T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA KENTSEL HAVA KALİTESİNİN İKİ FARKLI İSTASYONDA EŞ ZAMANLI YAPILAN ÖLÇÜMLER İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEKİR TAŞPINAR

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. FATMA ÖZTÜRK

BOLU, TEMMUZ - 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Bekir TAŞPINAR tarafından hazırlanan "**ANKARA KENTSEL HAVA KALİTESİNİN İKİ FARKLI İSTASYONDA EŞ ZAMANLI YAPILAN ÖLÇÜMLER İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**" adlı tez çalışması jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir. 19/07/2024

Jüri Üyeleri	**İmza**
Danışman Prof. Dr. Fatma ÖZTÜRK Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi	.....
Üye Prof. Dr. Sema YURDAKUL Süleyman Demirel Üniversitesi	.....
Üye Dr. Öğr. Üyesi Ebru KOÇAK Aksaray Üniversitesi	.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir,

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

……..

BEKİR TAŞPINAR

ÖZET

ANKARA KENTSEL HAVA KALİTESİNİN İKİ FARKLI İSTASYONDA EŞ ZAMANLI YAPILAN ÖLÇÜMLER İLE DEĞERLENDİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BEKİR TAŞPINAR
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. FATMA ÖZTÜRK)
BOLU, TEMMUZ - 2024
XV + 144

Bu çalışma, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Ankara Siteler ve Sıhhiye'de işletilen hava kalitesi izleme istasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, bu istasyonlardan 2021 yılı için elde edilen gerçek zamanlı gaz ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca bu istasyonlarda kış ve yaz döneminde Thermo marka dikot örnekleyici ile toplanan $PM_{2.5}$ ve $PM_{10-2.5}$ örneklerinin kimyasal kompozisyonları elementel karbon, organik karbon, iyonlar ve elementler açısından analiz edilmiştir. Her iki istasyonda NO_2 ve NO_x ortalama değerlerinin ülkemizde geçerli olan hava kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliğinde verilen limit değerleri aştığı bulunmuştur. Siteler'de belirlenen CO ve SO_2 değerlerinin Sıhhiye'de ölçülen ortalama değerlerin üstünde olduğu belirlenirken, Sıhhiye'de ölçülen ortalama NO_x konsantrasyonunun Siteler'de belirlenen değerden yüksek olduğu bulunmuştur. Siteler istasyonunda ince PM fraksiyonunda belirlenen OC, EC, TC, NH_4^+, K^+, Ca^{2+} ve Cl^- değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Kirletici kaynakları hakkında kabaca bilgi edinmek amacıyla Siteler istasyonunda üretilen element verisi için zenginleştirme faktörü hesaplanmıştır. Cu, Ni, As, Hg, Cr, Pb, Mo, Se, Cd, Sb ve Ag elementleri için hesaplanan zenginleştirme faktörü değerinin >10 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç, söz konusu bu elementlerin Siteler istasyonunda topraktan farklı kaynaklardan atmosfere salındığını göstermektedir. Her iki istasyonda toplanan PM örneklerinin kimyasal kompozisyonunu etkileyen kirletici kaynaklarını belirlemek amacıyla üretilen veri setine faktör analizi uygulanmıştır. Siteler istasyonunda toplanan PM örneklerinin kimyasal kompozisyonunu etkileyen sekiz farklı kirletici kaynağın (sanayi, kömür yanması, ikincil inorganik aerosol, yol tozu, metal işleme, biyo-kütle yanması, metal sanayi ve başka bir yanma kaynağı) olduğu saptanırken Sıhhiye istasyonunu etkileyen kaynakların yol tozu, bölgesel kirlilik, trafik ve biyo-kütle yakılması emisyonu olduğu bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Ankara, İyonlar, Elementler, EC/OC, Faktör Analizi

ABSTRACT

ASSESSMENT OF ANKARA URBAN AIR QUALITY BY CONCURRENT MEASUREMENTS AT TWO DIFFERENT STATIONS
MSC THESIS
BEKİR TAŞPINAR
BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. FATMA ÖZTÜRK)
BOLU, JULY 2024
XV + 144

This study was conducted at the two air quality monitoring stations operated by the Turkish Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change in Ankara, Türkiye. The real time data for gaseous pollutants at these stations in 2021 was evaluated. In addition, Thermo Dichotomous sampler was used to collect daily fine ($PM_{2.5}$) and coarse ($PM_{10-2.5}$) PM at these stations during winter and summer of 2021. Average levels of both NO_2 and NO_x at both stations exceeded the limit values in the regulation. Once Siteler and Sıhhiye stations were compared in terms of gaseous parameters, it has been found that NO_x levels at Sıhhiye station is higher than one measured for Siteler station. In contrast to this, SO_2 and CO levels measured at Siteler station exceeded the levels reported for Sıhhiye station. The $PM_{2.5}$ data for Siteler station revealed that OC, EC, TC, NH_4^+, K^+, Ca^{2+} and Cl^- levels were significantly higher than ones found for the Sıhhiye station. The soil enrichment factor was estimated using PM element data for Siteler station. The calculated enrichment factor values were >10 for Cu, Ni, As, Hg, Cr, Pb, Mo, Se, Cd, Sb and Ag, implying that these elements have sources other than soil. Factor analyses was applied to PM chemical composition data at both stations. While eight factors (industry, coal combustion, secondary inorganic aerosol, road dust, metal processing, biomass combustion, another metal industry, and another combustion source) were resolved for Siteler station, four factors including road dust, regional pollution, traffic and biomass combustions were identified for the Sıhhiye station.

KEYWORDS: Ankara, Ions, Elements, EC/OC, Factor Analysis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI ..... **iii**
ETİK BEYAN ..... **iv**
ÖZET ..... **v**
ABSTRACT ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xii**
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ ..... **xiv**
TEŞEKKÜR ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Motivasyonu 8
1.2 Çalışmanın Amacı 8
1.3 Çalışmanın Kapsamı 9
2. LİTERATÜR ÖZETİ **10**
2.1.1 Partiküllerin Boyut Dağılımı 10
2.1.2 Partikül Maddenin Kaynakları 11
2.1.3 Partikül Maddenin Çevre ve İnsan Sağlığına Etkileri 12
2.1.4 Meteorolojik Faktörlerin Partikül Madde Üzerine Etkileri 14
2.1.5 Partikül Maddenin İklim Üzerine Etkileri 15
2.2 Atmosferdeki Gaz Fazlı Kirleticiler 16
2.3 Literatürdeki Diğer Çalışmalar 18
3. MATERYAL VE YÖNTEM **33**
3.1 Örnekleme 33
3.1.1 Örnekleme Alanı 33
3.1.2 Partikül Madde Örnekleyicisi 36
3.1.3 Örneklerin Toplanması 37
3.2 Toplanan Örneklerin Analizi 38
3.2.1 Gravimetrik Analiz 38
3.2.2 Ana İyonların IC ile Analizi 38
3.2.3 Eser Elementlerin ICP-MS ile Analizi 46
3.2.4 Elementel ve Organik Karbon Analizi 46
3.2.5 Kalite Güvence ve Kontrol 50
3.3 Ankara İlinin Meteorolojik Özellikleri 51
3.4 Kaynak Belirleme Çalışmaları 54
3.4.1 Zenginleştirme Faktörü 54
3.4.2 Faktör Analizi 56
3.4.3 İstatistiksel Analizler 57
4. BULGULAR VE TARTIŞMA **58**

4.1 Gerçek Zamanlı Ölçüm Sonuçları 58
4.1.1 Siteler İstasyonu Gerçek Zamanlı Ölçüm Sonuçları 58
4.1.2 Sıhhiye İstasyonu Gerçek Zamanlı Ölçüm Sonuçları..... 69
4.2 Siteler İstasyonunda Toplanan Partikül Madde (PM) Örneklerinin Kimyasal Kompozisyonu 78
4.2.1 Siteler İstasyonunda Belirlenen Parametrelerin İstatistiksel Özeti... 78
4.2.2 Literatür ile Karşılaştırma..... 87
4.2.3 Siteler İstasyonunda Belirlenen Parametrelerin Mevsimsel Değişimi 93
4.2.4 Siteler İstasyonunda Belirlenen Parametreler Arasındaki Korelasyonlar 100
4.2.5 Siteler İstasyonunda Belirlenen Parametrelerin Kaynakları..... 107
4.3 Sıhhiye İstasyonu PM Kompozisyonu..... 110
4.3.1 Sıhhiye İstasyonunda Belirlenen Parametrelerin İstatistiksel Özeti 110
4.3.2 Sıhhiye İstasyonunda Belirlenen Parametrelerin Kaynakları..... 113
4.4 Siteler ve Sıhhiye İstasyonları PM Kompozisyonunun Karşılaştırılması 118
5. SONUÇLAR..... 120
6. KAYNAKLAR..... 123

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Partikül aerodinamik çapı *(Watson vd., 2010)*.....11
Şekil 2.2. Solunum yolu partikül biriktirme mekanizması *(Hussain vd., 2011; Poh vd., 2018)*.....13
Şekil 2.3. 1750'den 2011'e kadar salınan bileşenlerle gösterilen Sanayi Çağı boyunca iklim değişikliğinin radyatif etkisi *(IPCC, 2013)*.....16
Şekil 3.1. Çalışmada takip edilen iş akış planı.....33
Şekil 3.2. Örnekleme noktalarının haritada gösterimi.....34
Şekil 3.3. Partisol 2000i PM örnekleyici.....37
Şekil 3.4. Örnekleme yapılan istasyonlar a) Siteler HKİ, b) Sıhhiye HKİ.....38
Şekil 3.5. Analizde kullanılan iyon kromatografi cihazı *(DIONEX 1100)*.....39
Şekil 3.6. EC/OC analizörü (Sunset Lab) (Keleş Özgül, 2022).....46
Şekil 3.7. Filtreden kesilen kısım ve cihaza yerleştirilmesi.....47
Şekil 3.8. EC/OC analizörü çalışma prensibi *(Keleş, 2014)*.....47
Şekil 3.9. Örneklerden birine ait termogram.....49
Şekil 3.10. 2021 yılında Ankara ilindeki yağış, nispi nem, sıcaklık ve rüzgâr hızının zamana bağlı değişimi.....53
Şekil 3.11. 2021 yılında Ankara ilindeki hakim rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı.....54
Şekil 4.1. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin zamansal değişimi.....60
Şekil 4.2. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi.....62
Şekil 4.3. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi.....62
Şekil 4.4. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO_2 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi.....63
Şekil 4.5. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO_2 parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi.....64
Şekil 4.6. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO_x konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi.....65
Şekil 4.7. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO_x parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi.....65
Şekil 4.8. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen O_3 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi.....66
Şekil 4.9. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen O_3 parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi.....66
Şekil 4.10. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen CO konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi.....67
Şekil 4.11. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen CO parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi.....68
Şekil 4.12. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen SO_2 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi.....69
Şekil 4.13. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen SO_2 parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi.....69
Şekil 4.14. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin zamansal değişimi.....71

Şekil 4.15. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi 72
Şekil 4.16. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi 73
Şekil 4.17. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO_2 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi 73
Şekil 4.18. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO_2 parametresinin rüzgâr hızı ve yönü ile değişimi 74
Şekil 4.19. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO_x konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi 74
Şekil 4.20. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO_x parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi 75
Şekil 4.21. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen O_3 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi 75
Şekil 4.22. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen O_3 parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi 76
Şekil 4.23. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen CO konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi 76
Şekil 4.24. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen CO parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi 77
Şekil 4.25. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen SO_2 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi 77
Şekil 4.26. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen SO_2 parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi 78
Şekil 4.27. Siteler istasyonunda ince ve kaba fraksiyonda gözlenen karbon konsantrasyonları 81
Şekil 4.28. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen karbon parametrelerinin mevsimsel değişimi 94
Şekil 4.29. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen anyonların mevsimsel değişimi 95
Şekil 4.30. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen katyonların mevsimsel değişimi 96
Şekil 4.31. Siteler istasyonunda $PM_{10\text{-}2.5}$ fraksiyonunda gözlenen katyonların mevsimsel değişimi 97
Şekil 4.32. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen elementlerin kış/yaz oranı 98
Şekil 4.33. Siteler istasyonunda $PM_{10\text{-}2.5}$ fraksiyonunda gözlenen elementlerin kış/yaz oranı 99
Şekil 4.34. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen OC ve EC arasındaki korelasyon 100
Şekil 4.35. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen OC ve TC arasındaki korelasyon 101
Şekil 4.36. Siteler istasyonunda $PM_{10\text{-}2.5}$ fraksiyonunda gözlenen OC ve EC arasındaki korelasyon 101
Şekil 4.37. Siteler istasyonunda $PM_{10\text{-}2.5}$ fraksiyonunda gözlenen OC ve TC arasındaki korelasyon 102
Şekil 4.38. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen ana iyonlar arasındaki korelasyon 103
Şekil 4.39. Siteler istasyonunda $PM_{10\text{-}2.5}$ fraksiyonunda gözlenen ana iyonlar arasındaki korelasyon 104

Şekil 4.40. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen elementler arasındaki korelasyon (sol) ve korelasyonların küme analizi (sağ)105
Şekil 4.41. Siteler istasyonunda $PM_{10-2.5}$ fraksiyonunda gözlenen elementler arasındaki korelasyon (sol) ve korelasyonların küme analizi (sağ)106
Şekil 4.42. PM_{10} fraksiyonu için hesaplanmış toprak zenginleştirme faktörü 107
Şekil 4.43. Sıhhiye istasyonunda ince ve kaba fraksiyonda gözlenen karbon konsantrasyonları 111
Şekil 4.44. Sıhhiye istasyonu $PM_{2.5}$ fraksiyonunda belirlenen karbon parametreleri arasındaki korelasyon.....114
Şekil 4.45. Sıhhiye istasyonu $PM_{10-2.5}$ fraksiyonunda belirlenen karbon parametreleri arasındaki korelasyon.....114
Şekil 4.46. Sıhhiye istasyonu $PM_{2.5}$ fraksiyonunda belirlenen parametreler arasındaki korelasyon.....115
Şekil 4.47. Sıhhiye istasyonu $PM_{10-2.5}$ fraksiyonunda belirlenen parametreler arasındaki korelasyon.....116
Şekil 4.48. Sıhhiye istasyonu PM_{10} fraksiyonunda belirlenen faktörler.....117

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Partisol 2000i-D teknik özellikleri 36
Tablo 3.2. Örnekleme dönemine ait bilgiler 37
Tablo 3.3. IC analizlerinde ölçülen parametreler için belirlenen LOD ve LOQ değerleri 40
Tablo 3.4. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında analiz edilen birinci yağmur suyu örneğine ait istatistiksel özet 41
Tablo 3.5. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında analiz edilen ikinci yağmur suyu örneğine ait istatistiksel özet 41
Tablo 3.6. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında analiz edilen üçüncü yağmur suyu örneğine ait istatistiksel özet 42
Tablo 3.7. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında karşılaştırmaya katılan laboratuvarların birinci yağmur suyu örneği için elde ettikleri sonuçların istatistiksel özeti 43
Tablo 3.8. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında karşılaştırmaya katılan laboratuvarların ikinci yağmur suyu örneği için elde ettikleri sonuçların istatistiksel özeti 44
Tablo 3.9. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında karşılaştırmaya katılan laboratuvarların üçüncü yağmur suyu örneği için elde ettikleri sonuçların istatistiksel özeti 45
Tablo 3.10. EC/OC analizi sırasında oluşan piklerin bekleme sıcaklığı ve süreleri 50
Tablo 3.11. Sunset Lab. Firmasından temin edilen standart filtrenin analiz sonuçları 51
Tablo 3.12. EC/OC analizörünün tayin sınırı (TS) ve ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliği 51
Tablo 3.13. 2021 yılında Ankara ilinde ölçülen meteorolojik parametrelerin istatistiksel özeti 52
Tablo 3.14. Toprak zenginleştirme değerleri ve zenginleşme seviyesi 55
Tablo 4.1. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin istatistiksel özeti ($\mu g/m^3$) 58
Tablo 4.2. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin aylık ortalamaları ($\mu g/m^3$) 61
Tablo 4.3. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin istatistiksel özeti ($\mu g/m^3$) 70
Tablo 4.4. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin aylık ortalamaları ($\mu g/m^3$) 71
Tablo 4.5. Siteler istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen karbon parametrelerine ait istatistiksel özet 79
Tablo 4.6. Siteler istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen anyon parametrelerine ait istatistiksel özet 82
Tablo 4.7. Siteler istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen katyon parametrelerine ait istatistiksel özet 83
Tablo 4.8. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ kompozisyonunda gözlenen element parametrelerine ait istatistiksel özet 84

Tablo 4.9. Siteler istasyonunda $PM_{10-2.5}$ kompozisyonunda gözlenen element parametrelerine ait istatistiksel özet 85
Tablo 4.10. Siteler istasyonunda PM_{10} kompozisyonunda gözlenen element parametrelerine ait istatistiksel özet 86
Tablo 4.11. Bu çalışmada belirlenen OC ve EC değerlerinin literatür ile karşılaştırılması (Konsantrasyon Birimi:µg/m^3) 90
Tablo 4.12. Bu çalışmada belirlenen iyon konsantrasyonlarının literatür ile karşılaştırılması (Konsantrasyon Birimi: ng/m^3)..... 91
Tablo 4.13. Bu çalışmada belirlenen element konsantrasyonlarının literatür ile karşılaştırılması (Konsantrasyon Birimi:ng/m^3)..... 92
Tablo 4.14. Siteler istasyonunda PM_{10} kompozisyonu için çalıştırılan faktör analiz sonuçları 109
Tablo 4.15. Sıhhiye istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen karbon parametrelerine ait istatistiksel özet 110
Tablo 4.16. Sıhhiye istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen anyon parametrelerine ait istatistiksel özet 112
Tablo 4.17. Sıhhiye istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen katyon parametrelerine ait istatistiksel özet 113
Tablo 4.18. Sıhhiye istasyonunda PM_{10} kompozisyonu için çalıştırılan faktör analiz sonuçları 117
Tablo 4.19. Sıhhiye ve Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ kompozisyonunda belirlenen parametrelerin ortalama değerleri (Konsantrasyon Birimi:µg/m^3)118
Tablo 4.20. Sıhhiye ve Siteler istasyonunda $PM_{10-2.5}$ kompozisyonunda belirlenen parametrelerin ortalama değerleri (Konsantrasyon Birimi:µg/m^3)119

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

BC : Siyah karbon

CCN : Bulut Yoğunlaşma Çekirdeği

DSÖ : Dünya Sağlık Örgütü

EC : Elementel Karbon

EPA : ABD Çevre Koruma Ajansı

FID : Alev İyonlaşma Dedektör

HKİ : Hava Kalitesi İndeksi

MTS : Metod Tayin Sınırı

OC : Organik Karbon

OM : Organik Madde

PAH : Polisiklik Aromatik Hidrokarbon

PM : Partikül Madde

$PM_{2.5}$: Aerodinamik çapı 2.5 µm'den küçük PM

PM_{10} : Aerodinamik çapı 10 µm'den küçük PM

POC : Birincil Organik Karbon

RSS : Nispi Standart Sapma

SOA : İkincil Organik Aerosol

SOC : İkincil Organik Karbon

SRM : Standart Referans Madde

TC : Toplam Karbon

TS : Tayin Sınırı

VOC : Uçucu Organik Karbon

WSOC : Suda Çözünen Organik Karbon

TEŞEKKÜR

Lisans ve lisansüstü öğrenimim boyunca yardımlarını, rehberliğini, anlayış ve tavsiyelerini hiç eksik etmeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Fatma ÖZTÜRK'e sonsuz saygı, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Dr. Eda SAĞIRLI, Arş. Gör. Emre DİKMEN ve Dr. Melek KELEŞ ÖZGÜL'e çok teşekkür ederim. Tez savunma jürisinde bulunan Prof. Dr. Sema YURDAKUL ve Dr. Öğr. Üyesi Ebru KOÇAK hocalarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışma boyunca çok kıymetli katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen Laboratuvar Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı Hava İzleme Şube Müdürü Onur KALE'ye, bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki destek ve katkılarından dolayı Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkezi Müdürü Zeliha GEMİCİ'ye, Müdür Yardımcısı Hale ERTORUN'a, metal analizlerinin yapılmasındaki katkılarından dolayı Çevre Referans Laboratuvarı yöneticilerine, örnek toplama sırasındaki çok kıymetli katkıları, özverili çalışma ve fedakarlıklarından dolayı Ahmet AYDOĞAN ve Mehmet ULUS'a, tez yazma sürecim boyunca yardımlarını esirgemeyen Harun GÜLTEKİN ve Hakan ÖZEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi (BAİBÜ), Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından 2024-TYL-6.12.54-0001 proje numarası ile desteklenmiştir. Bu desteğinden dolayı üniversitemiz BAP Koordinasyon Birimi'ne çok teşekkür ederiz.

