rouc, A., Koch, A., Marischka, S., Puxbaum, H., 1999, Contribution of carbonaceous material to cloud condensation nuclei concentrations in European background (Mt. Sonnblick) and urban (Vienna) aerosols. *Atmospheric environment*, 33, 2647-2659.
- Hitzenberger, R., Petzold, A., Bauer, H., Ctyroky, P., Pouresmaeil, P., Laskus, L., Puxbaum, H., 2006, Intercomparison of thermal and optical measurement methods for elemental carbon and black carbon at an urban location, *Environmental science & technology*, 40 (20), 6377-6383.
- Hofman, J., Stokkaer, I., Snauwaert, L., Samson, R., 2013, Spatial distribution assessment of particulate matter in an urban street canyon using biomagnetic leaf monitoring of tree crown deposited particles, *Environmental pollution*, 183, 123-132.
- Host, S., Chatignoux, E., Leal, C., Gremy, I., 2012, Health risk assessment of traffic-related air pollution near busy roads, *Revue d epidemiologie et de sante publique*, 60, 321-330.
- Houghton J.T., 1995, *Climate Change 1994: radiative forcing of climate change and an evolution of the IPCC IS 92 emission scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 9780521559621.
- Huang, L., Brook, J.R., Zhang, W., Li, S.M., Graham, L., Ernst, D., Chivulescu, A., Lu, G., 2006, Stable isotope measurements of carbon fractions (OC/EC) in airborne particulate: A new dimension for source characterization and apportionment, *Atmospheric environment*, 40, 2690- 2705.
- Hung-Lung, C., Yao-Shang, H., 2009, Particulate matter emissions from on-road vehicles in a freeway tunnel study, *Atmospheric environment*, 43, 4014-4022.
- Husar, R.B., Tratt, D.M., Schichtel, B.A., Falke, S.R., Li, F., Jaffe, D., Gass, S., Gill, T., Laulainen, N.S., Lu, F., Reheis, M.C., Chun, Y., Westphal, D., Holben, B.N., Gueymard, C., I. McKendry, I., Kuring, N., Feldman, G.C., McClain, C., Frouin, R.J., Merrill, J., DuBois, D., Vignola, F., Murayama, T., Nickovic, S., Wilson, W.E., Sassen, K., Sugimoto, N., Malm W.C., 2001, Asian dust events of April 1998, *Journal of geophysical research*, 106, 8317-18330.
- IARC Working Group, 1980, An evaluation of chemicals and industrial processes associated with cancer in humans based on human and animal data, *Cancer research*, 40, 1-12.
- ICCT, 2001, Black Carbon Workshop, London, UK, January 5, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation), 2016, The Global Burden of Disease (GBD), Institute for Health Metrics and Evaluation, Seattle, USA, <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>, [Ziyaret tarihi: 11 Mayıs 2018].

- IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation), 2017, The Global Burden of Disease (GBD), Institute for Health Metrics and Evaluation, Seattle, USA, <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>, [Ziyaret tarihi: 11 Mayıs 2018].
- IPPC, 2013, *Climate Change 2013 The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, New York.
- IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University, Newyork.
- İncecik, S., 1994, *Hava Kirlenmesi Kontrolü*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- İncecik, S., İm, U., 2012, Air Pollution in mega cities: a case study of Istanbul. air pollution - monitoring, modelling and health, *Intech Open Access Publisher*, 77-116.
- İncecik, S., İm, U., 2013, Megaşehirlerde hava kalitesi ve İstanbul örneği, *Hava kirliliği araştırmalar dergisi*, 2, 133-145.
- İncecik, S., Şen, O., Kadioğlu, M., Alp, K., 1994, İstanbul'da hava kirliliminin yüzeysel su kaynakları üzerindeki potansiyel etkisi, *1. Ulusal hidrometeoroloji sempozyumu*, 23-25 Mart İTÜ, 244-272
- Jain, S., Khare, M., 2010, Construction of fuzzy membership functions for urban vehicular exhaust emissions modeling, *Environmental monitoring and assessment*, 167(1-4), 691-699.
- Johannson, K.A., Vittinghoff, E., Lee, K., Balmes, J.R., Ji, W., Kaplan, G.G., Kim, D.S., Collard, H.R., 2014, Acute exacerbation of idiopathic pulmonary fibrosis associated with air pollution exposure, *European respiratory society*, 43, 1124-1131.
- Kahramantekin, T.A., 2006, *Atmosferik partiküllerde iyon analizi ve istatistiksel değerlendirme*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kalkan, B., 2010, *Karayolu mevsimsel trafik ölçümleri ile Yogt ilişkilerinin modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kam, W., Liacos, J.W., Schauer, J.J., Delfino, R.J., Sioutas, C., 2012, Size-segregated composition of particulate matter (PM) in major roadways and surface streets, *Atmospheric environment*, 55, 90-97.
- Kampa, M., Castanas, E., 2008, Human health effects of air pollution, *Environmental pollution*, 151, 362-367.
- Kanakidou, M., Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., Barnes, I., Dentener, F.J., Facchini, M.C., Dingenen, R.V., Ervens, B., Nenes, A., Nielsen, C.J., Swietlicki, E., Putaud, J.P., Balkanski, Y., Fuzzi, S., Horth, J., Moortgat, G.K., Winterhalter, R., Myhre, C.E.L., Tsigaridis, K., Vignati, E., Stephanou, E.G., Wilson, J., 2005, Organic aerosol and global climate modelling: a review, *Atmospheric chemistry and physics*, 5, 1053-1123.