Sadece bu çalışmam değil, hayatımın her anında gösterdikleri sonsuz fedakarlık, anlayış, sabır ve emekleri için annem Zehra TAŞPINAR ve babam Mehmet TAŞPINAR'a en derin teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Hava kirliliği atmosferin doğal özelliklerini değiştiren herhangi bir kimyasal, fiziksel veya biyolojik ajan tarafından iç veya dış ortamın kirletilmesinin yanı sıra (DSÖ, 2024) çevre ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri olan önemli bir küresel sorundur. Biyokütle yakma, endüstriyel faaliyetler ve araç emisyonları gibi çeşitli kaynaklar, hava kirliliğine katkıda bulunarak solunum ve kardiyovasküler hastalıklar gibi olumsuz sağlık sonuçlarına neden olmaktadır *(Manisalidis vd., 2020)*. İnsan faaliyetleri sonucunda atmosferde gaz ve aerosol partiküllerinin artışıyla ortaya çıkar ve bu partiküller bitkileri, hayvanları, insanları ve dünya ekosistemini dolaylı veya doğrudan etkiler *(Jacob ve Winner, 2009)*.

Atmosferik kirlilik, atmosferin doğal özelliklerini değiştiren ve insan sağlığı ile çevre üzerinde olumsuz etkileri olan kimyasal, fiziksel, biyolojik veya diğer maddelerin salınması olarak tanımlanır. Bu sebeple, "hava kalitesinin" bir göstergesi, havadaki kirleticilerin miktarıdır. "Hava kalitesi" terimi, yakın çevremizdeki havanın durumunu ifade eder. İyi hava kalitesi, havanın duman, toz ve diğer gaz kirleticilerden ne kadar arınmış olduğunu gösterir. Hava kalitesini belirlemek için çeşitli kirlilik göstergeleri değerlendirilir ve bu göstergeler bir hava kalitesi indeksi (HKİ) oluşturmak için kullanılır. İndeks arttıkça, halk sağlığı için risk de artar. Hava kalitesi indeksleri her ülkeye özgüdür ve farklı ulusal standartlara dayanır. Metropollerde ve sanayileşmiş bölgelerde, insan kaynaklı emisyonlar, çeşitli kimyasal türlerin konsantrasyonunun uluslararası sınır standartlarını aşmasına yol açabilir ve bu da kötü hava kalitesine ve düşük görünürlüğe neden olabilir *(Gurjar vd., 2016; Streets vd., 2007)*.

Dünya nüfusunun yaklaşık %90'ı, hava kirliliğinin Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği sınırları aştığı bölgelerde yaşamakta ve yılda 4 milyondan fazla ölüme neden olmaktadır *(Vasilakopoulou vd., 2022)*. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), hava kirliliğinin dünya genelinde önemli bir sağlık riski içerdiğini ve özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşayan insanlar için büyük bir tehdit oluşturduğunu vurgulamaktadır. Araştırmalar, hava kirliliğine akut maruziyet ile artan mortalite oranları arasında açık bir bağlantı kurmuş olup, hava kalitesinin halk sağlığı sonuçlarındaki kritik rolünü vurgulamaktadır *(Stieb vd., 2002)*.

Dünya nüfusunun hızla artması, sanayileşme ve kentleşme, mega şehirleri önemli hava kirliliği kaynakları haline getirerek sorunu daha da ağırlaştırmıştır *(Akimoto, 2003)*. Yoğun nüfuslu bölgelerde kentsel partikül maddenin biyolojik etkileri, hava kirliliğine maruz kalmanın uzun vadeli sağlık etkileri konusunda ciddi endişelere yol açmaktadır *(Fan vd., 2022)*.

Partikül madde, havada bulunan katı partiküllerin ve sıvı damlacıkların karmaşık bir karışımını ifade eder. Bu partiküller boyut, bileşim ve köken bakımından farklılık göstermekte olup toz, kir, kurum ve duman gibi geniş bir içeriği temsil etmektedir *(Bessagnet vd., 2022)*.

Partikül maddenin boyutu, sağlık ve çevre üzerindeki etkisini belirlemede çok önemli bir faktördür. $PM_{2.5}$ olarak bilinen ince partikül maddenin çapı 2.5 mikrometreden küçükken, PM_{10} çapı 10 mikrometreden küçük olan partikülleri ifade eder *(Jia vd., 2022)*. $PM_{2.5}$ olarak adlandırılan ince partikül madde, hava kirliliğine bağlı ölümlerin en yaygın nedenlerinden biridir ve özellikle çocuk sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Dünya genelinde her yıl 600.000 çocuk, hava kirliliği nedeniyle hayatını kaybetmektedir *(DSÖ, 2016)*.

Aerosoller, yeryüzünde ve okyanuslarda biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreçlerle üretilmektedir. Bu doğal döngü içindeki emisyonların büyük çoğunluğunu insan faaliyetleri sonucunda oluşan aerosoller oluşturmaktadır. Özellikle son on yılda tarımsal faaliyetlerin artması, orman alanlarının yok olması, fosil yakıtlarının aşırı kullanımı, endüstriyel aktivitelerin artması, enerji üretimi ve tüketiminin artması, ulaşım ve kentleşmenin artması gibi faktörler atmosfere büyük miktarlarda kirletici salınımına neden olmaktadır *(Monks vd., 2009)*.

Partikül madde, hem doğal hem de antropojenik olmak üzere çeşitli kaynaklardan kaynaklanabilir. Doğal kaynaklar arasında toz fırtınaları, orman yangınları ve volkanik patlamalar yer alırken, endüstriyel süreçler, ulaşım ve tarım gibi insan faaliyetleri partikül madde kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunur *(Manangama vd., 2020)*. Doğal ve antropojenik kaynakların yanı sıra, atmosferde gaz moleküllerinin partikül maddeye dönüşümüyle yeni partikül oluşumu da gerçekleşmektedir *(Öztürk vd., 2012)*. Bu partikül maddeler, çekirdeklenme ve yoğunlaşma tepkimeleri sonucunda oluşur ve böylece atmosferde mevcut hale gelirler *(Pöschl, 2005)*.

Fosil yakıt yakma ve biyokütle yakma kaynaklı emisyonlar hava kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunmakta ve hava kalitesini hem yerel hem de bölgesel

ölçekte etkilemektedir *(Andreae ve Merlet, 2001; Xiao vd., 2020)*. Kirleticiler olumsuz meteorolojik koşullar ile birlikte görünürlüğü, iklimi ve insan sağlığını önemli düzeyde değiştirmektedir.

Özellikle kış aylarında konut ısıtılmasının hava kalitesi üzerindeki etkisi, ince aerosollerin kimyasal bileşimini önemli ölçüde etkilemekte ve hava kalitesini iyileştirmek için hedefe yönelik müdahalelere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır *(Theodosi vd., 2018)*. Biyokütle yakımı, birincil organik aerosoller ve siyah karbonun önemli bir kaynağı olup, atmosferik kirliliğe önemli ölçüde katkıda bulunmakta ve bu kirlilik kaynağını ele almak için kapsamlı stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır *(Arangio vd., 2015)*. Biyokütle yakma emisyonları, eser gazlar ve karbon içeren parçacıkların önemli bir kaynağı olup, bu kaynağın hava kalitesi üzerindeki etkisini azaltmak için hedefe yönelik önlemlere olan ihtiyacı vurgulamaktadır *(Akagi vd., 2011)*. Biyokütle yanmasının ve birincil biyolojik aerosollerin moleküler belirteçleri, kentsel aerosollerin kaynakları ve bileşimi hakkında önemli bilgiler sağlayarak hava kirliliğini ele almanın karmaşıklığını vurgulamaktadır *(Xu vd., 2020)*.

Azot oksit, sülfür dioksit, uçucu organik bileşikler (VOC'ler), dioksinler ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) gibi kirleticilerin varlığı ile karakterize edilen hava kirliliği, insan sağlığı için önemli riskler oluşturmaktadır. Konutlarda soba ve şöminelerde odun yakılması, hava kalitesini daha da kötüleştiren ince partikül madde ve polisiklik aromatik hidrokarbonların önemli bir kaynağı olarak vurgulanmaktadır *(Theodosi vd., 2018)*. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} dahil olmak üzere partikül madde (PM) hava kirliliğinde önemli bir rol oynamakta olup, $PM_{2.5}$ akciğerlerin derinliklerine nüfuz etme kabiliyeti nedeniyle önemli ölçüde zararlıdır. Söz konusu hava kirleticilerinin zararlı etkileri, bu kirleticilerin çevresel ve sağlık üzerindeki sonuçlarının ele alınmasına yönelik acil ihtiyacı vurgulamaktadır *(Manisalidis vd., 2020)*.

Atmosferdeki partikül madde, dünyanın enerji dengesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Partikül madde güneş radyasyonunu emdiğinde, atmosferin ısınmasına katkıda bulunur. Güneş ışığının partikül madde tarafından emilmesi, atmosfer sıcaklığında artışa yol açarak hava modellerini ve iklim dinamiklerini etkiler *(Calahorrano vd., 2021)*. Partikül maddenin hava kalitesi, insan sağlığı ve iklim değişikliği üzerindeki etkisi, güneş enerjisini emme ve atmosferik ısınmaya katkıda bulunma kabiliyeti nedeniyle önemli ölçüde dikkat çekmiştir *(Yang vd.,*

2022). Partikül madde güneş radyasyonunu absorbe edip atmosferi ısıtabilirken, aynı zamanda Dünya yüzeyi üzerinde soğutucu bir etkiye sahiptir. Atmosferdeki partiküller güneş ışığını dağıtarak Dünya yüzeyine ulaşan güneş radyasyonu miktarının azalmasına yol açabilir. Güneş ışığının partikül madde tarafından bu şekilde saçılması, güneş enerjisinin uzaya geri yansımasına ve böylece Dünya yüzeyinin soğumasına katkıda bulunur. Partikül madde ve güneş radyasyonu arasındaki etkileşim, hem emilim yoluyla atmosferin ısınmasını hem de saçılma yoluyla Dünya yüzeyinin soğutulmasını içeren karmaşık bir süreçtir. *(Yuan vd., 2022)*.

Atmosferdeki partikül madde güneş radyasyonu ile karmaşık bir şekilde etkileşime girerek hem atmosferin ısınmasına hem de Dünya yüzeyinin soğumasına katkıda bulunur. Partikül maddenin güneş enerjisini emme ve güneş ışığını dağıtma yeteneği, hava durumu modellerinin, iklim dinamiklerinin ve hava kalitesinin şekillenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Biyokütle yanması, endüstriyel emisyonlar ve araç egzozu gibi farklı partikül madde kaynakları, güneş ışığıyla nasıl etkileşime girdiklerini etkileyebilecek farklı özelliklere sahip partikülleri serbest bırakır *(Li vd., 2022)*. Örneğin, atmosferik partikül maddede karbonlu partiküllerin varlığı, emilim ve saçılma özelliklerini etkileyebilir ve sonuçta atmosferin ısınması ile Dünya yüzeyinin soğuması arasındaki dengeyi etkiler *(Zhang vd., 2021)*. Çalışmalar, atmosferdeki partikül madde konsantrasyonunun ve dağılımının rüzgâr hızı, sıcaklık ve bağıl nem gibi meteorolojik faktörlerden etkilendiğini göstermiştir *(Islam vd., 2022)*. Bu meteorolojik koşullar, atmosferdeki partikül maddenin davranışını etkileyebilir, bu da güneş radyasyonunu emme veya saçma yeteneği gibi faktörleri içerir. Partikül madde ve meteorolojik faktörler arasındaki etkileşimin anlaşılması, partikül maddenin atmosferdeki ısıtma ve soğutma süreçleri üzerindeki etkisini tahmin etmek için önemlidir. *(Zhao vd., 2023)*.

Partikül madde, geçiş metalleri, sülfat, nitrat ve amonyum gibi iyonlar, organik bileşikler, elementel karbon, organik karbon, siyah karbon, deniz tuzu, sahra tozu, karbonillerin kararlı radikalleri, mineraller, reaktif gazlar ve biyolojik kökenli malzemeler dahil olmak üzere çeşitli bileşenlerden oluşur *(Jacob ve Winner, 2009; Pöschl, 2005; Valavanidis vd., 2008)*.

Schauer vd. (2008) çalışmalarında, benzinle çalışan araçlardan kaynaklanan partikül madde emisyonlarını karakterize etmiş ve sülfat (SO_4^{2-}), nitrat (NO_3^-), ve

amonyum (NH_4^+) iyonlarını bu emisyonların temel bileşenleri olarak tanımlamıştır. $PM_{2.5}$'in bileşiminde fosfat (PO_4^{3-}), sülfat (SO_4^{2-}) ve amonyum (NH_4^+) gibi iyonların bulunduğu tespit edilmiş, bu da fosil yakıt ve biyokütle yanmasının partikül madde bileşimi üzerindeki etkisini göstermektedir *(Sówka vd., 2019)*. Bu iyonlar, özellikle atmosferde antropojenik, biyojenik ve ikincil aerosol kirleticilerin kaynağını gösteren iz maddelerdir. Ayrıca, troposferik asiditesi, asit yağmurları, bulut yoğunlaşma çekirdekleri (CCN) ve iklim değişikliğine etki eden önemli bileşenlerdir *(Domingos vd., 2012)*. Aerosoldeki düşük molekül ağırlıklı organik asitler ve inorganik iyonik türlerinin analiz edilmesi için yöntemler geliştirilmiş ve aerosollerdeki iyonların varlığı vurgulanmıştır *(Karpinski, 2015)*.

Bulut yoğunlaşma çekirdekleri (CCN), bulut oluşumunu ve yağışları etkilediği için iklim değişikliğinde büyük öneme sahiptir. Aerosol partikülleri, CCN ve buz çekirdeği olarak işlev görerek bulut damlacığı oluşumunu etkiler ve dolayısıyla iklim ve yağış modellerini etkiler *(Jurányi vd., 2011; Lohmann ve Feichter, 2005)*. Aerosollerin CCN olarak rolü, atmosferik koşullar ve iklim değişikliği üzerindeki etkilerini anlamak için hayati önem taşımaktadır *(Dusek vd., 2006)*. CCN'ler, bulut mikro yapılarını ve ışınım özelliklerini etkileyen, bulut damlacığı oluşumu için çekirdek görevi görecek kadar büyük ve çözünebilir atmosferik parçacıklardır *(Quinn ve Bates, 2011; Sun ve Ariya, 2006)*. Aerosollerin dağılımını ve kökenini ve CCN ile ilişkilerini anlamak, bulut oluşumu ve iklim üzerindeki etkilerini değerlendirmek için çok önemlidir *(Lu ve Guo, 2012)*.

Partikül madde (PM), siyah karbon (BC), organik karbon (OC), elementel karbon (EC), suda çözünen iyonlar ve metaller dahil olmak üzere çeşitli bileşenlerin karmaşık bir karışımıdır. Çalışmalar, organik ve elementel karbondan oluşan karbonlu aerosollerin, özellikle ince fraksiyonda ($PM_{2.5}$) PM'nin önemli bileşenleri olduğunu göstermiştir *(Verma vd., 2022)*. PM'nin kimyasal bileşimi kaynağa ve konuma göre değişebilir; ısıtma mevsimi gibi belirli dönemlerde daha yüksek OC, EC ve suda çözünür iyon konsantrasyonları gözlenir *(Sówka vd., 2019)*. Ayrıca PM, oksidatif strese ve ince partikül madde ile ilişkili sağlık risklerine katkıda bulunan bakır ve demir gibi ağır metaller içerebilir *(Mutua vd., 2021)*.

Aerosollerdeki karbonlu bileşikler atmosferik kompozisyon, küresel ve bölgesel iklim, su döngüsü ve insan sağlığı üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Siyah karbon (BC) ve organik karbon (OC) dahil olmak üzere bu bileşikler ince aerosollerin ana bileşenleridir ve fosil yakıt yanması, biyokütle yanması ve

endüstriyel işlemler gibi çeşitli kaynaklardan yayılır *(Jiang vd., 2022; Szidat vd., 2006; Zaveri vd., 2010)*. Karbonlu aerosollerin atmosferdeki varlığı hava kalitesi, küresel ve bölgesel iklim, su döngüsü ve insan sağlığı üzerinde kayda değer etkilere sahiptir *(Jiang vd., 2022)*.

Çalışmalar karbonlu aerosollerin bulut yoğunlaşma çekirdeği (CCN) olarak işlev görebildiğini ve bulut özelliklerini etkileyebildiğini, dolayısıyla iklim değişikliği dinamiklerinde önemli faktörler olan bulut albedosu, yağış ve radyatif kuvveti etkilediğini göstermektedir *(Kalita vd., 2017; Spracklen vd., 2011)*. Karbonlu aerosollerin ışınımsal etkileri arasında güneş ve karasal radyasyonun emilmesi ve zayıflatılması yer almaktadır, bu durum ışınımsal zorlamada ve atmosferik ısınmada değişikliklere yol açmaktadır *(Chavan vd., 2021)*. Ayrıca karbonlu aerosollerin hem iklim hem de hava kalitesi üzerinde etkileri bulunmaktadır, bölgesel iklim modellerini etkileyerek küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır *(Hansen vd., 2004; Huang vd., 2012)*.

Aerosollerin önemli bir kısmını karbonlu bileşikler oluşturur. Bu karbonlu bileşikler, organik karbon (OC) ve elementel karbon (EC) olmak üzere iki temel bileşenden oluşur ve toplam karbon (TC) olarak ifade edilir *(Pöschl, 2005)*. Ortamdaki partikül maddede bulunan organik karbon (OC), üretim mekanizmalarına göre birincil organik karbon (POC) ve ikincil organik karbon (SOC) olarak sınıflandırılabilir *(Yoo vd., 2022)*.

Atmosferdeki organik karbon türleri ve oluşum mekanizmaları, çeşitli kaynaklardan atmosfere salınan organik bileşiklerin birikimi sonucu oluşur *(Schauer vd., 2001)*. Bu kaynaklar arasında biyolojik faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar (örneğin, bitki örtüsü, deniz biyolojik aktiviteleri), fosil yakıt yanması, endüstriyel faaliyetler ve biyolojik bozunma süreçleri yer alır *(Zhang ve Smith, 2007)*. Organik karbon, genellikle atmosferde partikül madde halinde bulunur ve bu partiküller çeşitli kimyasal bileşenler içerebilir, bunlar arasında hidrokarbonlar, organik asitler, aldehitler, ketonlar ve diğer organik bileşikler yer alır*(Pankow ve Asher, 2008)*. Atmosferdeki organik karbonun oluşumu, atmosferik kimyasal reaksiyonlar, fotokimyasal oksidasyon ve ikincil organik aerosol oluşumu gibi süreçler sonucunda da gerçekleşebilir *(Kanakidou vd., 2005)*. Organik karbonun atmosferdeki varlığı ve bileşimi, iklim değişikliği, hava kalitesi ve insan sağlığı gibi birçok faktörü etkileyen önemli bir konudur *(Jimenez vd., 2009)*.

Elementel karbon (EC), özellikle kentsel ortamlarda ve biyokütle yakımından etkilenen bölgelerde partikül maddenin önemli bir bileşenidir. Çalışmalar, EC'nin özellikle ince partikül fraksiyonunda partikül kütlesinin kayda değer bir kısmını oluşturduğunu göstermiştir *(Birch ve Cary, 1996)*. Yüksek molekül ağırlığına sahip ve uçucu olmayan bir inert maddedir *(Burtscher vd., 2001; Gelinas vd., 2001; Husain vd., 2008)*. Kırsal arka plan atmosferik aerosolleri üzerine yapılan araştırmalar, karbon içeren ince ve kaba partiküllerin önemli bir kısmının organik hidrokarbonlardan ziyade elementel karbondan oluştuğunu göstermiştir *(Beddows vd., 2004)*. 400 °C sıcaklığa kadar okside olmayan elementel karbon, suda ve herhangi bir organik çözücüde çözünmez. Atmosferde yaklaşık iki gün ile bir hafta boyunca kalabilen elementel karbon, binlerce kilometre uzağa taşınabilir *(Li vd., 2002)*. Elementel karbonun atmosferde kalma süresi ve ışığı absorplama kapasitesi, diğer aerosollerle olan etkileşimine bağlı olarak değişebilir. Elementel karbonun diğer aerosollerle birleşmesi, ışık absorplama yeteneğini ve bulut damlacıklarının oluşumunu artırmaktadır *(Bond vd., 2013)*.

EC partiküllerinin güneş radyasyonunu dağıttığı veya emdiği, bulutun mikrofiziksel ve radyatif özelliklerini etkilediği ve bunun da dünyanın sıcaklık profilini daha fazla etkileyebileceği bilinmektedir *(Manisalidis vd., 2020)*. Çalışmalar, partikül maddenin önemli bir bileşeni olan EC' nin güneş radyasyonunu emerek atmosferin ısınmasına katkıda bulunduğunu göstermiştir *(Arangio vd., 2015)*. Özellikle elementel karbon, sera gazlarından sonra iklim değişikliğini büyük ölçüde etkileyen ikinci maddedir *(Jacobson, 2002)*. Elementel karbonun güneş ışığını absorbe etme kabiliyeti, dünyanın sıcaklık profilindeki değişikliklere katkıda bulunarak, atmosferik süreçler ve iklim dinamikleri üzerindeki rolünün anlaşılmasının önemini vurgulamaktadır. Organik karbon (OC) ve elementel karbon (EC), iklim değişikliğinde önemli rol oynayan atmosferik aerosollerin önemli bileşenleridir. Organik bileşikler içeren organik aerosoller, iklim değişikliği tahminlerinin doğruluğunu artırmak için iklim modellemesinde çok önemlidir *(Kanakidou vd., 2005)*.

Hava kirliliğini azaltmaya yönelik stratejiler, insan sağlığını korumak ve kirleticilerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmek için zorunlu hale gelmiştir. Hava kirliliğini azaltma çabaları, biyokütle yakma ve araç emisyonları gibi çeşitli kirlilik kaynaklarını göz önünde bulunduran kapsamlı bir yaklaşım gerektirmektedir. İnorganik iyonlar ve suda çözünebilen organik azot türleri gibi

hava kirleticilerin kimyasal özelliklerinin anlaşılması, etkili kontrol önlemlerinin geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir *(Sofia vd., 2020).*

1.1 Çalışmanın Motivasyonu

Ülkemizin başkenti ve ikinci büyük şehri olan Ankara'nın en büyük çevresel sorunlarından bir tanesi hava kirliliğidir. Son yıllarda özellikle Türkiye'nin en önemli mobilya imalathanelerinin de yer aldığı Siteler bölgesindeki hava kirliliği problemi ulusal medyada da çok sık gündeme getirilmektedir. Ankarada mobilya sektörü Siteler semtiyle özdeşleşmiştir. Siteler 1960'lı yıllarda Marangozlar Odasının önderliğinde kurulmuş olup, bugün 5.000 dönüm arazi üzerinde faaliyet gösteren büyük bir organize sanayi bölgesidir. Bölge küçük ve orta ölçekli mobilya üretimi yapan birçok işletmeyi barındırmaktadır. Sitelerdeki firma sayısının 10.000'in üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Diğer taraftan Sıhhiye semti Ankara'da önemli devlet hastanelerinin ve üniversitelerin bulunduğu ve bu nedenle trafiğin günün her saati çok yoğun olduğu bölgelerden bir tanesidir. Altındağ ilçesinde yer alan her iki semtte de hava kirliliğinin seviyeleri, kirleticilerin kaynakları ve zamansal değişimleri hakkında literatürde yeteri kadar veri bulunmamaktadır. Bu durum hava kirliliğinin halk ve çevre sağlığı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesini ve sürdürülebilir hava kirliliği yönetim planlarının geliştirilmesini engellemektedir. Bu çalışma ile iki semt için politika yapıcıların ve uygulayıcıların referans olarak kullanabileceği bir veri seti üretilecektir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Hava kirliliğinin artması çevresel sürdürülebilirlik ve halk sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Hava kirliliğinin toplum üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması için hava kirleticilerinin kaynaklarının, bileşiminin ve etkilerinin hedefe yönelik azaltma stratejileriyle ele alınması şarttır. Hava kirliliğinin ele alınması, kaynaklarının, bileşiminin ve hem dış hem de iç ortamlar üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektirmektedir. Etkili azaltım stratejilerinin ve düzenleyici tedbirlerin uygulanması, hava kirliliğinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki zararlı etkileriyle mücadele etmek için çok önemlidir.

Bu çalışmanın amaçları aşağıda verilmiştir:

1. Ankara'da iki farklı karakteristiğe sahip istasyonda toplanan PM örneklerinin kimyasal kompozisyonunun incelenmesi,

2. Ankara'da antropojenik ve doğal kaynaklardan atmosfere salınan kirleticilerin seviyelerini ve bu kirleticilerin zamansal değişimlerini belirlemek,
3. Çeşitli istatistiksel teknikler kullanılarak kirleticilerin kaynaklarını belirlemek,
4. Siteler ve Sıhhiye istasyonlarında toplanan PM örneklerinin kimyasal kompozisyonunu karşılaştırmak.

1.3 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada ikinci bölümde literatür özeti sunulmuştur. Üçüncü bölümde çalışmada takip edilen örnekleme metodolojisi ve analiz aşamaları hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Son bölümde ise sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Partikül madde görünürlüğü, iklimi ve insan sağlığını etkileyen önemli hava kirliliği bileşenleridir. *(Y. Liu vd., 2021).* Partikül madde, hava kalitesi ve insan sağlığı üzerindeki etkisine katkıda bulunan karbonlu bileşenler, metaller ve organik bileşikler içerir *(Baltaci, 2017).* Partikül madde (PM), havada bulunan ve moleküller arası kuvvetlerce bir arada tutulan toz, kir, kurum, duman ve sıvı damlacıklar gibi maddelerin esas olarak moleküler boyuttan daha büyük olan katı parçacıklar ve sıvı damlacıkların bir kombinasyonu için kullanılan *(Steinfeld, 1998)* ve atmosfer kimyasında "aerosol" ile eş anlamda kullanılan bir terimdir *(Hinds ve Zhu, 2022).* "Aerosol" terimi ilk olarak yaklaşık 1918 yılında Donnan ve Schmauss tarafından kullanılmıştır. Bu terimi 1920 yılında meteoroloji literatürüne kazandırmıştır *(Spurny, 1999).*

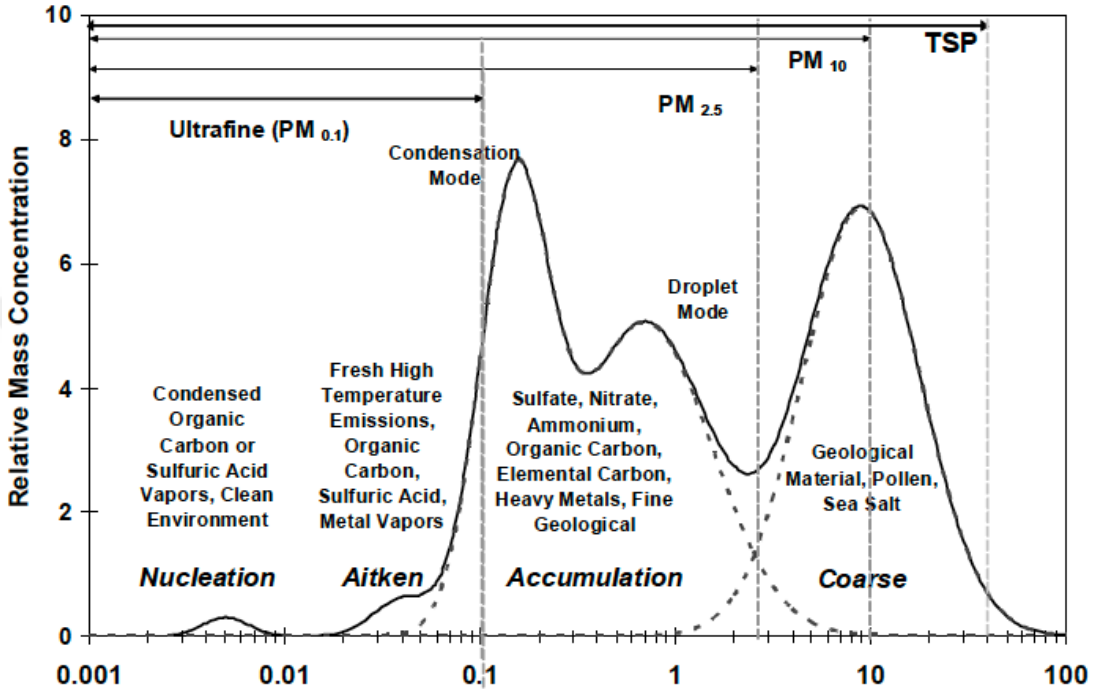
Atmosferik partikül madde (PM), hem insan faaliyetleri (antropojenik) hem de doğal kaynaklar tarafından atmosfere salınan katı ve sulu türlerin karışımından oluşur. Çok sayıda doğal ve antropojenik kaynak nedeniyle, PM farklı bölgelerde farklı fiziksel (boyut, yüzey, alan, yoğunluk, sayı) ve kimyasal özellikler gösterebilir. Ortam havasındaki PM'nin hem seviyeleri hem de bileşimi yerel ve bölgesel antropojenik emisyonların gücüne, klimatolojiye (sıcaklık, nem, radyasyon, yağmur süpürme, hava kütlelerinin yeniden sirkülasyonu ve dağıtıcı koşullar) ve topografya, toprak örtüsü, kurak bölgelere veya belirli bir bölgenin kıyılarına yakınlık gibi coğrafyaya bağlıdır. Bu nedenle, atmosferik partiküllerin konsantrasyonları, boyutları ve bileşimleri dünyanın farklı bölgelerinde önemli ölçüde değişiklik göstermektedir *(Öztürk, 2009).*

Fiziksel ve kimyasal dönüşüm mekanizmalarından geçen atmosferik aerosol parçacıkları, bölgesel hava kalitesi, küresel jeokimyasal döngüler ve dünyanın radyoaktif dengesi üzerinde önemli etkiye sahiptir.

2.1.1 Partiküllerin Boyut Dağılımı

Partikül madde (PM), farklı boyutlardaki partiküllerin karmaşık bir karışımıdır ve partikül boyutu dağılımını anlamak, çevresel ve sağlık üzerindeki etkilerini değerlendirmek için çok önemlidir. Çalışmalar, PM'nin aerodinamik çapa göre kategorize edilebileceğini göstermiştir. Bu kategorizasyonda PM_{10} (10 µm veya daha küçük çapa sahip partiküller), $PM_{2.5}$ (2.5 µm veya daha küçük çapa sahip partiküller) ve ultra ince partiküller (0.1 µm'den küçük partiküller) gibi yaygın

sınıflandırmalar bulunmaktadır *(Gao vd., 2024; Winijkul vd., 2015)*. Şekil 2.1' de görüleceği üzere partikül maddeler arasında aerodinamik çaplarına göre, ultra ince partiküller için PM_1 ve $PM_{0.1}$ gibi ayrımlar da yapılmaktadır *(Sompornrattanaphan vd., 2020)*. PM'nin bu farklı boyut fraksiyonları, atmosferde farklı özelliklere ve davranışlara sahiptir.



Şekil 2.1. Partikül aerodinamik çapı *(Watson vd., 2010)*

PM'nin boyut dağılımını anlamak, taşınımını, birikimini ve potansiyel sağlık etkilerini değerlendirmek için gereklidir. Çalışmalar, PM'deki biyo-aerosollerin ve bakterilerin boyutlarının havadan taşınma davranışlarını ve solunum yollarında birikme modellerini etkilediğini göstermiş ve maruz kalma risklerinin değerlendirilmesinde boyuta özgü hususların önemini vurgulamıştır *(Wu vd., 2020; Zheng vd., 2013)*. Partikül maddenin boyut dağılımı, çevresel akıbetinin, sağlık üzerindeki etkilerinin ve hava kalitesinin, eylem planlarının belirlenmesinde de önemli bir rol oynamaktadır.

2.1.2 Partikül Maddenin Kaynakları

Partikül madde, doğal ve antropojenik kaynaklardan atmosfere salınır *(Xu vd., 2012)*. Doğal kaynaklar arasında kurak bölgelerden gelen toprak, kayaların doğal aşınması, volkanik emisyonlar, deniz spreyi, orman yangınlarından kaynaklanan biyokütle yanması, bitkilerden kaynaklanan emisyonlar ve ikincil

organik aerosol oluşumu bulunur. Antropojenik kaynaklar ise çeşitli alt kategorilere ayrılabilir. Bunlar arasında evsel ısınma kaynaklı kömür ve doğal gaz yakma, yol tozu, yemek pişirme emisyonları, yangınlar ve araç emisyonlarıyla biyokütle yakma öne çıkar *(Seinfeld ve Pandis, 2006; Koçak, 2017; Vallero, 2014).*

Çeşitli kaynaklardan yayılan ince ($PM_{2.5}$) ve kaba partiküller (PM_{10}), trafik, endüstriyel faaliyetler, konut ısıtması ve biyokütle yakma gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır. $PM_{2.5}$ emisyonları özellikle trafik, fosil yakıt yanması ve endüstriyel süreçler kaynaklıdır. Diğer yandan, PM_{10}'un kirlilik kaynakları arasında dizel motorlar, endüstriyel faaliyetler ve konut ısıtması öne çıkmaktadır *(Akan, 2022)*. Atmosferdeki kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan ikincil organik aerosoller, atmosferik partikül yüküne katkıda bulunur ve hava kalitesini etkileyebilir *(McFiggans vd., 2019)*.

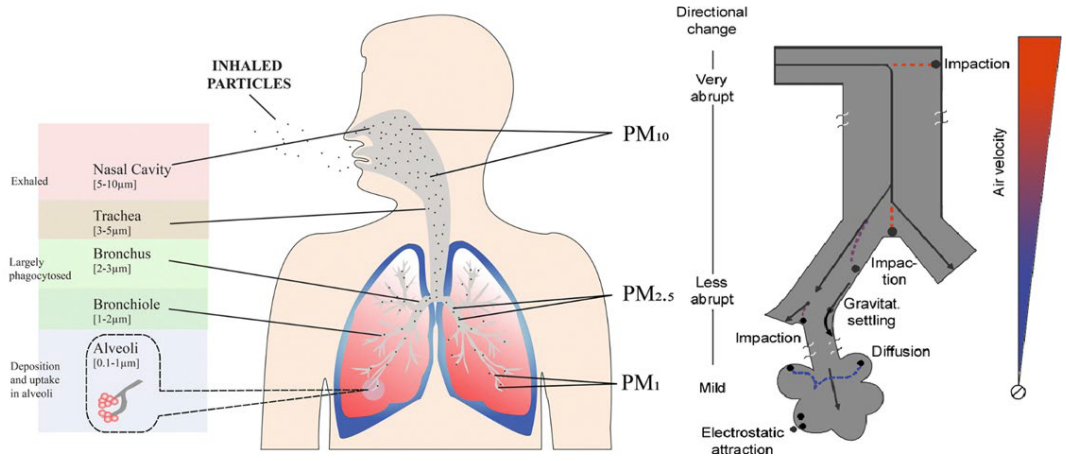
Daha yüksek $PM_{2.5}/PM_{10}$ oranları antropojenik partikül kirliliğine işaret ederken, daha düşük oranlar toprak ve toz fırtınaları gibi doğal kaynaklardan önemli miktarda kaba partikül oluştuğunu göstermektedir *(Şahin vd., 2022).* Hava kalitesi ve insan sağlığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan aerosoller artan malzeme kullanımı, enerji talebi ve küresel ekonomik büyüme ile ilişkilendirilir *(Mutua vd., 2021)*.

Kömürlü termik santrallerden ve endüstriyel kazanlardan yayılan PM' nin boyut dağılımının iki modlu olduğu ve kadmiyum, arsenik ve selenyum gibi bazı elementlerin daha küçük parçacık boyutlarında zenginleştiği bulunmuştur *(Zhao vd., 2016; Zheng vd., 2013)*.

Evlerde soba ve şömine kullanımı, ince partikül madde ($PM_{2.5}$), elementel karbon (EC) ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) gibi doğrudan salınan önemli kirletici kaynaklardan biridir ve bu durum hava kalitesini etkiler *(Theodosi vd., 2018).* Siyah karbon (BC) ve organik karbon (OC) dahil olmak üzere karbonlu aerosoller, evsel biyoyakıt yanmasından kaynaklanan hava kirliliğine katkıda bulunur *(Li vd., 2009).*

2.1.3 Partikül Maddenin Çevre ve İnsan Sağlığına Etkileri

Atmosferik aerosollerin insan sağlığı üzerindeki etkisi büyüktür. Boyutları, morfolojileri ve kimyasal bileşimleri, insan, hayvan ve bitki sağlığına olan olumsuz etkilerini belirler. Bu partiküller solunum yoluna girebilir; birkaç nanometre boyutundaki küçük partiküller alt solunum yolunda, birkaç mikrometre boyutundaki büyük partiküller ise üst solunum yolunda birikir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Solunum yolu partikül biriktirme mekanizması *(Hussain vd., 2011; Poh vd., 2018)*

Çalışmalar, partikül maddeye, özellikle $PM_{2.5}$'e maruz kalmanın solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler sorunlar ve artan ölüm oranları dahil olmak üzere olumsuz sağlık etkileriyle ilişkili olduğunu göstermiştir. Yanma süreçlerinden ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan ince partikül madde, insan sağlığı için önemli bir risk oluşturmaktadır *(Sofia vd., 2020)*.

Araştırmalar, $PM_{2.5}$ ve PM_{10}'a maruz kalmanın kardiyovasküler sorunlar, solunum yolu hastalıkları ve artan ölüm oranları gibi olumsuz sağlık etkileriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Uzun süreli maruziyet, inme, iskemik kalp hastalığı mortalitesi ve kardiyovasküler hastalık riskindeki artışla bağlantılıdır *(Lipsett vd., 2011)*. Ayrıca hava kirliliğine, özellikle de $PM_{2.5}$'e akut maruziyet, hava kalitesi standartlarının düzenlenmesinin önemini vurgulayan önemli bir ölüm nedenidir *(Di vd., 2017; Stieb vd., 2002)*. Ayrıca, $PM_{2.5}$'te kurşun ve nikel gibi ağır metallerin bulunması, solunum ve kardiyovasküler hastalıklar için hastaneye yatışlarla ilişkilendirilmiştir *(Bell vd., 2009)*.

Partikül maddenin sağlık üzerindeki olumsuz etkileri fiziksel sağlıkla sınırlı olmayıp ruh sağlığı sonuçlarına da uzanmaktadır. İnce partikül maddeye maruz kalma, çocuklarda depresif semptomlarla ilişkilendirilmiştir ve bu da zihinsel refah üzerinde daha geniş bir etkiye işaret etmektedir *(Joo vd., 2022)*. Ayrıca, partikül madde maruziyeti, Yine PM kirliliğinin çok yönlü sağlık etkilerini vurgulayarak metabolik değişiklikler, yüksek kardiyovasküler risk ve intihar riskine potansiyel katkılarla ilişkilendirilmiştir *(Bakian vd., 2015; Tian vd., 2018)*.