- Karaca, F., Anıl, I., Alagha, O., 2009, Long-range potential source contributions of episodic aerosol events to PM₁₀ profile of a megacity, *Atmospheric environment*, 43, 5713-5722.
- Kardeşoğlu, E., Yalçın, M., Işılak Z., 2011, Hava kirliliği ve kardiyovasküler sistem. *TAF preventive medicine bulletin*, 10, 97-106.
- Karner, A.A., Eisinger, D.S., Niemeier, D.A., 2010, Near-Roadway Air Quality: Synthesizing the Findings from Real-World Data, *Environmental science & technology*, 44 (14), 5334-5344.
- Karpuzcu, M., 2004, *Çevre kirlenmesi ve kontrolü*, 7. Baskı, Kubbealtı Neşriyatı 28, İstanbul, ISBN: 975-7663-10-7.
- Kaya, G., Tuncel, G., 1997, Trace Element and Major Ion Composition of Wet and Dry Deposition in Ankara, Turkey, *Atmospheric environment*, 31, 3985-3998.
- Kelly, F.J., 2003, Oxidative stress: Its role in air pollution and adverse health effects, *Occupational and environmental medicine*, 60, 612-616.
- Kemp, D.D., 2004, *Exploring environmental issues: An integrated approach*, London, United Kingdom, Routledge.
- Keser, N., 2002, Kütahya'da hava kirliliğine etki eden topografik ve iklimik faktörler, *Marmara coğrafya dergisi*, 5, 69-100.
- Keuken, M.P., Roemer, M.G.M., Zandveld, P., Verbeek, R.P., Velders, G.J.M., 2012, Trends in primary NO₂ and exhaust PM emissions from road traffic for the period 2000-2020 and implications for air quality and health in the Netherlands. *Atmospheric environment*, 54, 313-319.
- Khan, B., Hays, M.D., Geron, C., Jetter, J., 2011, Differences in the OC/EC ratios that characterize ambient and source aerosols due to thermal-optical analysis, *Aerosol science technology*, 46 (2), 127-137.
- Khan, M.B., Masiol, M., Formenton, G., Di Gilio, A., de Gennaro, G., Agostinelli, C., Pavoni, B., 2016, Carbonaceous PM_{2.5} and secondary organic aerosol across the Veneto region (NE Italy), *Science of the total environment*, 542, 172-181.
- Kırımhan, S., 2006, *Hava kirliliği ve kontrolü*, 1. Baskı, Turhan Kitabevi. Ankara. ISBN: 975-00284-1-4.
- Kianoush, S., Balali-Mood, M., Mousavi, S.R., Shakeri, M.T., Dadpour, B., Moradi, V., 2013, Clinical, toxicological, biochemical, and hematologic parameters in lead exposed workers of a car battery industry, *Iranian journal of medical sciences*, 38, 30-37.
- Ko, F.W., Hui, D.S., 2012, Air pollution and chronic obstructive pulmonary disease, *Respirology*, 17, 395-401.
- Koçak, M., Mihalopoulos, N., Kubilay, N., 2007, Contributions of natural sources to high PM₁₀ and PM_{2.5} events in the eastern Mediterranean, *Atmospheric environment*, 41, 3806-3818.

- Koçak, M., Theodosi, C., Zampas, P., Im, U., Bougiatioti, A., Yenigun, O., Mihalopoulos, N., 2011, Particulate matter (PM₁₀) in Istanbul: Origin, source areas and potential impact on surrounding regions. *Atmospheric environment*, 45, 6891-6900.
- Kumar, P., Jain, S., Gurjar, B.R., Sharma, P., Khare, M., Morawska, L., Britter, R., 2013, Can a “blue sky” return to Indian megacities?, *Atmospheric environment*, 71, 198-201.
- LaVoie, E., Beenko, V., Hirota, N., Hecht, S.S., Hömann, D.A., 1979, A comparison of the mutagenicity, tumor-initiating activity and complete carcinogenicity of polynuclear aromatic hydrocarbons, *Polynuclear Aromatic Hydrocarbons: Chemistry and Biology, Carcinogenesis and Mutagenesis*, Battelle Press, Columbus, Ohio.
- Lavorivska, L., Boyer, E.W., DeWalle, D.R., 2016, Atmospheric deposition of organic carbon in precipitation. *Atmospheric Environment*, 148, 153-163.
- Lazaridis, M., Semb, A., Larssen, S., Hjellbrekke, A., Hov, O., Hanssen, J., Schaug, J., Torseth, K., 2002, Measurements of particulate matter within the framework of the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). I. First results. *Science of the total environment*, 285, 209-235.
- Lee, Y.L., Sequeira, R., 2002, Water-soluble aerosol and visibility degradation in Hong Kong during autumn and early winter, 1998, *Environmental pollution*, 116 (2), 225-233.
- Lelieveld, J., Barlas, C., Giannadaki, D., Pozzer, A., 2013, Model calculated global, regional and megacity premature mortality due to air pollution, *Atmospheric chemistry and physics*, 13, 7023-7037.