Ultra ince partikül kirleticiler ile oksidatif stres arasındaki ilişki, farklı boyut ve bileşimlere sahip partikül maddelerinin sağlık risklerini vurgulamakta ve bu partiküllerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini anlamak için daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir *(Li vd., 2003).*

Hava kirliliğinin yaygın bir bileşeni olan ince partikül madde, tarihi eserler ve kültürel miras alanları için de önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Partikül maddeden kaynaklanan karbonlu partiküllerin anıt yüzeylerinde birikmesi, özellikle iklimsel ve mikroklimatik faktörlerden etkilenen yağmur ve fiziksel stresten korunan alanlarda kirlenmeye yol açabilir *(Lotrecchiano vd., 2022).* Havadaki partikül kirliliği, müdahale edilmediği takdirde bina yüzeylerinde kırıklar, siyah kabuklar ve diğer bozulmalara sebep olma potansiyeli ile küresel olarak anıtlara verilen zararın ana nedeni olarak tanımlanmıştır *(Marrocchino vd., 2021).* Çalışmalar, partikül maddenin kültürel miras üzerindeki etkisini vurgulayarak etkili azaltma stratejilerine duyulan ihtiyacı ortaya koymuştur. Araştırmalar, partikül maddenin zaman içinde eserlerin yüzeyini değiştirerek kültürel ve miras değerlerini azaltabileceğini göstermiştir *(Din vd., 2018).*

2.1.4 Meteorolojik Faktörlerin Partikül Madde Üzerine Etkileri

Meteorolojik koşullar atmosferdeki partikül madde (PM) konsantrasyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir *(Wang ve Ogawa, 2015).* Kirletici konsantrasyonları temel olarak, yerel kaynak salınımları, uzun mesafeli taşınım ve basınç, sıcaklık, nem, yağış, rüzgâr gibi meteorolojik koşullardan etkilenmektedir. Yapılan çalışmalarda, meteorolojik parametrelerin günlük değişimlerinde, kirleticilerin birikimi ve dağılımının $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarındaki değişimin %50' sine neden olabileceği gösterilmekle birlikte, rüzgâr hızı, sıcaklık, bağıl nem ve hava basıncı gibi meteorolojik koşulların atmosferik asılı partikül madde seviyeleri üzerindeki önemli etkisini vurgulamıştır *(Gao vd., 2020; Koçak, 2017).* Bu faktörler, partikül maddenin taşınmasını, dağılmasını ve seyrelmesini etkileyerek farklı çevresel ortamlarda PM konsantrasyonlarında değişikliklere yol açmaktadır *(Gao vd., 2020; Uugwanga ve Kgabi, 2021).*

Japonya'da (Nagasaki) meteorolojik faktörlerin, ince partikül madde konsantrasyonları üzerindeki etkisini bir yıl boyunca araştıran Wang ve Ogawa'nın (2015) yaptığı çalışmada sıcaklık, yağış, nem ve rüzgâr hızı gibi yerel hava koşullarının $PM_{2.5}$ seviyeleri üzerindeki önemli etkisi vurgulanmaktadır. Çalışmada sıcaklık ile $PM_{2.5}$ konsantrasyonları arasında negatif bir korelasyon bulmuştur.

Yani, $PM_{2.5}$ seviyelerinin düşmesi yüksek sıcaklıklar ile ilişkilidir. Bununla birlikte, yağışın başlangıçta atmosferdeki partikülleri yıkayarak $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarını artırdığı, ancak daha sonra ıslak çökelme yoluyla bu partikülleri azalttığı gözlemlenmiştir. Aynı çalışma sonuçlarına göre $PM_{2.5}$ ile nem veya rüzgâr hızı arasındaki ilişki karmaşıktır. Bu değişkenlerin belirli değerlerine bağlı olarak korelasyon pozitiften negatife dönebilmektedir. Örneğin, yüksek nem, higroskopik süreçler yoluyla partikül büyümesine yol açabilirken, yüksek rüzgâr hızları kirleticileri dağıtabilir veya başka bölgelerden yeni partiküller getirebilir *(Wang ve Ogawa, 2015)*.

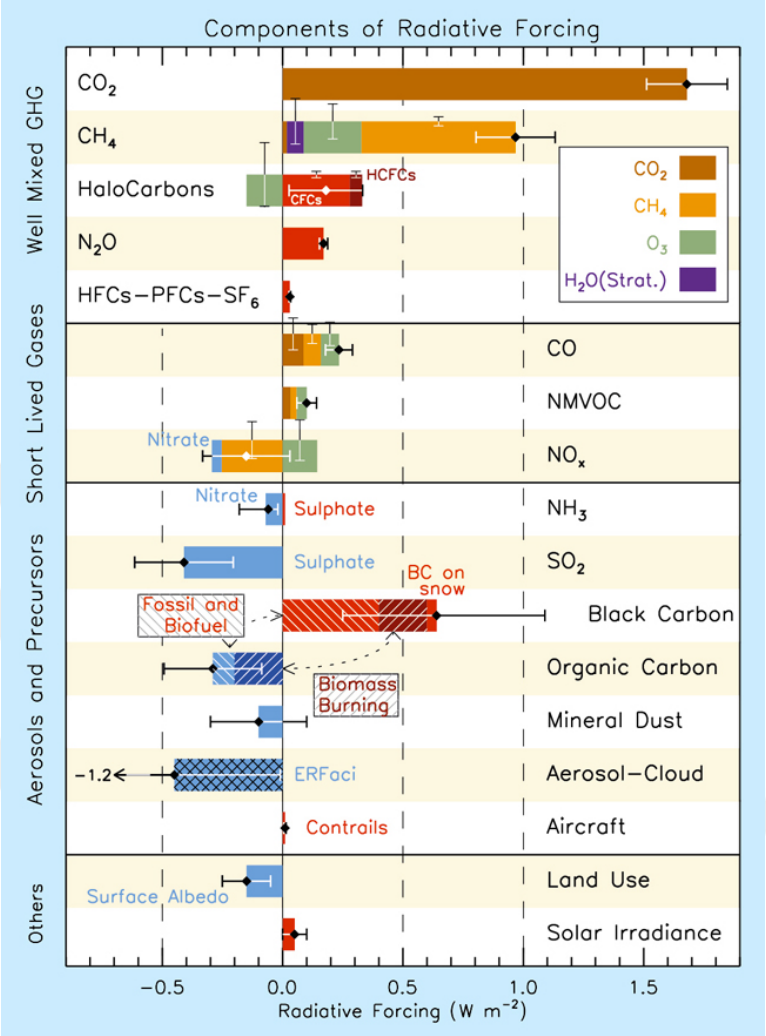
2.1.5 Partikül Maddenin İklim Üzerine Etkileri

Aerosoller dünya atmosferinin yalnızca küçük bir bölümünü (toplam atmosferin %0.0001'inden azını) oluşturmalarına rağmen, çeşitli mekanizmalar aracılığıyla iklim üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler. Öncelikle, aerosollerin büyük bir kısmı güneş radyasyonunu dağıtarak Dünya'nın albedosunu artırır, bu da gezegenin yüzeyine ulaşan radyasyon miktarını azaltarak daha soğuk bir gezegen olmasına yol açar *(Wallace ve Hobbs, 2006)*. Buna karşılık, siyah karbon ve mineral toz gibi aerosoller güneş radyasyonunu etkili bir şekilde emer ve küresel ısınmaya katkıda bulunur *(Boucher vd., 2013)*. Bu süreçler, aerosollerin doğrudan iklim etkisi olarak adlandırılır.

Aerosoller aynı zamanda bulut oluşumunda da önemli bir rol oynar ve bulutlarla etkileşimleri aracılığıyla iklimi etkiler. Bulut yoğunlaşma çekirdekleri (CCN), su buharının üzerinde yoğunlaşarak bulut damlacıklarını oluşturduğu parçacıklardır. Daha fazla CCN'ye sahip bulutlar daha fazla ancak daha küçük damlacık içerir ve bu nedenle daha az CCN'ye sahip olanlardan daha yansıtıcıdır. Bulutların yansıtıcılığının artması, daha fazla kısa dalga radyasyonunun uzaya geri yansıtılmasına neden olur ve bu da daha soğuk bir gezegene katkıda bulunan negatif bir radyatif zorlama uygular. Bu etki, aerosollerin iklim üzerindeki dolaylı etkisi olarak kabul edilir *(Boucher vd., 2013)*.

IPCC (2013) (Intergovernmental Panel on Climate Change)'nin 5. Değerlendirme Raporu'na göre, aerosoller ve öncü gazlar Sanayi Çağı'nın radyatif kuvvetinde önemli bir rol oynamaktadır. Rapor, bu bileşenlerin sanayi öncesi dönemden bu yana Dünya iklimi üzerinde soğutucu bir etkiye sahip olduğunu ve sera gazlarının neden olduğu ısınma etkisine karşı koyduğunu belirtmektedir. Şekil

2.3'te kırmızı çubuklar pozitif radyatif kuvveti, mavi çubuklar ise negatif radyatif kuvveti göstermektedir.



Şekil 2.3. 1750'den 2011'e kadar salınan bileşenlerle gösterilen Sanayi Çağı boyunca iklim değişikliğinin radyatif etkisi *(IPCC, 2013)*

2.2 Atmosferdeki Gaz Fazlı Kirleticiler

Dünya Sağlık Örgütü, nitrojen dioksit (NO_2), ozon (O_3), kükürt dioksit (SO_2) ve partikül madde (PM) dahil olmak üzere hava kirleticilerinin sağlık üzerindeki etkilerini Hava Kalitesi Kılavuzu (2005)'unda ele almıştır *(Dehghani vd., 2017)*. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), "kritik hava kirleticileri" olarak adlandırılan altı temel kirletici (PM, karbon monoksit, kükürt dioksit, ozon, nitrojen dioksit ve kurşun) için Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartları'nı belirlemiştir. *(Suh vd., 2000)*.

Karbon monoksit, genellikle eksik yanma sonucu oluşan renksiz ve kokusuz bir gazdır. Dış ortamda en büyük CO kaynakları otomobiller, kamyonlar ve fosil yakıt yakan diğer araçlar veya makinelerdir *(EPA).* CO, hemoglobine bağlanarak oksijen taşıma kapasitesini azaltır ve bu durum, baş ağrısı, baş dönmesi, yorgunluk ve yüksek seviyelerde ölümle sonuçlanabilir *(Raub vd., 2000).*

Kükürt dioksit (SO_2), insan sağlığı ve çevre üzerinde zararlı etkileri olan önemli bir hava kirleticisidir. Atmosferdeki en büyük SO_2 kaynağı, enerji santralleri ve diğer endüstriyel tesislerde fosil yakıtların yakılmasıdır. Daha küçük SO_2 emisyon kaynakları arasında cevherden metal çıkarma gibi endüstriyel faaliyetler, volkanlar gibi doğal kaynaklar ve yüksek kükürt içerikli yakıt yakan lokomotifler, gemiler, diğer araçlar ve ağır ekipmanlar yer alır *(EPA, 2024).* SO_2 ayrıca atmosferdeki dimetil sülfürün (DMS) oksidasyonu ile oluşur. Bu süreç, DMS' nin hidroksil radikali tarafından oksitlenmesi sonucu SO_2'nin oluşmasına neden olur *(Quinn ve Bates, 2011).* Ayrıca, SO_2 kömür yakma, endüstriyel faaliyetler ve trafik emisyonları gibi kaynaklardan da yayılır *(Zhang vd., 2007; Zhao vd., 2022).*

SO_2 atmosfere girdikten sonra ikincil dönüşüm ve foto-oksidasyon süreçlerinden geçebilir *(Li vd., 2022).* Bu süreçler, SO_2'nin diğer bileşiklere dönüşmesine yol açarak ikincil inorganik aerosollerin oluşumuna katkıda bulunur *(Zhang ve Smith, 2007).* Ayrıca, SO_2 atmosferdeki diğer kirleticilerle reaksiyona girerek partikül madde oluşturabilir, bu da hava kalitesi ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir *(Bakian vd., 2015; Liu vd., 2017).*

Azot oksitlerin birçok kimyasal türü mevcuttur, ancak insan sağlığı açısından en çok ilgi çeken hava kirletici türü azot dioksittir (NO_2). NO_2, karakteristik keskin bir kokuya sahip kırmızımsı kahverengi bir gazdır. NO havaya maruz kaldığında kendiliğinden dioksit üretir. Azot dioksit gazı güçlü bir oksidandır ve nitrik asit ve nitrik oksit üretmek için su ile reaksiyona girer *(DSÖ, 2021).*

Azot dioksit (NO_2), hem dış mekan (trafik) hem de iç mekan (gazlı pişirme) kaynakları olan zehirli bir gazdır. Kentsel dış ortamlarda, NO_2 esas olarak birincil trafik kirleticisi olan azot monoksidin (NO) oksidasyonundan elde edilir. Ozon (O_3), atmosferde azot oksitler ve uçucu organik bileşikler içeren, güneş radyasyonu tarafından yönlendirilen kimyasal reaksiyonlarla oluşan oldukça reaktif bir oksidatif gazdır. Yüksek trafik yoğunluğuna sahip kentsel alanlarda, azot oksitler (NO ve NO_2) genellikle yüksektir ve genellikle gündüz saatlerinde O_3 ile negatif korelasyon gösterir. Çalışmalar NO_2 ve O_3'ün her ikisinin de solunum fonksiyonu,

hastaneye yatış ve erken ölüm dahil olmak üzere insan sağlığını olumsuz etkilediğini göstermektedir *(Malig vd., 2016; Strickland vd., 2010; Urman vd., 2014)*.

Üç oksijen atomundan oluşan ozon (O_3), atmosferde doğal olarak üretilen güçlü bir oksidan gazdır. Hem stratosferde hem de troposferde bulunur. Bulunduğu yere bağlı olarak iyi ya da kötü olarak adlandırılabilir. İyi ozon veya stratosferik ozon atmosferin üst kısımlarında bulunur ve zararlı güneş ultraviyole ışınlarını perdeleyen bir katman olarak rol oynar *(Pöschl, 2005)*. Troposferde ise ikincil kirletici olarak sınıflandırılır çünkü doğrudan yayılmaz, ancak öncüllerden kimyasal reaksiyonlar yoluyla oluşur. Ozonun iki ana birincil öncüsü vardır: alkanlar, alkenler, aromatik hidrokarbonlar, karbonil bileşikleri, alkoller, organik peroksitler ve halojenli organik bileşikler dahil olmak üzere VOC'ler ile azot oksitler (NO_x) gibi uçucu organik bileşikler. Bu bileşikler arasındaki reaksiyonlar güneş ışığının varlığında meydana gelir. Ozon oluşumunda rol oynayan diğer önemli unsurlar karbon monoksit ve metandır *(DSÖ, 2006)*. Bu kirleticiler, trafik emisyonları, endüstriyel faaliyetler, enerji santralleri, kimyasal tesisler ve diğer çeşitli kaynaklardan atmosfere salınır. *(Tyagi vd., 2020; Zhao vd., 2022)*. Ozon seviyesinin kentsel ortamlarda, sıcak ve güneşli günlerde sağlıksız seviyelere ulaşma olasılığı yüksektir, ayrıca daha soğuk aylarda da yüksek seviyelere ulaşabilir. Ozon ayrıca rüzgârla uzun mesafelere taşınabildiği için kırsal bölgeler bile yüksek ozon seviyeleri yaşayabilir *(Tyagi vd., 2020)*.

2.3 Literatürdeki Diğer Çalışmalar

Atmosferik aerosoller atmosferik kimyayı, ortam hava kalitesini, görünürlüğü ve dünyanın radyasyon bütçesini önemli ölçüde etkiler. Kıtalar üzerinde, partikül madde (PM) ya çeşitli doğal süreçler ya da çeşitli antropojenik faaliyetler nedeniyle oluşmaktadır. Partikül madde, hava kalitesi ve sağlık üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle son yıllarda kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (*Schwartz vd., 1996*; *Li vd., 2009*; *Ram vd., 2012*; *Sharma vd., 2014*). Birçok çalışma aerosollerin, özellikle de ince fraksiyon (aerodinamik çapı <2,5 µm olan partikül madde) partiküllerin kardiyovasküler ve solunum bozuklukları gibi ciddi insan sağlığı etkilerine yol açabileceğini ortaya koymuştur.

Partikül çapı 2,5 µm veya daha küçük olan partiküller, zararlı sağlık etkilerine önemli ölçüde katkıda bulunmaları *(Dockery ve Pope, 1994*; *Ostro vd., 2006)*, hücre zarlarına daha etkili bir şekilde nüfuz etmeleri *(Bell vd., 2009; Li vd,*

2003; Salma vd., 2002) ve toksik ve kanserojen bileşenlerin taşıyıcısı olarak hareket etmeleri *(Beddows vd., 2004)* nedeniyle özellikle ilgi çekicidir. Son epidemiyolojik çalışmalar, kardiyovasküler mortalite ve morbidite ile kayda değer ilişkileri ortaya koyarak, karbonlu aerosollerin yüksek seviyelerine maruz kalma riskini vurgulamıştır *(Ostro vd., 2010*; *Lipsett vd., 2011; Krall vd., 2013)*. Eser metaller de toksisiteleri nedeniyle kronik ve akut sağlık sorunlarıyla ilişkilidir *(Pope III vd., 2002; Stieb vd., 2002)*. Bu çalışmalar ile birlikte partikül maddenin konsantrasyonunu ölçmek insan sağlığına etkisini tek başına göstermemektedir *(Harrison ve Yin, 2000)*. Partikül maddenin fiziksel yapısının ve kimyasal içeriğinin tam olarak bilinmesi ve insan sağlığına etkisinin belirlenmesi gerekmektedir (*Paoletti vd., 2002)*. Partikül maddenin fiziksel özelliklerinin yanı sıra iyon içeriği, organik ve inorganik bileşenleri, gaz kirleticileri ve biyolojik bileşenlerinin incelenmesi gereklidir *(Dreher 2000)*.

Li vd. (2020) Çin'in kuzeybatısında (Orta Asya) bulunan Akedala İstasyonu'nda yaptıkları çalışmada $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarını araştırmışlar ve mevsimsel olarak sonuçları hesaplamışlardır. Sonuçlar PM_{10} ve $PM_{2.5}$ fraksiyonlarında kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar olmak üzere sırasıyla 23.08, 17.63; 20.62, 10.42; 16.95, 9.08 ve 18.96, 8.79 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür. Akedala'da hava kirliliği en çok kış aylarında görülmüş ve PM_{10}'un baskın kısmını (%54 ile 76 arasında) $PM_{2.5}$ aerosolleri oluşturmuştur.

Rengarajan vd. (2011) Batı Hindistan'daki bir şehirde kış mevsiminde 30 gün boyunca örnekleme yaparak $PM_{2.5}$ ve PM_{10} kompozisyonunun kimyasal bileşimini incelemişlerdir. PM_{10} kütlesinin yaklaşık %43'üne denk gelen $PM_{2.5}$ kütlesi, kentsel atmosferde kaba fraksiyon aerosollerin hakim olduğunu göstermektedir ve PM_{10} kütlesinin büyük miktarda mineral toz ve organik maddelerin içerdiği görülmüştür. Elementel karbon, $PM_{2.5}$ kütlesinde PM_{10} kütlesindekine göre daha yüksek miktarda bulunmuştur. Organik karbonun (OC) elementel karbona (EC) oranını 6.2 olarak hesaplamışlar, kirletici kaynaklarının biyokütle yakımı olduğunu bulmuşlardır.

Batı Karadeniz bölgesinde yer alan Bolu ovasındaki bir kentsel örnekleme noktasında, Öztürk & Keleş'in (2016) Aralık 2014 ve Şubat 2015 arasında yaptığı çalışmada, $PM_{2.5\text{-}10}$ ve $PM_{2.5}$ fraksiyonlarından oluşan toplam 60 PM örneği toplanmıştır. Toplanan örnekler, metaller (Al, As, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Pb, S, Si, Ti, V ve Zn), elementel karbon (EC) ve organik karbon (OC) açısından

analiz edilmiştir. Örnekleme dönemi boyunca OC, EC ve TC için ortalama konsantrasyonlar sırasıyla 59.9 ± 50.4, 5.92 ± 4.79 ve 65.8 ± 54.9 μg/m^3 olarak bulunmuştur. Toplam OC kütlesine birincil ve ikincil OC'nin (POC ve SOC) katkıları sırasıyla %60 ve %40 iken, ikincil organik karbonun (SOC) OC'ye katkısı kararlı atmosferik koşullarda %74'e kadar artmaktadır. Bu çalışmada diğer kış çalışmalarına göre önemli ölçüde yüksek bulunan OC/EC oranı (~10.1), çalışma sırasında artan konut ısınmasından kaynaklanan emisyonlara ve gözlem sırasındaki düşük karışım yüksekliği ile ilişkilendirilmiştir.

Arı vd. (2008) İskenderun ve Payas'ta dört farklı bölgede $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Bulgulara göre $PM_{2.5}$ konsantrasyonları İskenderun şehir merkezinde 26.7 μg/m^3, İskenderun yarı kentsel sit alanında 21.3 μg/m^3 Payas merkezde 28.8 μg/m^3 ve Payas sahil örnekleme alanında 26.4 μg/m^3 'tür. PM_{10} kütle konsantrasyonları sırasıyla 60 μg/m^3, 59. 9 μg/m^3, 147.1 μg/m^3 ve 125.7 μg/m^3 olarak bulunmuştur.

Koçak vd. (2011) İstanbul'da (Kasım 2007 – Haziran 2009) toplanan PM_{10} örneklerinde suda çözünen iyonlar, suda çözünen organik karbon (WSOC), organik ve elementel karbon ve eser metal konsantrasyonlarını incelemişler ve kaynak dağılımını araştırmışlardır. Toplanan örneklerde PM_{10} için kış ortalaması 44.5 μg/m^3, geçiş dönemi 39.1 μg/m^3 ve yaz ortalaması 29.8 μg/m^3 olarak bulunmuştur. Pozitif Matriks Faktörizasyonu (PMF) kullanılarak yapılan kaynak dağılımı analizi, PM_{10}'un yaklaşık %80'inin antropojenik kaynaklı olduğunu göstermektedir (ikincil, çöp yakma, akaryakıt ve katı yakıt yanması ve trafik). Yer ve deniz tuzu, gözlemlenen kütlenin sırasıyla %10.2 ve %7.5'ini oluşturmaktadır. Genel olarak, antropojenik (ikincil hariç) aerosol kış aylarında daha yüksek konsantrasyon ve katkı göstermektedir. Yer kabuğu kaynaklı ortalama konsantrasyon ve katkının, Kuzey Afrika'dan mineral toz taşınımı nedeniyle geçiş döneminde daha önemli olduğu bulunmuştur. Örnekleme dönemi boyunca, 50 μg/m^3 sınır değerini aşan 42 olay tespit edilmiştir. Bu aşımların önemli bir yüzdesi (%91; n = 38) antropojenik kaynaklara atfedilmektedir.

$PM_{2.5}$'in ana bileşenlerinden birisi organik karbon ve elementel karbon içeren karbonlu bileşiklerdir. Elementel karbon yanma süreçleri sırasında oluşan birincil bir kirletici iken organik karbon atmosferde ikincil bir oluşuma uğramadan önce birincil kaynaklardan yayılan bileşiklerin karışımından oluşur *(Steinfeld, 1998)*. Helsinki Finlandiya'da yapılan bir çalışmada karbonlu bileşenlerin ana

kaynaklarının biyokütle yanması, trafik ve uzun menzilli taşıma olduğu bulunmuştur *(Saarikoski vd., 2008)*. Karbonlu bileşenlerin varlığı, genç ve sağlıklı yetişkinler arasında bile akciğer fonksiyonlarının azalmasıyla ilişkilendirilmiştir *(Huang vd., 2019)*.

Organik karbon (OC), elementel karbon (EC), suda çözünebilir inorganik iyonik bileşenler (WSIC) ve partikül maddenin (PM_{10}) ana ve eser elementlerinin değişimi 2010 yılında Hindistan'da kentsel bir bölgede incelenmiştir. Kış aylarında ölçülen maksimum değerler PM_{10} için 213.1±14.9 μg/m^3; OC için 36.05±11.60 μg/m^3; EC için 9.64±2.56 μg/m^3 ve yağışlı yaz dönemindeki minimum değerler PM_{10} için 134.7±39.9 μg/m^3; OC için 14.72±6.95 μg/m^3; EC için 3.35±1.45 μg/m^3 olmak üzere güçlü mevsimsel değişimler gözlenmiştir. Ana ve eser elementlerin (Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, CA, Cr, Ti, Fe, Zn ve Mn) ortalama konsantrasyonu PM_{10} kütlesinin ~%7'sini oluşturmuştur *(Sharma vd., 2014)*.

Atina'daki kirlilik olaylarını azaltmaya yönelik etkili önlemler almak için $PM_{2.5}$ bileşimi ve kaynakları hakkında araştırma yapan Theodosi vd. (2018), Aralık 2013'ten Mart 2016'ya kadar Atina'nın merkezindeki kentsel bir arka plan alanında toplanan aerosol örneklerinden 2 yıllık bir kimyasal bileşim veri seti elde etmiş ve ince aerosolleri tanımlamak ve kaynaklarına ayırmak için bir Pozitif Matriks Faktörizasyon analizi (PMF) uygulamışlardır. Toplam 850 aerosol numunesi 12 ile 24 saat esasına göre toplanmış ve ana iyonlar, eser elementler, organik ve elementel karbon açısından analiz edilerek Atina üzerindeki hava kirliliğinin bir kaynağı olarak konut ısıtmasının etkisinin daha fazla olduğunu göstermişlerdir. İyonik ve karbonlu bileşenlerin $PM_{2.5}$ aerosol kütlesinin ana kısmını oluşturduğu bulunmuştur. İyonik kütle, partikül organik kütle, toz, elementel karbon (EC) ve deniz tuzunun yıllık katkısı sırasıyla %31, %38, %18, %8 ve %3 olarak hesaplanmış ve önemli mevsimsel değişimler göstermiştir. Kış aylarında, $PM_{2.5}$ kütlesinin %52'sini oluşturan baskın bileşen partikül organik kütle+elementel karbon iken, iyonik kütlenin payı %23'e kadar düşmüş, yaz aylarında ise iyonik kütle (%42) ve karbonlu aerosoller (%41) neredeyse eşit oranda katkıda bulunmuştur.

Çin'in Shenyang kentindeki ana yollar üzerindeki PM_{10} ve $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyonlarını izlemek için 2018 yılının Eylül, Ekim ve Kasım aylarında toplanan veriler analiz edilmiş ve en düşük PM_{10} konsantrasyonu 25.41 μg/m^3, en düşük $PM_{2.5}$ konsantrasyonu ise 53,19 μg/m^3 olmuştur. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ seviyeleri, park alanlarına yakın veya uzak izleme noktaları arasında önemli ölçüde farklılık

göstermiş, parklara yakın yerlerde hem PM_{10} hem de $PM_{2.5}$ seviyelerinde belirgin düşüşler görülmüştür. Hem trafik akışı hem de park alanlarına yakınlık Shenyang'daki PM_{10} ve $PM_{2.5}$ kütle konsantrasyonlarını önemli ölçüde etkilemiştir *(Qu vd., 2023)*.

Shanmuga Priyan vd. (2022) yaptıkları çalışmada Delhi şehrinde şehrin dört farklı bölgesini temsil eden dört farklı konumda (kentsel arka plan, şehir merkezi, rüzgârın geldiği yön ve rüzgârın gittiği yön) iki farklı yükseklikte (Düşük yükseklik, LE : 5-10 m ve daha büyük yükseklik, HE : 30-45 m) PM_{10} ve $PM_{2.5}$ fraksiyonlarının kimyasal bileşimi ve kaynak paylaşımını araştırmışlardır. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonlarının (24 saatlik ortalama) sırasıyla 135.2-258.7 µg/m³ ve 79.3-120.9 µg/m³ arasında olduğu, ortalama konsantrasyonların LE'de daha yüksek olduğu görülmüştür. Kaynak dağılımı incelendiğinde araç emisyonu (dizel, PM_{10} ~ 8.8 µg/m³ -%21.7 ve $PM_{2.5}$ ~ 10.5 µg/m³ -%24.4 ve benzin, PM_{10} ~ 4.8 µg/m³ -%15.6 ve $PM_{2.5}$ ~ 6.7 µg/m³ -%14.8), endüstriyel kalıntı yağ yakımı (PM_{10} ~ 8.8 µg/m³ -%23.5 ve $PM_{2.5}$ ~ 3.2 µg/m³ - %10.4), yol tozu (PM_{10} ~ 13.6 µg/m³ -%22.3 ve $PM_{2.5}$ ~ 8.8 µg/m³ -%17.8), toprak tozu (PM_{10} ~ 33.8 µg/m³ -%41.1 ve $PM_{2.5}$ ~ 5.8 µg/m³-%8.3), ikincil nitrat (PM_{10} ~ 6.1 µg/m³ -%16.2 ve $PM_{2.5}$ ~ 13.4 µg/m³ -%20.2), ikincil sülfat (PM_{10} ~ 7.1 µg/m³ -%12.3 ve $PM_{2.5}$ ~ 10.6 µg/m³ -%16.7) ve biyokütle yakımı (PM_{10} ~ 6.8 µg/m³ -%21.8 ve $PM_{2.5}$ ~ 4.9 µg/m³ -%38.7) ana PM kaynakları olarak tanımlanmıştır.

Sülfür dioksit, sülfür içeren yakıtlar yakıldığında veya sülfür içeriği yüksek hammaddeler içeren yüksek sıcaklıktaki endüstriyel işlemlerden yayılır. Nehir ve göllerdeki su ekosistemleri üzerinde olumsuz etkiler; ormanlara ve karasal ekosistemlere zarar ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi önemli etkileri olabilecek asitleşmeye katkıda bulunur. SO_2 solunum sistemini etkileyebilir ve akciğer fonksiyonlarını azaltabilir *(DSÖ, 2013)*. Aynı zamanda, önemli sağlık etkileriyle ilişkili olan PM'nin önemli bir öncüsüdür *(Guerreiro vd., 2014)*.

Elementel karbon (EC) ve organik karbon (OC) dahil olmak üzere atmosferik aerosolün karbonlu fraksiyonu, partikül maddeye önemli bir katkı sağlamaktadır *(Harrison vd., 2004; Jones ve Harrison 2005; Aatmeeyata ve Sharma 2010; Peng vd., 2018; Wang vd., 2019*). Karbonlu fraksiyon, partikül maddenin önemli bir bileşenidir ve genellikle PM kütlesinin %20 ile %50'si arasında değişir *(Kanakidou vd., 2005; Putaud vd., 2010)*. EC birincil yanma kaynaklarından yayılırken, OC hem birincil hem de ikincil kaynak olabilir. EC,

yüksek sıcaklıklarda yanma reaksiyonları ile oluşur ve inert doğası nedeniyle izotopik yapıları çok fazla değişmez (*Wu ve Yu 2016)*. OC birincil kaynaklardan yayılabilir ve atmosferde meydana gelen ikincil yolların bir ürünü olabilir *(Hettiyadura vd., 2018; Zhang vd., 2018)*. İkincil organik karbon (SOC) genellikle atmosferdeki ince PM'nin önemli bir kısmını oluşturur *(Campbell vd., 2019*; *McFiggans vd., 2019)*. Higroskopik yapısı nedeniyle ışığı emebilir ve bulut yoğunlaşma çekirdeklerinin (CCN) oluşumunu kolaylaştırabilir (*Fofie vd., 2018)*. Bu nedenle, ikincil organik karbon (SOC) üretim yolları ve SOC konsantrasyonunun tahmini son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. EC bir yanma ürünü olduğundan, OC'nin birincil fraksiyonu için sıklıkla bir izleyici olarak kullanılır *(Cabada vd., 2004; Cheng vd., 2011; Strader vd., 1999)*.

Chen vd. (2020) Nepal'in güneyinde yer alan Lumbini adlı kırsal bölgesinde üç yıl boyunca toplanan örnekler ile yaptıkları çalışmada $PM_{2.5}$ içerisindeki karbonlu aerosollerin konsantrasyonları, bileşimi ve kaynakları ile ışık emme özelliklerini araştırmışlardır. Toplam asılı partikül, OC ve EC konsantrasyonları sırasıyla 203.9 µg/m³, 32.1 µg/m³ ve 6.44 µg/m³ olarak gözlenmiştir. SO_4^{2-} ve Ca^{2+} en baskın anyon ve katyonlar olmak üzere konsantrasyonları sırasıyla 7.34 ve 5.46 µg/m³ bulunmuştur. Sanayi, araç emisyonu ve biyokütle yakma faaliyetleri yüksek kirletici konsantrasyonlarının ana nedenleri olarak görülmüştür.

İkincil organik aerosolün (SOA) kentsel alanlardaki partikül hava kirliliğine katkısını anlamaya yönelik artan ilgiyle birlikte, Malezya'nın Kuala Lumpur şehrinde karbonlu aerosollerin seviyelerini belirlemek için araştırma yapan Suradi vd. (2021), Ocak-Mart 2019 tarihleri arasında 24 saat boyunca yüksek hacimli bir örnekleyici kullanarak $PM_{2.5}$ örnekleri toplamıştır. Örnekler suda çözünen organik karbon (WSOC), organik karbon ve elementel karbon için analiz edilmiştir. $PM_{2.5}$'teki ikincil organik karbon (SOC) tahmin edilmiştir. Ortalama WSOC, OC ve EC konsantrasyonları sırasıyla 2,73±2,17 (0,63-9,12 aralığında) µg/m³, 6,88±4,94 (3,12-24,1) µg/m³ ve 3,68±1,58 (1,33-6,82) µg/m³ olup, ortalama SOC 2,33 µg/m³ olarak tahmin edilmiş ve toplam OC'ye %34 oranında katkıda bulunmuştur. $PM_{2.5}$'in biyokütle ve kömür yanma kaynaklarından etkilendiğini göstermişlerdir.

Seibert vd. (2020) Çek Cumhuriyetinde, yerel konut ısıtması (kömür ve odun yakma), ağır sanayi (çoğunlukla demir ve çelik üretimi), karayolu trafiği ve yakın şehirlerden veya ülkelerden uzun menzilli hava kirliliği taşımacılığı dahil olmak üzere karmaşık bir hava kirliliği kaynakları yelpazesinden önemli ölçüde

etkilenen bir bölgede kirletici kaynak dağılımının belirlenmesine ilişkin yaptıkları çalışmada $PM_{2.5}$ örnekleri toplanmış ve OC, EC, ana iyonlar, metal içeriği açısından analiz edilmiştir. İnce asılı partiküllerin ($PM_{2.5}$) toplam konsantrasyonuna katkıda bulunan ana kirlilik kaynakları üç sahada yapılan ölçümler ve müteakip Pozitif Matriks Faktörizasyon modellemesi temelinde değerlendirilmiştir. Altı ana hava kirliliği faktörü belirlenmiş ve bunların göreceli ve mutlak katkıları ölçülmüştür. Çalışmanın sonucu, hava korumanın en önemli mevcut görevinin, $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun yaklaşık %50-60'ından sorumlu olan katı yakıtlardan kaynaklanan konut emisyonlarını azaltmak olduğu ve bunu bölgesel birincil ve ikincil aerosol kaynaklarının (toplam $PM_{2.5}$ aerosol kütlesinin %40'ına kadar) izlediği yönündedir. Yeniden süspanse olmuş mineral ve biyojenik partiküller (%15-20), uzun menzilli (trans-Avrupa) hava kirliliği taşınımı (%10'a kadar) ve ağır sanayi (en çok etkilenen yerde %10'a kadar) durumunda daha düşük katkılar tespit edilmiştir.

$PM_{2.5}$ karmaşık kimyasal bileşenlerden oluşabilir ve bu bileşenler içinde sülfat, nitrat ve amonyum gibi suda çözünen inorganik iyonlar $PM_{2.5}$ kütlesinin %20 ile %70'ini hatta daha fazlasını oluşturabilen önemli bileşenlerdir *(Dai vd., 2013; He vd., 2017)*. Suda çözünen iyonik türlerin, $PM_{2.5}$'in hidroskopik yapısı *(He vd., 2017; Shen vd., 2009)* ve asitliği *(Gao vd., 2011)* üzerinde etkileri vardır. Ayrıca görünürlüğün azalmasında *(Yuan vd., 2006)* ve $PM_{2.5}$ oluşumunun hızlanmasında önemli bir rol oynamaktadır *(Zhou vd., 2018)*. Bu nedenle suda çözünen iyonik türlerin özelliklerini araştırmak $PM_{2.5}$'in kaynaklarını, davranışlarını ve oluşum mekanizmasını anlamamız için gereklidir *(Wang vd., 2015)*.

$PM_{2.5}$'in kimyasal bileşimi, özellikle de iyonların varlığı, kaynaklarının, dönüşüm mekanizmalarının ve ilişkili sağlık etkilerinin anlaşılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmalar, sülfat, nitrat ve amonyumun $PM_{2.5}$'teki suda çözünür iyonların baskın bileşenleri olduğunu ve $PM_{2.5}$'in kaynaklarını ve dönüşüm mekanizmalarını anlamak için büyük önem taşıdığını göstermiştir *(Xiao vd., 2020)*. Ek olarak, $PM_{2.5}$'in yüksek NO_3^- konsantrasyonları ve düşük Ca^{2+} konsantrasyonları gibi iyonik bileşimleri, $PM_{2.5}$'in mekansal ve mevsimsel olarak değişen asitliğine katkıda bulunur *(He vd., 2012)*. $PM_{2.5}$ maruziyeti ile ölüm oranı, akciğer kanseri insidansı ve maternal maruziyetle ilgili sonuçlar gibi olumsuz sağlık etkileri arasındaki ilişki, $PM_{2.5}$ içindeki iyonlar da dahil olmak üzere kimyasal bileşenlerin araştırılmasının öneminin altını çizmektedir *(Di vd., 2017; Fan vd., 2022; Li vd.,*

2023). Ayrıca $PM_{2.5}$'in olumsuz biyolojik etkilerini özellikle sağlık üzerindeki etkilerini anlamada iyonik içeriğin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır *(Mantecca vd., 2012)*.

$PM_{2.5}$'in bileşimi, aerosolleri ve partikülleri oluşturan organik ve inorganik bileşiklerin karmaşık bir karışımıdır ve atmosferik koşullar ile coğrafi konum, $PM_{2.5}$'in konsantrasyonunu büyük ölçüde etkiler. Genel olarak, partikül madde ağır metaller, karbonlu bileşenler ve suda çözünen iyonlardan oluşur. Suda çözünen inorganik iyon bileşenlerinin $PM_{2.5}$'in yaklaşık yüzde 50'sini oluşturduğu bulunmuştur *(Begam vd., 2017)*. Çin'in Hefei kentinde suda çözünür aerosol partiküllerinin bileşenlerini inceleyen bir çalışmada, $PM_{2.5}$'te bulunan en yaygın suda çözünür iyonların sülfat (SO_4^{2-}), nitrat (NO_3^-), amonyum (NH_4^+) ve kalsiyum (Ca^{2+}) iyonları olduğu bulunmuştur *(Deng vd., 2016)*. Sülfat kirliliği endüstriyel emisyonlardan kaynaklanırken, nitrat emisyonları araç egzozundaki varlıkları nedeniyle yoğun trafikle ilişkilendirilmiştir. Atmosferdeki kalsiyum iyonları genellikle inşaat yoluyla havaya kaldırılan toprak partiküllerinden kaynaklanmaktadır ve çalışmada en yüksek konsantrasyonların konut inşaat alanlarının yakınında olduğu tespit edilmiştir *(Deng vd., 2016)*. Farklı coğrafi konumlarda atmosferdeki kalsiyum iyonu konsantrasyonu, büyük rüzgâr olayları gibi çevresel faktörlerden kaynaklanabilir. Amonyum konsantrasyonları biyokütle yanmasından kaynaklanır ve ekonomik olarak gelişmiş bölgelerde daha düşüktür *(Deng vd., 2016)*.