- Li, G., Zhang, R., Fan, J., Tie, X., 2005, Impacts of black carbon aerosol on photolysis and ozone, *Journal of geophysical research*, 110 (D23206), 1-10.
- Li, Y., Huang, H.X.H., Griffith, S.M., Wu, C., Lau, A.K.H., Yu, J.Z., 2017, Quantifying the relationship between visibility degradation and PM_{2.5} constituents at a suburban site in Hong Kong: Differentiating contributions from hydrophilic and hydrophobic organic compounds, *Science of the total environment*, 575, 1571-1581.
- Li, Y.J., Sun, Y., Zhang, Q., Li, X., Li, M., Zhou, Z., Chan, C.K., 2017, Real-time chemical characterization of atmospheric particulate matter in China: a review. *Atmospheric environment*, 158 (Suppl. C), 270-304.
- Lidsky, T.I., Schneider, J.S., 2003, Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates, *Brain*, 126 (Pt 1), 5-19.
- Lidsky, T.I., Schneider, J.S., 2006, Adverse effects of childhood lead poisoning: The clinical neuropsychological perspective. *Environmental research*, 100, 284-293.
- Ligocki, M.P., Salmon, L.G., Fall, T., Jones, M.C., Nazaroff, W.W., Cass, G.R., 1993, Characteristics of airborne particles inside southern California museums, *Atmospheric environment*, 27A, 697-711.

- Lin, J.L., Tai, H.S., 2001, Concentrations and distributions of carbonaceous species in ambient particles in Kaohsiung City, Taiwan, *Atmospheric environment*, 35, 2627-2636.
- Liousse, C., Penner, J.E., Chuang, C., Walton, J.J., Eddleman, H., Cachier, H., 1996, A global three-dimensional model study of carbonaceous aerosols, *Journal of geophysical research*, 101, 19411-19432.
- Lippmann, M., 1989, Health effects of ozone. A critical review. *JAPCA*, 39 (5), 672-695.
- Lonati, G., Giugliano, M. Cernuschi, S., 2006, The role of traffic emissions from weekends' and weekdays' fine PM data in Milan. *Atmospheric environment*, 40 (31), 5998-6011.
- Lopez, M.T., Zuk, M., Garibay, V., Tzintzun, G., Iniestra, R., Ferna'ndez, A., 2005, Health Impacts from Power Plant Emissions in Mexico, *Atmospheric environment*, 39, 1199-1209.
- Lovett, G.M., Tear, T.H., Evers, D.C., Findlay, S.E., Cosby, B.J., Dunscomb, J.K., Driscoll, C.T., Weathers, K.C., 2009, Effects of air pollution on ecosystems and biological diversity in the eastern United States, *Annals of the New York academy of sciences*, 1162, 99-135.
- Malm, W.C., Day, D.E., 2000, Optical properties of aerosols at grand canyon national park, *Atmospheric environment*, 34, 3373-3391.
- Masiol, M., Hofer, A., Squizzato, S., Piazza, R., Rampazzo, G., Pavoni, B., 2012, Carcinogenic and mutagenic risk associated to airborne particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons: a source apportionment, *Atmospheric environment*, 60, 375-382.
- Masters, G.M., 1991. *Introduction to environmental and science*, Prentice Hall International Editions, BF.
- Mauderly, J.L., 1994, Toxicological and epidemiological evidence for health risks from inhaled engine emissions, *Environmental health perspectives*, 102, 165-171.
- Medparticle, 2013, Particles size and composition in Mediterranean countries: geographical variability and short-term health effects project.
- Mellouki, A., George, C., Chai, F., Mu, Y., Chen, J., Li, H., 2016, Sources, chemistry, impacts and regulations of complex air pollution: preface, *Journal of environmental sciences*, 40, 1-2.
- Miller, J.M., 1987, The Use of Back Air Trajectories in Interpreting Atmospheric Chemistry Data: A Review and Bibliography. In: Miller JM (ed), *NOAA Technical Memorandum ERL ARL-155*, June 1987, Air Resources Laboratory Maryland U.S.A., 14-28.
- Moffet, R.C., Desyaterik, Y., Hopkins, R.J., Tivanski, A.V., Gilles, M.K., Wang, Y., Shutthanandan, V., Molina, L.T., Abraham, R.G., Johnson, K.S., Mugica, V., Molina, M.J., Laskin, A., Prather, K.A., 2008, Characterization of aerosols containing zn, pb, and cl from an industrial region of mexico city, *Environmental science & technology*, 42 (19), 7091-7097.

- Munzur, B., 2008, *Ege bölgesinde toplanan atmosferik partiküler maddenin kimyasal kompozisyonunun belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Müezzinoğlu, A., 2005, *Hava kirliliği ve kontrolü esasları*, Dokuz Eylül Yayınları, İzmir.
- Myhre, G., Shindell, D., Brèon, F.M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., Zhang, H., 2014, Anthropogenic and natural radiative forcing. Supplementary material In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Na, K., Sawant, A.A., Song, C., Cocker III, D.R., 2004, Primary and secondary carbonaceous species in the atmosphere of Western Riverside County, California, *Atmospheric environment*, 38, 1345-1355.