Xiao vd. (2020), yaptıkları çalışmada, Eylül 2017'den Ağustos 2018'e kadar Guiyang'de (Çin) kentsel alanda günlük $PM_{2.5}$ örnekleri toplanmış ve başlıca suda çözünen iyon konsantrasyonları karakterize edilmiştir. SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+ en düşük konsantrasyonları yaz aylarındayken en yüksek değerleri kış aylarında ölçülmüştür. Yıllık ortalama SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+ konsantrasyonunu sırasıyla 8.62 ± 4.52, 2.97 ± 3.50, 3.42 ± 2.34 $\mu g/m^3$ olarak hesaplamışlar, sülfat, nitrat ve amonyumun toplam suda çözünen iyonların %81,05'ini oluşturduğunu bulmuşlardır. Ayrıca toplam suda çözünen iyonların, $PM_{2.5}$'in %45,33'ünü oluşturduğunu ve $PM_{2.5}$'teki olası kimyasal bileşimlerinin $(NH_4)_2SO_4$ ve NH_4NO_3 olduğunu bulmuşlardır.

Çin'in güneybatısındaki Kunming şehrinde farklı mevsimlerde $PM_{2.5}$'teki suda çözünen inorganik iyon konsantrasyonları (SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, F^-, Cl^-, NO_2^-) Guo vd. (2020) tarafından analiz edilmiştir. $PM_{2.5}$'in ana kirleticilerin ($PM_{2.5}$'e >%50 katkıda bulunan) ikincil aerosoller olduğunu ve

bunların başlıca kömür yanması, tarımsal faaliyetler ve araç egzozundan kaynaklandığını bulmuşlardır. Mevsimsel olarak, NO_3^- ve NH_4^+'ün yüksek uçuculuğu ve sıcak aylarda (yağışlı mevsimler) yağışın yıkama etkileri kirleticilerin azalmasında etkili olurken, soğuk aylarda (kurak mevsimler) yüksek emisyon, zayıf dağılım koşulları ve düşük giderim oranı kirleticilerin artmasına neden olmuştur. Yeterli NH_3 ve yoğun güneş radyasyonunun SO_2, NO_x ve NH_3'ün fotokimyasal reaksiyonlarını NH_4HSO_4, $(NH_4)_2SO_4$ ve NH_4NO_3 oluşturmak üzere teşvik ettiğini göstermişlerdir.

Partikül maddedeki (PM) metal bileşimi, atmosferik PM'deki çeşitli metallerin varlığını ve dağılımını araştıran çalışmalarla kapsamlı bir araştırma konusu olmuştur. Örneğin Schreck vd. (2012), atmosferik endüstriyel serpintiye maruz kalan bitki türlerinin yapraktan kurşun alımını inceleyerek kurşun alımında rol oynayan mekanizmalara ışık tutmuştur. Ayrıca Arruti vd. (2010), Cantabria bölgesindeki kentsel $PM_{2.5}$ ve PM_{10}'daki eser metal seviyelerine yerel kaynakların katkısını değerlendirerek metal konsantrasyonlarının bölgesel dağılımına ilişkin bilgiler sağlamıştır. Ayrıca Mutua vd. (2021), Kenya'nın Nairobi şehrinde troposferik asılı partikül maddedeki (PM_{10}) ağır metallerin dağılımını ve konsantrasyonlarını değerlendirerek ortam havasındaki ağır metal bileşiminin seviyelerini vurgulamıştır.

Liang vd. (2014) indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi kullanarak havadaki PM_{10}'daki eser elementleri belirlemiş ve PM'deki metal bileşiminin ve bunun solunum ve kardiyovasküler hastalıklarla ilişkilerinin niceliğini ve karakterizasyonunu vurgulamıştır. Ayrıca Tahri vd. (2013) Fas'ın Kenitra şehrinde örneklenen havadaki partikül maddenin metal bileşimini karakterize etmiş ve metal eritme kaynaklarının ince partikül madde kütlesine önemli katkıda bulunduğunu tespit etmiştir.

Ayrıca Sharma ve Pervez (2004) Orta Hindistan'daki büyük bir kömür yakıtlı elektrik santrali çevresindeki ortam partikül maddesindeki seçilmiş elementlerin mekansal değişimi ve zenginleşmesi üzerine bir çalışma yürütmüş ve element bileşimindeki mekansal değişkenlik ve solunabilir askıdaki partikül maddedeki toksik metallerin zenginleşme derecesi hakkında bilgi sağlamıştır. Ayrıca Yu vd. (2016) Çin'in Lanzhou kentinde PM_{10}'daki metallerin konsantrasyonları, profilleri ve olası kaynaklarındaki değişimleri inceleyerek

bölgedeki metale bağlı partikül maddelerin konsantrasyonları ve kökenleri hakkında bilgiler sunmuştur.

Paris'te yapılan bir çalışmada, $PM_{2.5}$ ve PM_{10} fraksiyonlarındaki çeşitli mineral bileşenler ve eser metaller farklı yerlerde ölçülmüş ve bileşimindeki metallerin varlığı araştırılmıştır *(Poulakis vd., 2015)*. Paris bölgesinde $PM_{2.5}$'in kapsamlı bir kimyasal karakterizasyonunu sunarak, metal içeriği de dahil olmak üzere $PM_{2.5}$'in kimyasal bileşimini anlamanın önemi vurgulanmıştır *(Bressi vd., 2013)*. Ayrıca, felç, kalp hastalığı ve akciğer kanseri de dahil olmak üzere yüksek konsantrasyonlarda partikül maddeye maruz kalma ile ilişkili sağlık risklerini vurgulayarak metal içeren partikül maddenin insan sağlığı üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerini göstermiştir *(Vasilakopoulou vd., 2022)*.

Poulakis vd. (2015) yaptıkları çalışmada Paris'te üç farklı karakteristik özellikteki noktalarda (trafik, kentsel ve kırsal) bir yıl boyunca günlük olarak eş zamanlı topladıkları PM_{10} ve $PM_{2.5}$ fraksiyonlarındaki örneklerde çeşitli mineral bileşenleri (Al, Fe) ve eser metalleri (V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) analiz etmişlerdir. Her iki fraksiyonda ölçülen mineral türlerin ve eser metal seviyelerinin literatürde bildirilenlerle uyumlu olduğunu ve toksik metaller (Cd, Ni, Pb) için Avrupa kılavuzları tarafından tanımlanan eşik değerlerin altında olduğunu bulmuşlardır. Yaptıkları kaynak analizinde Mn, Cr, Zn, Fe ve Cu gibi elementlerin trafikten, V ve Ni'nin petrol yanmasından, Cd ve Pb'nin ise bölgesel kökenli endüstriyel faaliyetlerden kaynaklandığını göstermişlerdir. Trafik bölgesinde Mn, Fe, Cr, Zn ve Cu için önemli katkılar (>%50) ölçülmüştür.

$PM_{2.5}$ emisyonlarında bulunan ağır metaller solunum sistemi, deri veya sindirim yoluyla insan vücuduna girebilmektedir. Nikel (Ni), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr) sınıf I kanserojen kirleticilerdir ve $PM_{2.5}$'in bileşiminde bulunurlar. $PM_{2.5}$'te ayrıca sınıf II kanserojen olan kurşun (Pb), bakır (Cu), çinko (Zn) ve manganez (Mn) de bulunmaktadır *(Liu vd., 2017)*. $PM_{2.5}$'teki bu ağır metallerin varlığı, akciğer alveollerine ulaşma ve akciğer bariyerini aşma kabiliyeti göz önüne alındığında, sadece kanserojen metallerden kaynaklanan kanser riskini artırmakla kalmaz, aynı zamanda solunum yolu hastalıklarına da neden olabilir *(Peled, 2011)*. Liu vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, Çin'de yoğun pus dönemlerinde $PM_{2.5}$'teki ağır metallerin konsantrasyonu ve kaynakları araştırılmış ve yukarıdaki tüm metallerin varlığı tespit edilmiştir. $PM_{2.5}$'teki Pb, Zn, Cu, Ni ve Cr kaynakları kömür yanmasından, Mn ve Cd yol tozu ve topraktan, Ni, Cd ve Cu endüstriyel

emisyonlardan, Zn ve Cu ise trafik emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Bu ağır metallerin $PM_{2.5}$'teki varlığı, ağır metallere maruz kalan bireyler üzerinde yaratabileceği potansiyel sağlık etkilerinin önemini daha da vurgulamaktadır *(Liu vd., 2017)*.

Keleş Özgül (2022) tarafından Dilovası (Kocaeli)'nda Şubat 2015 – Ocak 2016 tarihleri arasında günlük olarak toplanan $PM_{2.5}$ örnekleri analiz edilmiş ve iyonlar, metaller, O_3, NO_x, OC ve EC kompozisyonları olası kaynakları ile ilişkilendirilmiştir. Ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonunun 66.50±51.21 $\mu g/m^3$ olduğu belirlenmiştir. Örnekleme dönemi ortalama O_3 ve NO_x konsantrasyonları sırasıyla 24.71±13.66 ppb ve 33.52±27.90 ppb olarak bulunmuştur. Endüstriyel noktalarda Cr, Pb, Zn, Fe, As, OC ve TC kuru çökelme değerlerinin diğer bölgelere kıyasla daha yüksek olduğu bulunmuştur. $PM_{2.5}$ kimyasal bileşenleri verisine uygulanan Pozitif Matriks Faktorizasyon (PMF) modeli ile Dilovası hava kalitesini etkileyen kirletici kaynakları petrol yanması, yol tozu, toprak, kömür yanması, trafik ve ikincil inorganik aerosol olarak saptanmıştır.

Hava kirliliği, Türkiye'de önemli bir çevre ve halk sağlığı sorunudur. Türkiye'deki hava kirliliği ve etkilerinin Türkiye'de partikül madde (PM) üzerine yapılan araştırmalar, çevre bilimi, aerosol kaynakları ve bunların halk sağlığı üzerindeki etkileri de dahil olmak üzere geniş bir alanda çalışmalar yapılmıştır. Örneğin Oruç (2022) Edirne'de sonbahar mevsiminde $PM_{2.5}$'in uzun menzilli taşınımını ve potansiyel kaynak bölgelerini incelemiş ve bölgedeki $PM_{2.5}$ için başlıca potansiyel kaynak alanlarını belirlemiştir. Boğan vd. (2022) çöl toz fırtınalarının ve meteorolojik faktörlerin solunum yolu hastalıkları üzerindeki etkilerini araştırmış ve toz fırtınaları nedeniyle dünya çapında artan toz aerosol konsantrasyonlarıyla ilişkili potansiyel sağlık risklerini vurgulamıştır.

PM'nin çevresel sürdürülebilirlik ve ekosistem sağlığı üzerindeki etkisi de araştırmaların odak noktası olmuştur. Örneğin Dinçer (2014) kentsel atmosferdeki partikül maddeyi değerlendirmiş ve temel bileşen analizi kullanarak PM'nin boyut dağılımı, metal bileşimi ve kaynak karakterizasyonu hakkında bilgi sağlamıştır. Ayrıca Yavaş (2021), Türkiye'de PM_{10} ölçümlerinin %98'inin Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen yıllık sınır değeri aştığını ve bunun potansiyel çevre ve halk sağlığı etkilerine işaret ettiğini bildirmiştir.

Orak ve Özdemir (2021) COVID-19 karantinasının Türkiye'deki 81 ilde PM_{10} ve SO_2 konsantrasyonları üzerindeki etkilerini incelemiş ve karantina

önlemleri ile insan hareketliliği ve ortam hava kirliliği arasındaki ilişkiyi vurgulamıştır. Benzer şekilde, Aydın vd. (2021) COVID-19 salgını sırasında Türkiye'de $PM_{2.5}$ ve ozon için hava kalitesindeki değişiklikleri araştırarak birincil ve ikincil hava kirleticilerinin değişimleri hakkında bilgi sağlamıştır. Ayrıca Akan (2022), hava kirleticilerinin günlük değişimleri ile İstanbul nüfusundaki ölüm oranı arasındaki ilişkileri araştırmış ve kentsel alanlarda hava kirliliğinin potansiyel sağlık etkilerine ışık tutmuştur.

Baltacı vd. (2023) kuraklık koşullarının Türkiye'deki hava kirliliği üzerindeki etkisini araştırmış ve iklim faktörleri ile hava kirleticileri arasındaki ilişkiyi vurgulamıştır. Ayrıca Elkama vd. (2021) Türkiye'deki kentsel hava kirliliğine yönelik mevcut durum, araştırma ve alınan önlemlere ilişkin kapsamlı bir inceleme sunarak, ülkenin bu çevre sorununu hafifletme çabalarına ilişkin değerli bilgiler sunmuştur.

Türkiye'de doğalgaz kullanımının hava kalitesi üzerindeki etkisi Cesur vd. (2018) ve Kürkçüoğlu ve Zengin (2021) tarafından araştırılmış ve enerji geçişlerinin hava kalitesinin iyileştirilmesindeki rolü vurgulanmıştır. Ayrıca, Kaplan ve Avdan (2020) vd Şahin vd. (2022) çevresel ve iklimsel faktörlerin hava kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmış ve Türkiye'deki hava kirleticilerinin mekânsal ve zamansal değişimlerini vurgulamışlardır.

Ayrıca Sahra tozu taşınımının Türkiye'deki hava kalitesi üzerindeki etkisi Baltacı (2017) ve Çapraz ve Deniz (2022) tarafından incelenmiş ve bu olayların partikül madde konsantrasyonlarına önemli katkısı ve solunum sağlığı üzerindeki etkileri vurgulanmıştır.

Ankara'da 1993 yılında yapılan bir araştırmada, ince ve kaba aerosol örnekleri toplanmış ve bu örnekler yaklaşık 40 iz element ve ana iyonlar için analiz edilmiştir. Fosil yakıt yanması, aerosollerdeki antropojenik elementlerin ana kaynağı olarak belirlenirken toprak elementlerin atmosferdeki konsantrasyonlarının ve mevsimsel değişimlerinin rüzgâr hızı ve toprak nemine bağlı olarak değiştiği raporlanmıştır. Antropojenik kaynaklı elementlerin konsantrasyonları, şehir ve banliyölerde eşit dağılım gösterirken, yüksek rüzgâr hızlarına sahip örneklerde yön seçilimleri görülmüştür. Ayrıca, 1975 ile 1993 arasında toprak elementlerin konsantrasyonlarında görülen, hızlı kentsel gelişmelere bağlı olarak toprak yüzeyindeki azalmayla ilişkilendirilmiştir *(Yatin vd., 2000)*.

Bölgede yapılan bir diğer araştırmada trafik ve konut arka planlı bölgelerde 1999 ve 2000 yılları arasında CO, NO, NO_2, SO_2 ve PM_{10} konsantrasyonları ölçülmüş ve konut bölgelerindeki hava kalitesinin de şehir içindeki trafik faaliyetlerinden etkilendiği belirlenmiştir. Ankara'daki hava kirliliği indeksini tahmin etmek için çoklu doğrusal regresyon modeli geliştirilmiş ve farklı zaman dilimleri için korelasyon katsayıları 0.79 ve 0.63 olarak bulunmuştur. Ayrıca atmosferin asimilatif kapasitesi de ventilasyon katsayısı (VC) cinsinden hesaplanarak bulunan hava kirliliği indeksi ile arasındaki ilişki incelenmiştir. Genç vd. (2010), elde ettikleri sonuçlara göre Ankara'daki hava kalitesinin emisyonlardan ziyade meteoroloji tarafından belirlendiğini öne sürmüşlerdir.

Özdemir ve Ertaş (2011), Afrika yönünden esen rüzgârların getirdiği toz bulutlarının zaman zaman etkili olarak hava kalitesini bozduğu hipoteziyle yaptıkları araştırmada; 14-15 Ocak 2009 ve 11-12 Mart 2010 tarihlerine ait saatlik PM_{10} konsantrasyon değişimi ve meteorolojik verilerle, aynı tarihlerde şehrin üzerine yağan çöl tozları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu çalışma sonucunda toz bulutlarının dış ortam hava kalitesini önemli oranda düşürdüğü saptanmıştır. Kirleticilerin atmosfere olan etkilerinin sadece endüstriyel veya evsel kaynaklardan değil, doğal katkılardan da kaynaklandığını gösteren bu çalışma, bu faktörlerin de özel izlemlerle tanımlanmaları gerektiğini göstermiştir. Yaptıkları çalışmada, Afrika'dan kaynaklanan toz taşınımı nedeniyle sınır değerlerin aşılarak insan sağlığı için tehlikeli bir durum ortaya çıktığı belirtilirken özellikle Cebeci istasyonunda PM_{10} konsantrasyonunun 566 $\mu g/m^3$, Sıhhiye istasyonunda ise 452 $\mu g/m^3$ değerlerine ulaştığı raporlanmıştır.

Ankara'yı odak noktasına alarak Türkiye atmosferindeki partikül madde ve toksik iz metal yükünü değerlendirmeyi amaçlayan Durukan vd. (2013), başkentte mevsimsel dış ortam örneklemeleri gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında 11 istasyonda farklı yöntemlerle örnekler toplanarak filtre türleri, örnek toplama ve örnek hazırlama yöntemleri incelenmiş ve optimize edilmiştir. Analizler, toplam yansıma X-ışını fluoresans (TXRF) spektroskopik tekniği kullanılarak yapılmış ve şehirde partikül madde seviyelerinin mekansal ve zamansal varyasyonları incelenmiştir. Bazı istasyonlarda, PM_{10} ve $PM_{2.5}$ boyut dağılımlarına göre toplanan örneklerde elementel karakterizasyon gerçekleştirilmiştir. Beytepe istasyonunda elementlerin büyük çoğunluğunun topraktan, Kayaş istasyonunda topraktan ve katı yakıt kullanımından, Sıhhiye istasyonunda ise trafik ve çeşitli insan faaliyetlerinden

kaynaklandığı tespit edilmiştir. Doğal kaynaklı elementler PM_{10} fraksiyonunda gözlemlenirken, trafik ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan elementler $PM_{2.5}$'te bulunmuştur.

Ankara atmosferindeki ince (fine) parçacıkların eser element kompozisyonlarının belirlendiği bir diğer çalışmada aerosol örnekleri 24 saatlik sürelerle ve "stack filter unit" (SFU) olarak tanımlanan bir örnekleyici yardımıyla toplanmıştır. Keçiören'deki Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi arazisinde kurulmuş kentsel istasyon ve ODTÜ, Çevre Mühendisliği bölümünde kurulmuş banliyö istasyonda Temmuz 2014 – Ekim 2015 arasında 15 ay boyunca örnekleme yapılmıştır. Toplanan örneklerde ICPMS tekniği kullanılarak 60 dolayında elementin konsantrasyonları belirlenmiştir. Ölçülen element konsantrasyonlarının, ilki 1975 yılında olmak üzere daha önce Ankara'da yapılan çalışmalarda elde edilen konsantrasyon değerleri ile karşılaştırılarak hem toprak kökenli hem de antropojenik kökenli element konsantrasyonlarının zaman içerisinde azaldığı gözlemlenmiştir. Ankara atmosferindeki element konsantrasyonları kısa süreli ve uzun dönemli değişimler gösterirken bu değişimler meteorolojik parametrelerden ve emisyon kaynağındaki değişimlerden etkilenmektedir. Özellikle, karışım yüksekliği, rüzgâr hızı, ölçülen konsantrasyonlardaki değişimleri belirleyen meteorolojik parametrelerdir. Rüzgâr yönünün element konsantrasyonlarına etkisi "conditional probability function" olarak bilinen bir istatistiksel yöntemle incelenmiştir. Kentsel istasyonda, kaynakların istasyona göre her yönde bulunmasından dolayı, rüzgâr yönü ile ölçülen konsantrasyonlar arasında anlamlı bir ilişki görülememiştir. Buna karşılık yarı-kentsel istasyonda Mamak bölgesinin ve organize sanayi bölgesinin etkileri açıkça görülmüştür *(Goli, 2017)*.

Faramarzi (2017) tarafından Ankara'da yaz ve kış aylarında iki farklı istasyondan (Sıhhiye ve Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü) $PM_{2.5}$ örnekleri alınarak OC ve EC analizleri yapılmıştır. Toplanan örneklerde OC ve EC ortalamaları sırasıyla Sıhhiye istasyonu için 10.26 ± 6.38 $\mu g/m^3$ ve 3.67 ± 1.06 $\mu g/m^3$ olarak belirlenirken Beytepe Kampüsünde bu değerler sırasıyla 5.8 ± 1.35 $\mu g/m^3$ ve 1.26 ± 0.35 $\mu g/m^3$ olarak belirlenmiştir.

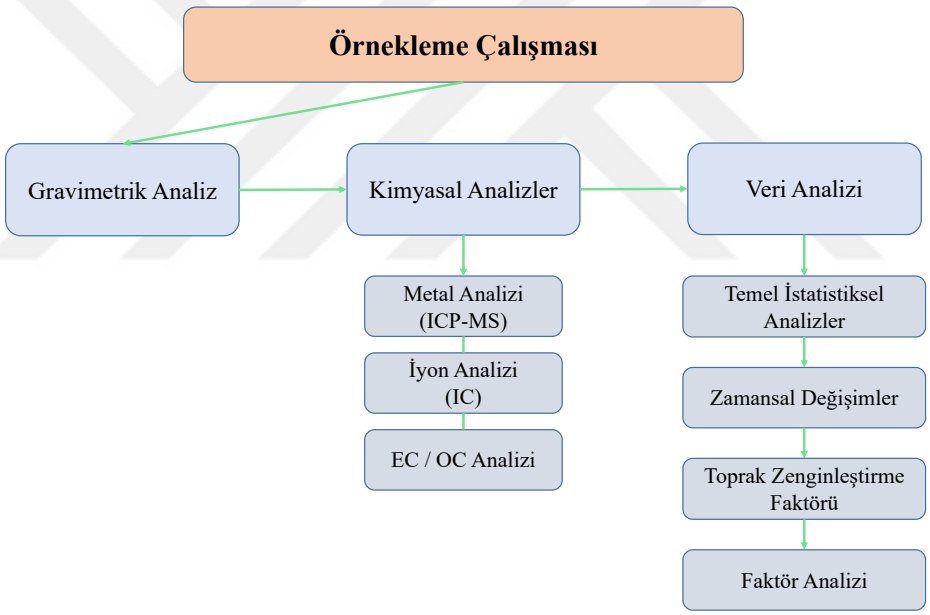
Koçak vd. (2021) Ankara'da kentsel ve kırsal olmak üzere iki farklı istasyonda günlük olarak $PM_{2.5}$ aerosol örnekleri toplamışlar, karbonlu aerosollerin karakterizasyonu ve kaynak paylaşımı üzerinde yaptıkları çalışmada elementel ve organik karbonu araştırmışlardır. Araştırmanın sonuçlarına göre OC

konsantrasyonlarının kentsel istasyonda 2.1- 42 µg/m³ arasında; kırsal istasyonda ise 1.3- 15 µg/m³ arasında olduğu görülmüştür. EC konsantrasyonları kentsel istasyonda 0.7- 4.9 µg/m³ arasında; kırsal istasyonda ise 0.1- 3.4 µg/m³ arasında olduğu gözlenmiştir. OC/EC oranının yaz aylarında kış aylarına göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Araç emisyonları, biyokütle ve kömür yakıtları ile yol tozunun kirliliğin başlıca kaynakları olduğu görülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Örnekleme

Ankara ilini etkileyen hava kirleticilerinin seviyelerini ve kaynaklarını belirlemeye yönelik yapılan bu çalışma kapsamında kış dönemi (Ocak-Nisan 2021) ve yaz döneminde (Eylül 2021) T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkezi tarafından çalıştırılan ana kirletici kaynağı trafik olan Sıhhiye Hava Kalitesi İzleme istasyonu ile ana kirletici kaynağı ısınma-sanayi olan Siteler Hava Kalitesi İzleme istasyonunda bakanlıktan temin edilen iki adet Thermo Scientific marka Partisol 2000i-D dikot örnekleyici analizörler ile eş zamanlı olarak kaba ($PM_{10-2.5}$) ve ince ($PM_{2.5}$) olmak üzere iki farklı fraksiyonda örnekler toplanmıştır. Çalışmada takip edilen iş akış planı Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmiştir.

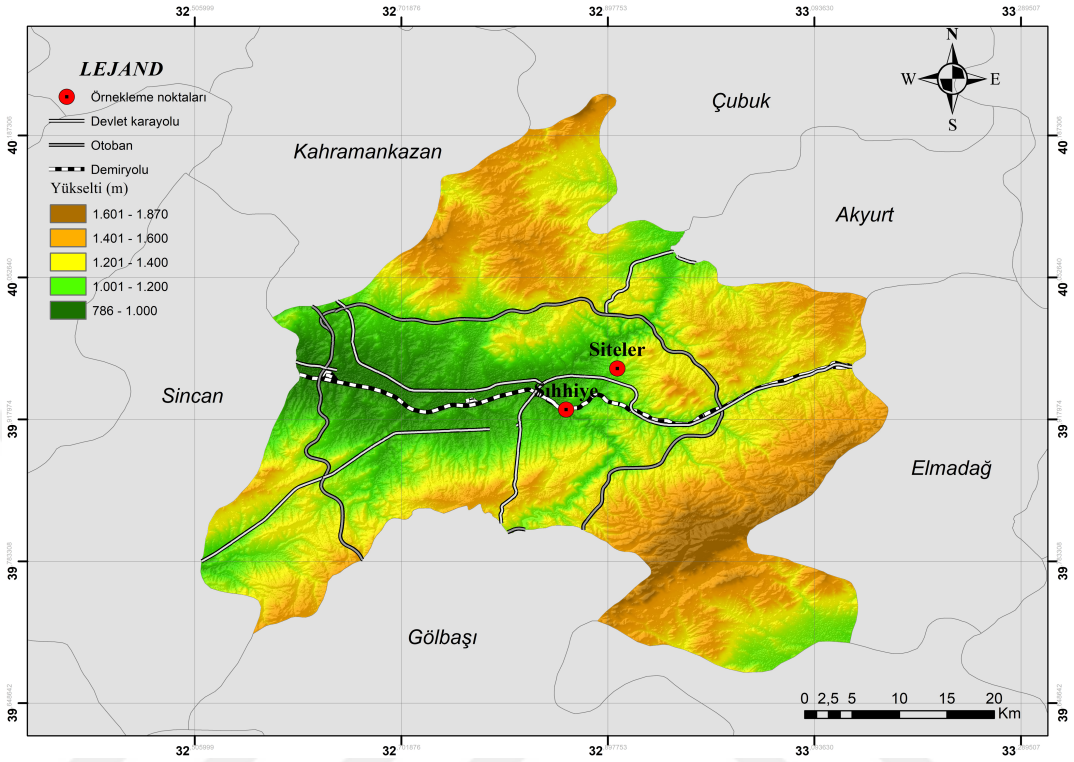


Şekil 3.1. Çalışmada takip edilen iş akış planı

3.1.1 Örnekleme Alanı

Bu çalışma Ankara ilinin Çankaya ilçesi sınırlarında bulunan Sıhhiye ve Altındağ ilçesi sınırlarında bulunan Siteler bölgesinde, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı, ana kirletici kaynağı trafik olan Sıhhiye Hava Kalitesi İzleme istasyonu (39.927° K – 32.860° D) ile ana kirletici kaynağı ısınma-sanayi olan Siteler Hava Kalitesi İzleme istasyonu (39.965° K - 32.909° D) olmak üzere iki farklı noktada eş zamanlı örnekleme yapılarak gerçekleştirilmiş olup

haritadaki konumları Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada söz konusu bu istasyonlarda üretilen ve doğrulanmış gaz verisi de temin edilerek değerlendirilmiştir *(https://sim.csb.gov.tr)*.



Şekil 3.2. Örnekleme noktalarının haritada gösterimi

25.632 km²'lik bir yüz ölçümüne sahip Türkiye Cumhuriyeti'nin başkenti olan Ankara, İç Anadolu bölgesinde, 39.57 K enlemi ile 32,53 D boylamları arasında yer alır. Deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 890 m'dir. Kuzey yönünde Çankırı, kuzeybatı yönünde Bolu, güney yönünde Konya ve Aksaray illeri ile doğu yönünde Kırşehir ve Kırıkkale, batı yönünde ise Eskişehir ile çevrilmiştir *(http://www.ankara.gov.tr)*.

TÜİK verilerine göre 2023 Aralık sonu itibariyle 5.803.482 nüfusuna sahip olan Ankara ili ülke nüfusunun %6.80'ini oluşturmaktadır.

İlin geniş arazisinde yer yer iklim farklılıkları görülür. Güneyde, İç Anadolu ikliminin belirgin özellikleri olan step iklimi, kuzeyde ise Karadeniz ikliminin ılıman ve yağışlı durumları görülebilmektedir. Kara ikliminin hüküm sürdüğü Ankara'da kış sıcaklıkları düşüktür, yaz ise sıcak geçer. En sıcak ay temmuz-ağustos, en soğuk ay ise ocak ayıdır. Bölgeye düşen yağış miktarları kuzey ve güney kesimlerinde farklılıklar gösterir. Ankara, kuzey yönünde yer alan Kızılcahamam

ve Çubuk ilçelerinde Karadeniz Bölgesi yağış rejimi özelliğini, güney yönünde ise İç Anadolu Bölgesi'ne özgü iklim karakterini gösterir. Bölgenin yapısı gereği özellikle kış aylarında sis olayı oldukça fazla görülür. İl ölçeğinde ortalama sıcaklık 11.7 °C yıllık ortalama yağış miktarı 389.1 mm'dir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre en yüksek sıcaklık değeri 40.8 °C ve en düşük sıcaklık -24.9 °C olarak ölçülmüştür. Don olayı görülen gün sayısı 60-117, karlı günler sayısı ise yılda 30,5'tur. En yüksek kar kalınlığının ise 30 cm olduğu kayıtlara geçmiştir *(http://www.ankara.gov.tr)*.

Örneklemeler eş zamanlı olarak iki farklı noktada yapılmıştır. Örnekleme çalışması yapılan iki noktadan birincisi Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü bahçesi içerisinde, deniz seviyesinden yaklaşık 864 m yükseklikte bulunan Sıhhiye Hava Kalitesi İzleme İstasyonu Ankara ilinin kuzeydoğu yönünde yer almakta olup şehir merkezi olarak kabul ettiğimiz Kızılay'ın yaklaşık 800 m kuzeydoğusundadır. İstasyon düz bir alan içerisinde olup ağırlıklı olarak işyerleri ve kamu binalarının olduğu bir yerleşim alanı içindedir. Sağlık Mahallesinde bulunan istasyonun batı yönünde Abdi İpekçi Parkı, doğu ve güneydoğu yönünde yaklaşık 100 m uzaklıkta Kurtuluş Parkı bulunmaktadır. İstasyonun yaklaşık 10 m batı yönünde Adnan Saygun Caddesi, yaklaşık 30 m güneyli ve doğulu yönlerinde Aksu Caddesi ve yaklaşık 130 m kuzey yönlerinde Celal Bayar Bulvarı bulunmakta olup örnekleme noktası trafiğin çok yoğun olduğu bir konumdadır.

Örnekleme çalışması yapılan ikinci nokta ise deniz seviyesinden 952 m yükseklikte olan, kirletici kaynağı sanayi ve ısınma olan Siteler Hava Kalitesi İzleme İstasyonu, Şehit Jandarma Er Eyüp Üstün Parkı içerisinde bulunmakta olup Ankara ilinin kuzeydoğu yönünde yer almaktadır. Şehir merkezi olarak kabul ettiğimiz Kızılay'ın yaklaşık 7 km kuzeydoğusundadır. İstasyon düz bir alanda yer almakta olup çevresinde konutlar, kamu binaları ve sosyal alanlar bulunmaktadır. İstasyona yaklaşık 10 m mesafede tüm yönlerde Altınay Caddesi, yaklaşık 500 m mesafede kuzey, doğu ve batı yönlerinde Orhan Kemal Caddesi, yaklaşık 1.5 km mesafede güney, doğu ve batı yönlerinde Turgut Özal Bulvarı ve çok sayıda cadde ve ara yollar bulunmaktadır. İstasyona yaklaşık 500 m mesafede batı, güney ve doğu yönlerinde uzun dönem mobilya sektörünün lokomotifi sayılan Siteler mobilya sanayi bulunmaktadır. Örnekleme yapıldığı bölgede ağırlıklı olarak katı yakıt kullanılmakta olup doğalgaz kullanımının nispeten daha az olduğu gözlemlenmiştir.

3.1.2 Partikül Madde Örnekleyicisi

Partisol 2000i-D PM örnekleyicinin teknik özellikleri Tablo 3.1'de görseli ise Şekil 3.3'te sunulmuştur. Bu örnekleyici ile kaba ($PM_{10-2.5}$) ve ince ($PM_{2.5}$) fraksiyonda PM örnekleri eş zamanlı toplanmıştır.

Tablo 3.1. Partisol 2000i-D teknik özellikleri

Hava Debisi (L/dk)	16.7 (Varsayılan değer olup operatör tarafından ayarlanabilmektedir. 16.7 L/dk değerindeki debi 15.0 L/dk ve 1.67 L/dk olarak ikiye ayrılmaktadır)
İzlenebilen PM Boyutu	$PM_{10-2.5}$, $PM_{2.5}$
Filtre Boyutu (mm)	47
Filtre Kaseti Bölümünün Sıcaklığı (°C)	5
Filtre Kaseti Bölümünün Sıcaklığı, Ortam Sıcaklığı, Ortam Basıncı ve Ortalama Hava Debisi için Veri Alma Sıklığı (dk)	5 (Cihaz 5 dakikalık ortalama değerleri 86 gün boyunca tutabilme kapasitesine sahip olup örnekleme sırasında ve sonrasında bu verileri depolayabilmektedir)
Örnekleme filtresi ile ilgili bilgileri tutma özelliği	Örnekleyici de kullanılan her filtre için US EPA tarafından belirlenen hata koşulu işaretleme, ortalama sıcaklık ve basınç gibi bilgiler depolanmaktadır. Filtre bilgi kayıtları hacimsel ve standart türden örnekleme debisi ile örnekleme süresince ortalaması alınmış analog ve meteorolojik verileri içermektedir. Örnekleyici 32 filtreye ait bilgileri hafızasında tutabilmektedir
Otomatik kaçak (leak) kontrolü özelliği	Var
Veri soğurma yöntemi	USB ya da Ethernet ile yapılabilmektedir
Bakım Onarım İhtiyacı	Dayanaklı parçalar ve uzun ömürlü pompa ile düşük bakım/onarım ihtiyacı
Çalışma Sıcaklığı	-40 °C - 50°C

Şekil 3.3. Partisol 2000i PM örnekleyici

3.1.3 Örneklerin Toplanması

Numuneler 20 Ocak 2021 – 4 Nisan 2021 ve 31 Ağustos 2021 – 26 Eylül 2021 tarihleri arasında halihazırda Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkezi tarafından işletilen Sıhhiye ve Siteler hava kalitesi izleme istasyonlarında günlük olarak iki adet Partisol 2000i-D dikot örnekleyici ile paralel olarak yapılmıştır. Örnekleme dönemine ait bilgiler Tablo 3.2'de sunulmuştur.

Tablo 3.2. Örnekleme dönemine ait bilgiler

Örnekleme Dönemi	Örnekleme Süresi	Toplanan Örnek Sayısı
20.01.2021 – 04.04.2021	70 gün	280
31.08.2021 – 26.09.2021	27 gün	108

Örneklerin toplandığı istasyonlara ait fotoğraflar Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

Şekil 3.4. Örnekleme yapılan istasyonlar a) Siteler HKİ, b) Sıhhiye HKİ

3.2 Toplanan Örneklerin Analizi

3.2.1 Gravimetrik Analiz

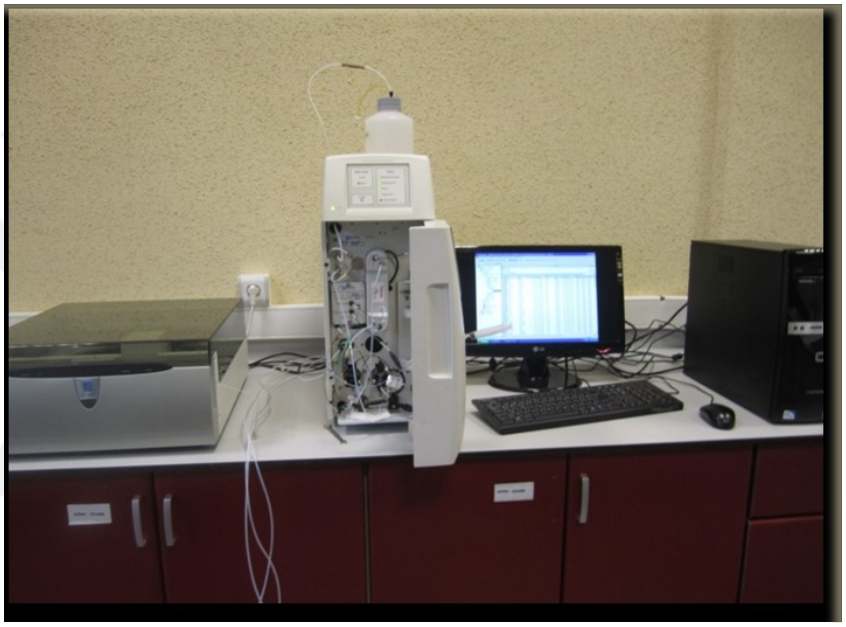
Örnekleme çalışmasında partikül madde (PM) örnekleri, kuvars ve teflon filtreler kullanılarak toplanmıştır. Örnekleme sürecinde kullanılan filtreler, belirli bir sıcaklık aralığında (20-23 °C) ve ortalama nispi nem değerinin (%30-40) sağlandığı şartlandırma kabininde 24 saat boyunca şartlandırılmıştır. Ardından Precisa Gravimetric 360ES (İsviçre) marka hassas terazi kullanılarak filtreler tartılmıştır. Örnekleme işlemi sonucunda laboratuvara getirilen PM yüklü filtreler de benzer bir şekilde tartılarak, filtrelerin üzerinde toplanan toz miktarı (PM), gravimetrik olarak belirlenmiştir.

Örneklerin sabit sıcaklık ve nem koşullarında kabin içerisinde şartlandırılması PM içeriğinde bulunan uçucu tür kayıplarının en aza indirilmesi ve çözünebilir türlerdeki etkileşimlerin düşürülmesi açısından önemlidir.