- Nikolaou, K., Basbas, S., Toskas, G., 2002, Air pollutant emissions and concentrations based on urban traffic modelling, *Fresenius environmental bulletin*, 11, 494-498.
- Novakov, T., Menon, S., Kirchstetter, T.W., Koch, D., Hansen, J.E., 2005, Aerosol organic carbon to black carbon ratios: analysis of published data and implications for climate forcing, *Journal of geophysical research*, 110 (D21205), 1-12.
- Novakov, T., Hegg D.A., Hobbs, P.V., 1997, Airborne measurements of carbonaceous aerosols on the East Coast of the United States, *Journal of geophysical research*, 102 (D25), 30023-30030.
- Novakov, T., Penner, J.E., 1993, Large contribution of organic aerosols to cloud condensation-nuclei concentrations, *Nature*, 365, 823-826.
- NPS (Natural Park Service), 2018, <https://www.nps.gov/subjects/air/sources.htm>, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- Nunes, T.V., Pio, C.A., 1993, Carbonaceous aerosols in industrial and coastal atmospheres, *Atmospheric environment*, 27A, 1339-1346.
- O'Brien, D.M., Mitchel, R.M., 2003, Atmospheric heating due to carbonaceous aerosol in Northern Australia-confidence limits based on TOMS aerosol index and sun-photometer data, *Atmospheric research*, 66, 21-41.
- Odum, J.R., Jungkamp, T.P.W., Griffin, R.J., Flagan, R.C., Seinfeld, J.H., 1997, The atmospheric aerosol-forming potential of whole gasoline vapor, *Science*, 276 (5309), 96-99.
- Oğuz, H., Ögüt, H., Eryılmaz, T., 2008, Biyoyakıtların hava kalitesine etkisinin incelenmesi, *Ulusal hava kalitesi sempozyumu*, Konya Büyükşehir Belediyesi, 30-31 Mayıs 2008 Konya, 331-343.

- Oka, G.A., Thomas, L., Lavkulich, L.M., 2014, Soil assessment for urban agriculture: a vancouver case study, *Journal of soil science and plant nutrition*, 4 (3), 657-669.
- Orasche, J., 2013, *Emissions from wood combustion – Formation of particle bound organic wood smoke compounds, the potential for formation of secondary organic aerosol and tracing in the atmosphere*, Kumulative Dissertation, Rostock, Deutschland, Universität Rostock.
- Özdemir, H., 2006, *İstanbul atmosferindeki troposferik ozon konsantrasyonunun yapay sınır ağ teknikleri ile modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, H., Pozzoli, L., Kindap, T., Demir, G., Mertoglu, B., Mihalopoulos, N., Theodosi, C., Kanakidou, M., İm, U., Ünal, A., 2014, Spatial and temporal analysis of black carbon aerosols in Istanbul megacity, *Science of the total environment*, 473, 451-458.
- Öztürk, F., Keleş, M., 2016, Wintertime chemical compositions of coarse and fine fractions of particulate matter in bolu, *Environmental science and pollution research*, 23, 14157-14172.
- Öztürk, M., 2007, *Partikül madde kirliliğinin insan sağlığı üzerinde etkisi*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Öztürk, M., 2011, *Hava kirliliği ve etkileri*, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Park, S.S., Cho, S.S., Kim, K.-W, Lee, K.-H, Jung, K., 2012, Investigation of organic aerosol sources using fractionated water-soluble organic carbon measured at an urban site, *Atmospheric environment*, 55, 64-72.
- Peng, R.D., Bell, M.L., Geyh, A.S., McDermott, A., Zeger, S.L., Samet, J.M., Dominici, F., 2009, Emergency admissions for cardiovascular and respiratory diseases and the chemical composition of fine particle air pollution, *Environmental health perspectives*, 117, 957-963.
- Penner, J.E., Chuang, C.C., Grant, K., 1998, Climate forcing by carbonaceous and sulfate aerosols, *Climate dynamics*, 14, 839-851.
- Peterson, M. R. and Richards, M.H., 2002, Thermal-optical-transmittance analysis for organic, elemental, carbonate, total carbon, and OCX2 in PM_{2.5} by the EPA/NIOSH method, *Air quality measurement methods and technology*, 13-15 November 2002 San Francisco, USA, Pittsburgh, PA.
- Pitts, J.N., 1983, Formation and fate of gaseous and paraticulate mutagens and carcinogens in real and simulated atmospheres, *Environmental health perspectives*, 47, 115-140.
- Plaza, J., Artíñano, B., Salvador, P., Gómez-Moreno, F.J., Pujadas, M., Pio J.A., 2011, Short-term secondary organic carbon estimations with a modified OC/EC primary ratio method at a suburban site in Madrid (Spain), *Atmospheric environment*, 45, 2496-2506.

- Pope, C.A., Thun, M., Namboodiri, M., Dockery, D., Evans, J., Speizer, F., Heath, C., 1995, Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American journal respiratory critical care medicine*, 151, 669-674.
- Putaud, J-P., Raes, F., Van Dingenen, R., Brüeggemann, E. Facchini, M.C., Decesari, S., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hueglin, C., Laj, P., Lorbeer, G., Maenhaut, W., Mihalopoulos, N., Mueller, K., Querol, X., Rodriguez, S., Schneider, J., Spindler, G., ten Brink, H., Tørseth, K., and Wiedensohler, A.A., 2004, European aerosol phenomenology-2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban rural and background sites in Europe, *Atmospheric environment*, 38, 2579-2595.
- Ram, K., Sarin, M.M., 2010, Spatio-temporal variability in atmospheric abundances of EC, OC and WSOC over Northern India. *Journal of aerosol science*, 41, 88-98.
- Rao, M.N., Rao, H.V.N., 1989, *Air pollution*, Tata McGraw, HILL.
- Rattigan, O.V., Dirk Felton, H., Bae, M.-S., Schwab, J.J., Demerjian, K.L., 2010, Multi-year hourly PM_{2.5} carbon measurements in New York: Diurnal, day of week and seasonal patterns. *Atmospheric environment*, 44 (16), 2043-2053.
- Ren-Jian, Z., Kin-Fai, H., Zhen-Xing, S., 2012, The role of aerosol in climate change, the environment, and human health, *Atmospheric and oceanic science letters*, 5 (2), 156-161.
- Rissler, J., Swietlicki, E., Bengtsson, A., Boman, C., Pagels, J., Sandstrom, T., Blomberg, A., Londahl, J., 2012, Experimental determination of deposition of diesel exhaust particles in the human respiratory tract, *Journal of aerosol science*, 48, 18-33.
- Robinson, A.L., Donahue, N.M., Shrivastava, M., Weitkamp, E.A., Sage, A.M., Grieshop, A.P., Lane, T.E., Pierce, J.R., Pandis, S.N., 2007, Rethinking organic aerosol: Semivolatile emissions and photochemical aging, *Science*, 315, 1259-1262.
- Robinson, D.L., 2005, Air pollution in Australia: Review of costs, sources and potential solutions, *Health promotion journal of Australia*, 16, 213-220.
- Rogge, W.F., Mazurek, M.A., Hildemann, L.M., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1993, Quantification of urban organic aerosols at molecular level: identification, abundance and seasonal variation, *Atmospheric environment*, 27A, 1309-1330.
- Roth, D., Hubmann, N., Havel, C., Henkner, H., Schreiber, W., Laggner, A., 2011, Victim of carbon monoxide poisoning identified by carbon monoxide oximetry, *Journal of emergency medicine*, 40 (6), 640-642.
- Saarikoski, S., Timonen, H., Saarnio, K., Aurela, M., Järvi, L., Keronen, P., Kerminen, V.-M., Hillamo, R., 2008, Sources of organic carbon in fine particulate matter in northern European urban air, *Atmospheric chemistry and physics*, 8, 6281-6295.
- Saraç, H.T.K., 2015, *Türkiye'deki partikül madde verilerinin değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Schauer, J.J., 2003, Evaluation of elemental carbon as a marker for diesel particulate matter, *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 13 (6), 443-453.
- Schauer, J.J., Mader, B.T., DeMinter, J.T., Heidemann, G., Bae, M.S., Seinfeld, J.H., Flagan, R.C., Cary, R.A., Smith, D., Huebert, B.J., Bertram, T., Howell, S., Kline, J.T., Quinn, P., Bates, T., Turpin, B., Lim, H.J., Yu, J.Z., Yang, H., Keywood, M.D., 2003, ACE-Asia intercomparison of a thermal-optical method for the determination of particle-phase organic and elemental carbon, *Environmental science & technology*, 37 (5), 993-1001.
- Schleicher, N., Cen, K., Norra, S., 2013, Daily variations of black carbon and element concentrations of atmospheric particles in the Beijing megacity—Part 1: General temporal course and source identification. *Chemie der erde - geochemistry*, 73 (1), 51-60.
- Schmid, H., Laskus, L., Abraham H.J., Baltensperger, U., Lavanchy, V., Bizjak, M., Burba, P., Cachier, H., Crow, D., Chow, J., Gnauk T., Even, A., ten Brink, H.M., Giesen K.P., Hitzenberger, R., Hueglin C., Maenhaut, W., Pio, C.,Carvalho, A., Putaud, J.P., Toom-Sauntry, J., Puxbaum, H., 2001, Results of the “carbon conference” international aerosol carbon round robin test stage I. *Atmospheric environment*, 35 (12), 2111-2121.
- Schneider, S.H., 1989, The greenhouse effect: science and policy, *Science*, 243, 771-781.
- Schuetzle, D., 1983, Sampling of vehicle emissions for chemical analysis and biological testing, *Environmental health perspectives*, 47, 65-80.
- Seaton, A., MacNee, W., Donaldson, K., Godden, D., 1995, Particulate air pollution and acute health effects, *Lancet*, 345(8943), 176-178.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 2006, *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, Wiley, N.Y., ISBN: 978-0-471-72018-8.
- Sequeira, R., Lai, K.H., 1998, The effect of meteorological parameters and aerosol constituents on visibility in urban Hong Kong. *Atmospheric environment*, 32 (16), 2865-2871.
- Singh, A., Rastogi, N., Sharma, D., Singh, D., 2015, Inter and intra-annual variability in aerosol characteristics over Northwestern Indo-Gangetic plain, *Aerosol and air quality research*, 15, 376-386.
- Sjodin, A., Lenner, M., 1995, On-road measurements of single vehicle pollutant emissions, speed and acceleration for large fleets of vehicles in different traffic environments, *Science of the total environment*, 169, 157-165.
- Sjodin, A., Loman, G., Omstedt, G., 1994, Long-term continuous measurements of air pollutant concentrations, meteorology and traffic on a rural motorway and a model validation, *Science of the total environment*, 147, 365-375.
- Slezakova, K., Castro, D., Begonha, A., Delerue-Matos, C., Alvim-Ferraz, M.D., Morais, S., Pereira, M.D., 2011, Air pollution from traffic emissions in Oporto, Portugal: health and environmental implications, *Microchemical journal*, 99, 51-59.

- Souza, D.Z., Vasconcellos, P.C., Lee, H., Aurela, M., Saarnio, K., Teinilä, K., Hillamo, R., 2014, Composition of PM_{2.5} and PM₁₀ collected at urban sites in Brazil. *Aerosol and air quality research*, 14, 168-176.
- State of Global Air, 2017, *A Special Report On Global Exposure to Air Pollution And Its Disease Burden Report*, The State of Global Air is a collaboration between the Institute for Health Metrics and Evaluation's Global Burden of Disease Project and the Health Effects Institute.
- State of Global Air, 2018, *A Special Report On Global Exposure to Air Pollution And Its Disease Burden Report*, The State of Global Air is a collaboration between the Institute for Health Metrics and Evaluation's Global Burden of Disease Project and the Health Effects Institute.
- Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., Ngan, F., 2015, NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bulletin of the american meteorological society*, 96, 2059-2077.
- Stohl, A., Wottawa, G., Seibert, P., Krompkolb, H., 1995, Interpolation errors in wind fields as a function of spatial and temporal resolution and their impact on different types of kinematic trajectories, *Journal of applied meteorology*, 34, 2149-2165.
- Stone, E.A., Hedman, C.J., Zhou, J., Mieritz, M., Schauer, J.J., 2010, Insights into the nature of secondary organic aerosol in Mexico City during the MILAGRO experiment 2006, *Atmospheric environment*, 44, 312-319.
- Stoner, A.M., Anderson, S.E., Buckley, T.J., 2013, Ambient air toxics and asthma prevalence among a representative sample of US kindergarten-age children, *Plos one*, 8(9), 1-14.
- Suglia, S. F., Gryparis A., Wright, R.O., Schwartz, J., Wright, R.J., 2008, Association of black carbon with cognition among children in a prospective birth cohort study, *American journal of epidemiology*, 167 (3), 280-286.
- Suglia, S. F., Gryparis, A., Schwartz, J., Wright, R.J., 2008, Association between Traffic-Related Black Carbon Exposure and Lung Function among Urban Women, *Environmental health perspectives*, 116 (10), 1333-1337.
- Sungur, K., 1974-1977, *Klimatik Açıdan Türkiye'de Hava Kirlenmesi Sorunu*, İst. Üniv. Coğr.
- Sunset Laboratory Inc., 2013, Organic Carbon/Elemental Carbon (OCEC) Laboratory Instrument Manual, USA.
- Şahin, C., 1987, Hava kirliliği ve hava kirliliğini etkileyen doğal çevre faktörleri, *Atatürk kültür dil ve tarih yüksek kurumu coğrafya bilim ve uygulama kolu coğrafya araştırma dergisi*, Cilt 1, Sayı:1, 25-45.
- Şahin, C., Sipahioğlu, Ş., 2002, *Doğal afetler ve Türkiye*, Gündüz Eğitim ve Yayıncılık, Ankara.

- Şahin, Ü., 2005, *İstanbul ili PM ve THC dağılımının yapay sinir ağ teknikleri ile modellenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şen, O., 1996, The effect of aircraft engine exhaust gases on the environment, *Bulletion of the technical university of Istanbul*, 49, 593-605.
- Tam, W.W., Wong, T.W., Wong, A.H., Hui, D.S., 2012, Effect of dust storm events on daily emergency admissions for respiratory diseases, *Respirology*, 17, 143-148.
- Tang I.N., 1996, Chemical and size effects of hygroscopic aerosols on light scattering coefficients, *Journal of geophysical research*, 101 (D14), 19245-19250.
- Tao, J., Zhang, L., Ho, K., 2014, Impact of PM_{2.5} chemical compositions on aerosol light scattering in Guangzhou-the largest megacity in South China, *Atmospheric research*, 135, 48-58.
- Tegen, I., Hollrig, P., Chin, M., Fung, I., Jacob, D., Penner, J., 1997, Contribution of different aerosol species to the global aerosol extinction optical thickness: estimates from model results, *Journal of geophysical research*, 102, 23895-23915.
- Tervahattu, H., Kupiainen, K.J., Raisanen, M., Makela, T., Hillamo, R., 2006, Generation of urban road dust from anti-skid and asphalt concrete aggregates, *Journal of hazardous materials*, 132, 39-46.
- Theodosi, C., Im, U., Bougiatuoti, A., Zarmpas, P., Yenigun, O., Mihalopoulos, N., 2010, Aerosol chemical composition over Istanbul, *Science of the total environment*, 408, 2482-2491.
- Thorpe, A.J., Harrison, R.M., Boulter, P.G., McCrae, I.S., 2007, Estimation of particle resuspension source strength on a major London road, *Atmospheric environment*, 41, 8007-8020.
- Tiwari, S., Srivastava, A.K., Bisht, D.S., 2013, Assessment of carbonaceous aerosol over Delhi in the Indo-Gangetic basin: characterization, sources and temporal variability, *Natural hazards*, 65 (3), 1745-1764.
- Toros, H., 2000, *İstanbul'da Asit Yağışları, Kaynakları ve Etkileri*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Torres, A., Bond, T.C., Lehmann, C.M.B., Subramanian, R., Hadley, O.L., 2014, Measuring organic carbon and black carbon in rainwater : evaluation of methods, *Aerosol science and technology*, 48 (3), 239-250.
- Tsai, D.H., Wang, J.L., Chuang, K.J., Chan, C.C., 2010, Traffic-related air pollution and cardiovascular mortality in central Taiwan, *Science of the total environment*, 408 (8), 1818-1823.
- TUIK, 2017, Türkiye İstatik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr>, [Ziyaret Tarihi:11 Mayıs 2018].

- Tünay, O., ve Alp, K., 1996, *Hava Kirlenmesi Kontrolü*, İstanbul Ticaret Odası, Yayın no: 1996-36, İstanbul.
- Türkeş, M., 2011, İklim Değişikliğinin Fiziksel Bilim Temeli: Fiziksel İklim Sistemi, Kuvvetlenen Sera Etkisi, Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişimleri, In *5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book*, 27-29 Nisan 2011 İstanbul, 135-151.
- Türkiye Çevre Atlası, 2004, T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 1997, 40 CFR Part 50 National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule, *Federal register*, 38651-38760.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 1998, *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems*, Volume II: Part 1, Section No:10, 1-5.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 1999, *Particulate Matter (PM_{2.5}) Speciation Guidance: Final Draft (Edition 1)*. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 2005a, *Thesaurus of terms used in microbial risk assessment*. Prepared for the Office of Water by ICF Consulting, Inc. under Contract No. 68-C-02-009.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 2005a, *The original list of hazardous air pollutants*. <http://www.epa.gov/ttn/atw/pollsour.html>, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 2008, *Air quality index: a guide to air quality and your health*. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 2010a, Fine Particle (PM_{2.5}) Designations–Basic Information, <http://www.epa.gov/pmdesignations/basicinfo.htm>, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 2012, Klamath Falls Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) attainment plan, Oregon Department of Environmental Quality.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 2012, Report to Congress on Black Carbon, U.S. EPA Report EPA-450/R-12-001. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 2012a, Revised air quality standards for particle pollution and updates to the air quality index (AQI). Retrieved from www.epa.gov/airquality/particlepollution/2012/decfsstandards.pdf, [Ziyaret Tarihi:11 Mayıs 2018].

- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 2013, https://www3.epa.gov/airnow/teachers/rb_particle_activity.pdf, [Ziyaret Tarihi:11 Mayıs 2018].
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency), 2016a, 2014 National Emissions Inventory: state and county PM_{2.5} emission summaries for Utah. Available online at: www3.epa.gov/cgi-bin/broker?_service=data&_debug=0&_program=dataprog.state_1. Sas &pol=PM25_PRI&stfips=49, [Ziyaret Tarihi:11 Mayıs 2018].
- UNEP/WMO, 2011, Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers. United Nations Environment Programme/World Meteorological Organization. http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/BlackCarbon_SDM.pdf, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- UN-HABITAT (United Nations Human Settlements Programme), 2006, State of the World's Cities 2006/7. Earthscan, London.
- Ünal, Y.S., Deniz, A., Toros, H., İncecik, S., 2011, Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM₁₀ concentrations in Istanbul metropolitan area, *Atmospheric environment*, 45, 5504-5513.
- Ünal, Y.S., Incecik, S., Borhan, Y., Menten, S., 2000, Factors influencing the variability of SO₂ concentrations in Istanbul, *Journal of the air and waste management association*, 50, 75-84.
- Valavanidis, A., Vlachogianni, T., Fiotakis, K., Loridas, S., 2013, Pulmonary oxidative stress, inflammation and cancer: Respirable particulate matter, fibrous dusts and ozone as major causes of lung carcinogenesis through reactive oxygen species mechanisms, *International journal of environmental research and public health*, 10, 3886-3907.
- Veras, M.M., Caldini, E.G., Dolhnikoff, M., Saldiva, P.H., 2010, Air pollution and effects on reproductive-system functions globally with particular emphasis on the Brazilian population, *Journal of toxicology and environmental health. part b, critical reviews*, 13, 1-15.
- Viana, M., Maenhaut, W., ten Brink, H.M., Chi, X., Weijers, E., Querol, X., Alastuey, A., Mikuska, P., Vecera, Z., 2007, Comparative analysis of organic and elemental carbon concentrations in carbonaceous aerosols in three European cities, *Atmospheric environment*, 41, 5972-5983.
- Wang, H., 2014, *Air pollution and pollutants*, 1. Edition, Carey Avenue, USA, ISBN: 978-1-941249-02-4.
- Wang, H., Shooter, D., 2005, Source apportionment of fine and coarse atmospheric particles in Auckland, New Zealand, *Science of the total environment*, 340 (13), 189-198.
- Wang, L.L., Xin, J.Y., Li, X.R., Wang, Y.S., 2015, The variability of biomass burning and its influence on regional aerosol properties during the wheat harvest season in North China, *Atmospheric research*, 157, 153-163.

- Watson, J.G., Chow, J.C., Chen, L.W.A., 2005, Summary of organic and elemental carbon/black carbon analysis methods and intercomparisons, *Aerosol and air quality research*, 5, 69-102.
- Weisel, C.P., 2002, Assessing exposure to air toxics relative to asthma. *Environmental health perspectives*, 110(Suppl 4), 527-537.
- WHO (World Health Organization), 2000, *Air Quality Guidelines for Europe*, 2nd ed., Regulation Publications European Series, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO (World Health Organization), 2002, *World health report: 2002: Reducing risks, promoting healthy life*, Geneva, World Health Organization.
- WHO (World Health Organization), 2003, Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany, 13-15 January 2003. <http://www.euro.who.int/document/e79097.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- WHO (World Health Organization), 2005, *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*, Global update 2005, Summary of risk assessment.
- WHO (World Health Organization), 2013a, *Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP Project*, World Health Organisation, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO (World Health Organization), 2016, Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease, *World health organization*, 1-131.
- Wichman, F., Müller, A., Busi, L.E., Cianni, N., Massolo, L., Schlink, U., Porta, A., Sly, P.D., 2007, Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution, *Journal of allergy and clinical immunology*, 123 (3), 632-638.
- Willers, S.M., Eriksson, C., Gidhagen, L., Nilsson, M.E., Pershagen, G., Bellander, T., 2009, Traffic related air pollution and respiratory health in Sweden: the roadside study, *Epidemiology*, 20, 29-30.
- Wilson, W.E., Chow, J.C., Claiborn, C., Fusheng, W., Engelbrecht, J., Warson, J.G., 2002, Monitoring of particulate matter outdoors, *Chemosphere*, 49, 1009-1043.
- Wilson, W.E., Suh, H.H., 1997, Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies, *Journal of the air & waste management association*, 47, 1238-1249.
- Wyzga, E.R., 2002. Air pollution and health; are particulates the answer?, *Proceedings of the NETL Conference on PM_{2.5} and Electric Power Generation: Recent Findings and Implications*, 9-10 April 2002 Pittsburgh, PA.
- Xie, S.D., Zhang, Y.H., Li, Q., Tang, X.Y., 2003, Spatial distribution of traffic-related pollutant concentrations in street canyons, *Atmospheric environment*, 37, 3213-3224.

- Yeşilyurt, C., ve Akçan, N., 2001, *Hava kalitesi izleme metodolojileri ve örneklem kriterleri*, http://www.rshm.saglik.gov.tr/hki/pdf/hava_metod.pdf, [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2018].
- Young, C.J., Washenfelder, R.A., Edwards, P.M., Parrish, D.D., Gilman, J.B., Kuster, W.C., Mielke, L.H., Osthoff, H.D., Tsai, C., Pikelnaya, O., Stutz, J., Veres, P.R., Roberts, J.M., Griffith, S., Dusanter, S., Stevens, P.S., Flynn J., Grossberg, N., Lefer, B., Holloway, J.S., Peischl, J., Ryerson, T.B., Atlas, E.L., Blake, D.R., Brown, S.S., 2014, Chlorine as a primary radical: evaluation of methods to understand its role in initiation of oxidative cycles, *Atmospheric chemistry and physics*, 14, 3427-3440.
- Yu, H., Kaufman, Y.J., Chin, M., Feingold, G., Remer, L.A., Anderson, T.L., Balkanski, Y., Bellouin, N., Boucher, O., Christopher, S., DeCola, P., Kahn, R., Koch, D., Loeb, N., Reddy, M.S., Schulz, M., Takemura, T., Zhou, M., 2006, A review of measurement-based assessments of the aerosol direct radiative effect and forcing, *Atmospheric chemistry and physics*, 6, 613-666.
- Zeng, G., Sun, B., Zhong, N., 2012, Non-smoking-related chronic obstructive pulmonary disease: A neglected entity?, *Respirology*, 17, 908-912.
- Zhang, F.W., Zhao, J.P., Chen, J.S., Xu, Y., Xu, L.L., 2011, Pollution characteristics of organic and elemental carbon in PM_{2.5} in Xiamen, China, *Journal of environmental sciences*, 23 (8), 1342-1349.
- Zhang, Y.H., Wang, D.F., Zhao, Q.B., Cui, H.X., Li, J., Duan, Y.S., Fu, Q.Y., 2014, Characteristics and sources of organic carbon and elemental carbon in PM_{2.5} in Shanghai urban area, *Environmental science*, 35 (9), 3263-3270.
- Zhao, P., Dong, F., Yang, Y., 2013, Characteristics of carbonaceous aerosol in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China, *Atmospheric environment*, 71, 389-398.
- Zhou, S., Wang, T., Wang, Z., 2014. Photo chemical evolution of organic aerosols observed in urban plumes from Hong Kong and the Pearl River Delta of China. *Atmospheric environment*, 88, 219-229.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Muhammet Ali Aktaş
Doğum Yeri	Yozga
Doğum Tarihi	21.07.1992
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	m_ali_aktas@hotmail.com
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Fatih Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	01.07.2014

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği Programı