3.2.2 Ana İyonların IC ile Analizi

Ağırlıkları belirlenen filtreler suda çözünen iyonik türlerin analizi için suda çözünürleştirme işlemi yapılmıştır. Bunun için ilk olarak 47 mm çapındaki filtreler plastik pens kullanılarak küçük parçacıklara ayrılmış ve 50 mL test tüplerin içine alınmıştır. Küçük parçalara ayrılan filtre parçalarının üzerine 12 mL 18.3 MΩ de-iyonize su ilave edilmiştir. Daha sonra filtre örnekleri ultrasonik banyoda 60 dk

bekletilerek PM fazında bulunan iyonların sıvı faza geçmeleri sağlanmıştır. Sonrasında örneklerin oda sıcaklığına gelmesi beklenmiş ve örnekler bir dakika boyunca vortex kullanılarak karıştırılmıştır. Daha sonra ekstraktlar 0.22 µm selüloz asetat filtre kullanılarak süzüldükten sonra analize geçilmiştir. Bu çalışmada partikül madde örneklerinde anyon (F^-, Cl^-, NO_2^-, Br^-, NO_3^-, PO_4^{3-} ve SO_4^{2-}) ve katyon (Li^+, Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+} ve Ca^{2+}) analizleri "Thermo Scientific Dionex ICS 1100 İyon Kromatografi" cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan IC cihazının fotoğrafı Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Analizde kullanılan iyon kromatografi cihazı *(DIONEX 1100)*

İyon kromatografi cihazında anyon analizi için Dionex IonPac AS9-HC anyon kolonu (4x250 mm) ile Dionex IonPac AG9-SC (4x50 mm) önkolon kullanılmıştır. Ayrıca Dionex ASRS 300 4 mm süprasör kullanılmıştır. Anyon analizinde 1.0 mL/dk akış hızında taşıyıcı faz olarak 9 mM Na_2CO_3 çözeltisi kullanılmıştır. Hazırlanan çözelti ultrasonik banyoda yarım saat bekletilmiştir. Analiz için hazırlanan partikül örnekleri 0.5 mm viallere alınmış ve cihazın oto örnekleyicisine yerleştirilerek analiz edilmiştir. IC ile katyon analizinde Dionex IonPac CS12A katyon kolonu kullanılmıştır. Ön kolon olarak ise Dionex IonPac CG12A (4x50 mm) kullanılmıştır. Ayrıca suprasör olarak Dionex CSRS 300 4 mm kullanılmıştır. Katyon analizinde taşıyıcı faz olarak 1M meta sülfonikasit (MSA) çözeltisinden 10 mL alınıp bir litre çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltinin analiz sırasındaki akış hızı 1.0 mL/dk'dır. Katyon analizi için hazırlanan PM

örnekleri otomatik örnekleyici (AS40) kullanılarak analiz edilmiştir. Hazırlanan örnekler 0.5 mL viallere konulmuş ve cihazın oto örnekleyicisine yerleştirilerek analiz edilmiştir. IC cihazının kalibrasyonu için Thermo Fisher firmasından temin edilen (yedi anyon ve altı katyon) standart çözeltiler kullanılmış ve en az dört farklı konsantrasyonda standart hazırlanarak analiz edilmiş ve kalibrasyon eğrileri hazırlanmıştır. Kalibrasyon eğrilerinde korelasyon katsayısı (R^2) değerinin ≥ 0.95 olmasına özen gösterilmiştir. IC cihazının tayin sınırı (Limit of Detection, LOD) ve sayılabilme sınırı (Limit of Quantification, LOQ) değerlerini belirlemek amacıyla arazide toplanan şahit örneklerden on tanesi örneklerle aynı prosedürü kullanarak çözülmüş ve IC'de örneklerle aynı koşullarda analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların standart sapması üç ile çarpılarak LOD ve on ile çarpılarak da LOQ değerleri hesaplanmış ve söz konusu bu değerler Tablo 3.3'te verilmiştir. Arazi şahitlerinde Br^-, PO_4^{3-}, Li^+, ve Mg^{2+} belirlenmediğinden, bu parametrelere ait LOD ve LOQ değerleri hesaplanmamıştır.

Tablo 3.3. IC analizlerinde ölçülen parametreler için belirlenen LOD ve LOQ değerleri

Parametre	LOD ppm	LOQ ppm
F^-	0.049	0.164
Cl^-	0.028	0.094
NO_2^-	0.037	0.122
NO_3^-	0.093	0.309
SO_4^{2-}	0.073	0.243
Na^+	0.124	0.415
NH_4^+	0.082	0.274
K^+	0.090	0.299
Ca^{2+}	0.164	0.546

IC cihazı ile yapılan analizlerin doğruluğunu belirlemek için örneklerle aynı koşullarda yağmur suyu standart referans maddesi (SRM) de analiz edilmiştir. SRM'ler, Amerika Kalite Güvence/Bilim Aktivite Merkezi (QA/SAC Americas) tarafından dünya çapında gerçekleştirilen laboratuvarlar arası karşılaştırma çalışması kapsamında araştırma grubumuza gönderilmiş ve Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümü laboratuvarında analiz edilmiştir. QA/SAC Amerika Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) Küresel Atmosferik İzleme (GAW) için veri kalite çalışmalarında bilimsel açıdan destek veren beş kurumdan

biridir. QA/SAC dünya çapında yağmur suyu ölçümlerinin kalitesinin arttırılması ve raporlanması konusunda GAW'a destek sağlamaktadır. Bu çalışmada ilgili kurumdan 66. karşılaştırma çalışması kapsamında tarafımıza gelen üç farklı yağmur suyu örneği analiz edilmiş ve sonuçları aşağıda Tablo 3.4-Tablo 3.6'da sunulmuştur. Her yağmur suyu örneğinden yedi örnek, örnekler ile aynı koşullar altında yine BAİBÜ Çevre Mühendisliği bölümü laboratuvarında analiz edilmiştir.

Tablo 3.4. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında analiz edilen birinci yağmur suyu örneğine ait istatistiksel özet

Parametre	Birim	Ort	SS	Ortanca	Maks.	Min.	Geo.Ort.
Ca^{2+}	mg/L	0.129	0.030	0.119	0.200	0.099	0.126
Cl^{-}	mg/L	0.284	0.026	0.270	0.340	0.255	0.283
F^{-}	mg/L	0.045	0.013	0.047	0.061	0.023	0.042
K^{+}	mg/L	0.022	0.004	0.021	0.031	0.017	0.022
Mg^{2+}	mg/L	0.032	0.008	0.032	0.042	0.021	0.031
Na^{+}	mg/L	0.157	0.012	0.162	0.169	0.139	0.157
NH_4^{+}	mg/L	0.212	0.015	0.210	0.236	0.187	0.211
NO_3^{-}	mg/L	1.002	0.039	1.010	1.048	0.951	1.001
SO_4^{2-}	mg/L	1.289	0.042	1.283	1.385	1.254	1.289

Tablo 3.5. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında analiz edilen ikinci yağmur suyu örneğine ait istatistiksel özet

Parametre	Birim	N	Ort	SS	Ortanca	Maks.	Min.	Geo.Ort.
Ca^{2+}	mg/L	7	0.801	0.021	0.793	0.850	0.785	0.801
Cl^{-}	mg/L	6	1.913	0.021	1.907	1.945	1.882	1.913
F^{-}	mg/L	6	0.056	0.014	0.054	0.081	0.035	0.054
K^{+}	mg/L	7	0.287	0.019	0.283	0.319	0.256	0.286
Mg^{2+}	mg/L	7	0.242	0.035	0.240	0.313	0.186	0.239
Na^{+}	mg/L	7	1.339	0.111	1.371	1.531	1.171	1.334
NH_4^{+}	mg/L	7	1.407	0.198	1.505	1.631	0.998	1.392
NO_3^{-}	mg/L	7	3.936	0.019	3.935	3.970	3.911	3.936
SO_4^{2-}	mg/L	7	5.212	0.046	5.223	5.265	5.112	5.211

Tablo 3.6. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında analiz edilen üçüncü yağmur suyu örneğine ait istatistiksel özet

Parametre	Birim	N	Ort	SS	Ortanca	Maks.	Min.	Geo.Ort.
Ca^{2+}	mg/L	7	0.165	0.020	0.172	0.192	0.127	0.163
Cl^{-}	mg/L	7	0.781	0.010	0.781	0.794	0.760	0.781
F^{-}	mg/L	6	0.006	0.001	0.006	0.007	0.005	0.006
K^{+}	mg/L	7	0.086	0.011	0.082	0.111	0.077	0.085
Mg^{2+}	mg/L	7	0.081	0.007	0.080	0.094	0.073	0.081
Na^{+}	mg/L	7	0.511	0.016	0.518	0.528	0.478	0.511
NH_4^{+}	mg/L	7	0.231	0.031	0.223	0.302	0.192	0.229
NO_3^{-}	mg/L	7	0.658	0.079	0.606	0.799	0.576	0.653
SO_4^{2-}	mg/L	7	1.432	0.030	1.441	1.471	1.378	1.432

66. karşılaştırma çalışması kapsamında örneklerin dünya çapındaki laboratuvarlara gönderilmesi 2022 yılında tamamlanmış olup sonuçların QA/SAC kurumuna sunulması halen devam etmektedir. Ancak, dünyanın farklı laboratuvarlarından gelen sonuçlar kurumun internet sayfası üzerinden paylaşıma açılmıştır *(QA/SAC, 2022).* 3 Şubat 2022 tarihi itibarıyla ilgili web sayfasından elde edilen sonuçlar her bir yağmur suyu örneği için aşağıda Tablo 3.7 - Tablo 3.9'da sunulmuştur.

Tablo 3.4-Tablo 3.6 arasında bu çalışma kapsamında elde edilen değerler Tablo 3.7-Tablo 3.9 arasında elde edilen değerler ile kıyaslandığında, bu çalışmada elde edilen sonuçların karşılaştırmaya katılan farklı laboratuvarların raporladığı sonuçlar ile oldukça tutarlı olduğu söylenebilir.

Tablo 3.7. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında karşılaştırmaya katılan laboratuvarların birinci yağmur suyu örneği için elde ettikleri sonuçların istatistiksel özeti

Parametre	Birim	N	Ortanca	*SS*	İyi		Başarılı		Marjinal		Veri Kalite Amaçlarını Karşılamaktadır	
					25.Persentil	75.Persentil	Ortanca	±SS	Ortanca	±2SS		
SO_4^{2-}	**mg/L**	32	1.355	0.032	1.335	1.378	1.323	1.387	1.291	1.419	1.288	1.422
NO_3^-	**mg/L**	32	1.053	0.036	1.029	1.077	1.017	1.089	0.981	1.125	1.001	1.105
NH_4^+	**mg/L**	32	0.22	0.015	0.207	0.226	0.205	0.235	0.19	0.25	0.205	0.235
F^-	**mg/L**	10	0.054	0.005	0.049	0.056	0.048	0.059	0.043	0.064	0.043	0.064
Cl^-	**mg/L**	33	0.281	0.012	0.27	0.286	0.269	0.293	0.257	0.305	0.253	0.309
Na^+	**mg/L**	34	0.156	0.015	0.143	0.162	0.141	0.171	0.126	0.186	0.141	0.171
K^+	**mg/L**	30	0.031	0.006	0.024	0.033	0.024	0.037	0.018	0.043	0.025	0.036
Ca^{2+}	**mg/L**	34	0.115	0.012	0.104	0.121	0.103	0.127	0.09	0.14	0.098	0.132
Mg^{2+}	**mg/L**	30	0.033	0.004	0.029	0.034	0.029	0.037	0.025	0.041	0.03	0.036

Tablo 3.8. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında karşılaştırmaya katılan laboratuvarların ikinci yağmur suyu örneği için elde ettikleri sonuçların istatistiksel özeti

Parametre	Birim	N	Ortanca	*SS*	İyi		Başarılı		Marjinal		Veri Kalite Amaçlarını Karşılamaktadır	
					25.Persentil	75.Persentil	Ortanca	±SS	Ortanca	±2SS		
SO_4^{2-}	mg/L	33	5.298	0.109	5.213	5.36	5.189	5.407	5.08	5.516	5.034	5.562
NO_3^-	mg/L	32	4.018	0.089	3.969	4.089	3.929	4.106	3.839	4.196	3.817	4.218
NH_4^+	mg/L	32	1.308	0.061	1.268	1.351	1.247	1.369	1.185	1.431	1.217	1.399
F^-	mg/L	12	0.057	0.013	0.053	0.071	0.043	0.07	0.03	0.083	0.046	0.067
Cl^-	mg/L	33	2.09	0.045	2.063	2.124	2.045	2.135	1.999	2.181	1.881	2.299
Na^+	mg/L	34	1.304	0.038	1.27	1.321	1.265	1.342	1.227	1.38	1.174	1.433
K^+	mg/L	34	0.286	0.014	0.275	0.293	0.272	0.299	0.257	0.314	0.229	0.342
Ca^{2+}	mg/L	34	0.782	0.045	0.733	0.793	0.737	0.826	0.692	0.871	0.665	0.898
Mg^{2+}	mg/L	34	0.246	0.014	0.23	0.25	0.231	0.26	0.216	0.275	0.221	0.27

Tablo 3.9. QA/SAC 66. karşılaştırma çalışması kapsamında karşılaştırmaya katılan laboratuvarların üçüncü yağmur suyu örneği için elde ettikleri sonuçların istatistiksel özeti

Parametre	Birim	N	Ortanca	SS	İyi		Başarılı		Marjinal		Veri Kalite Amaçlarını Karşılamaktadır	
					25.Persentil	75.Persentil	Ortanca	±SS	Ortanca	±2SS		
SO_4^{2-}	mg/L	32	1.445	0.042	1.424	1.481	1.402	1.487	1.359	1.53	1.373	1.516
NO_3^-	mg/L	32	0.63	0.024	0.605	0.637	0.605	0.654	0.581	0.678	0.599	0.66
NH_4^+	mg/L	32	0.247	0.011	0.237	0.251	0.236	0.258	0.225	0.269	0.23	0.264
F^-	mg/L	9	0.005	0.001	0.004	0.006	0.004	0.006	0.002	0.008	0.004	0.006
Cl^-	mg/L	33	0.797	0.024	0.774	0.807	0.773	0.821	0.749	0.845	0.718	0.876
Na^+	mg/L	34	0.476	0.024	0.454	0.486	0.452	0.5	0.428	0.524	0.429	0.523
K^+	mg/L	33	0.107	0.008	0.099	0.111	0.099	0.115	0.09	0.124	0.086	0.128
Ca^{2+}	mg/L	34	0.162	0.011	0.154	0.169	0.151	0.173	0.14	0.184	0.138	0.186
Mg^{2+}	mg/L	34	0.076	0.005	0.069	0.077	0.071	0.081	0.065	0.087	0.069	0.083

3.2.3 Eser Elementlerin ICP-MS ile Analizi

Bu çalışmada toplanan PM örnekleri metal bileşenlerinin belirlenmesi amacıyla mikrodalga fırın kullanılarak yüksek basınçta asit çözünürleştirme (yaş yakma) işlemine tabi tutulmuştur. Çözünürleştirme işlemleri 9 mL HCl ve 3 mL HNO_3 asit karışımı kullanılarak mikrodalga fırın yardımıyla T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Referans Laboratuvarında yapılmıştır. Çözme işlemleri sonrasında örnekler ultra saf su kullanılarak 15 mL ye seyreltilmiştir. Sonrasında örnekler 2000 rpm hızda 20 dk boyunca santrifüjlenip 0.22 µm şırınga uçlu filtreden süzüldükten sonra yine aynı laboratuvarda ICP-MS cihazı kullanılarak metal içerikleri açısından analiz edilmiştir.

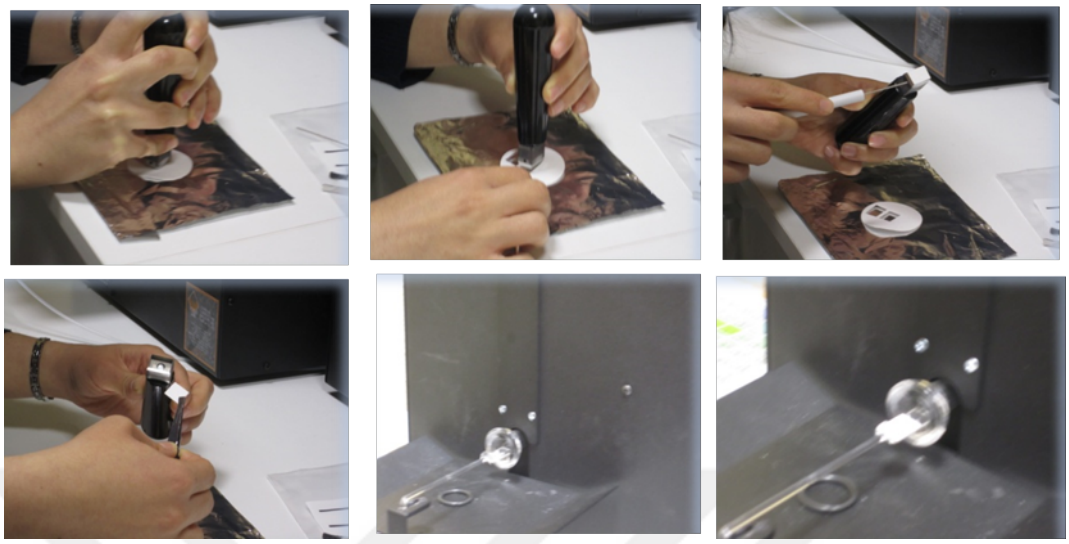
3.2.4 Elementel ve Organik Karbon Analizi

Çalışma kapsamında toplanan PM örneklerindeki elementel (EC) ve organik karbon (OC) kompozisyonu Amerika Birleşik Devletleri, Oregon menşeli Sunset Lab'dan temin edilen "*EC/OC Termal Optik Karbon Aerosol Analizörü Model 3*" cihazı (Şekil 3.6) kullanılarak analiz edilmiştir.

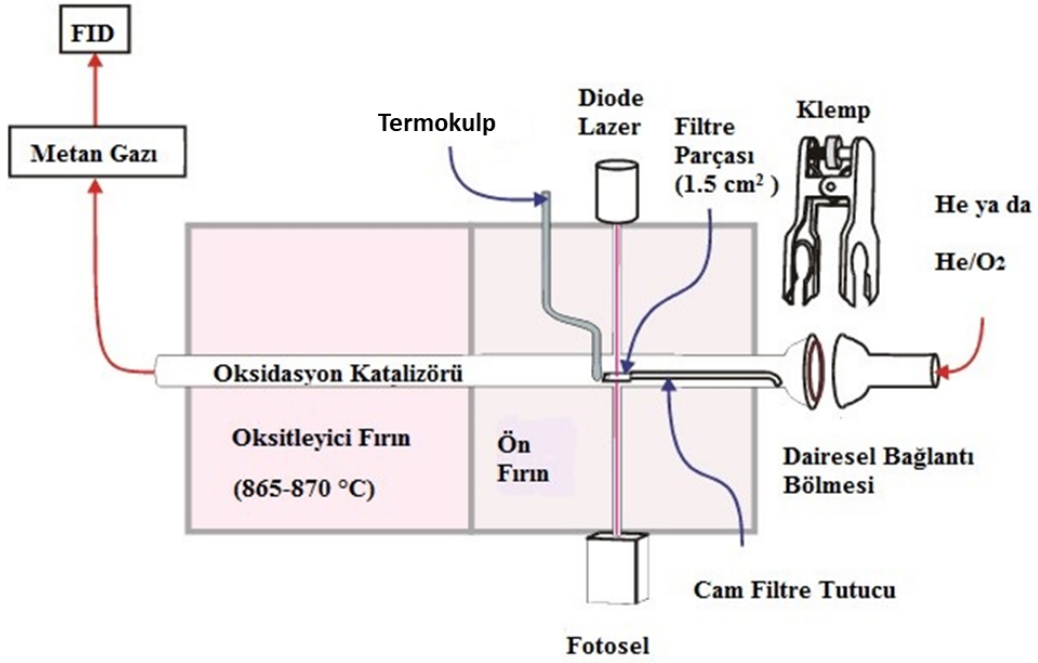
Şekil 3.6. EC/OC analizörü (Sunset Lab) (Keleş Özgül, 2022)

Günlük olarak toplanan PM örneklerinde EC ve OC analizi için Şekil 3.7'de gösterildiği gibi filtre üzerinden 1.5 cm^2 alanında kesilen filtre parçaları, cihazın cam örnek küreğine yerleştirilmiş ve daha sonra cam küreğin cihaz içerisine

sürülerek analiz başlatılmıştır. Şekil 3.8'de EC/OC cihazının çalışma prensibi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Filtreden kesilen kısım ve cihaza yerleştirilmesi

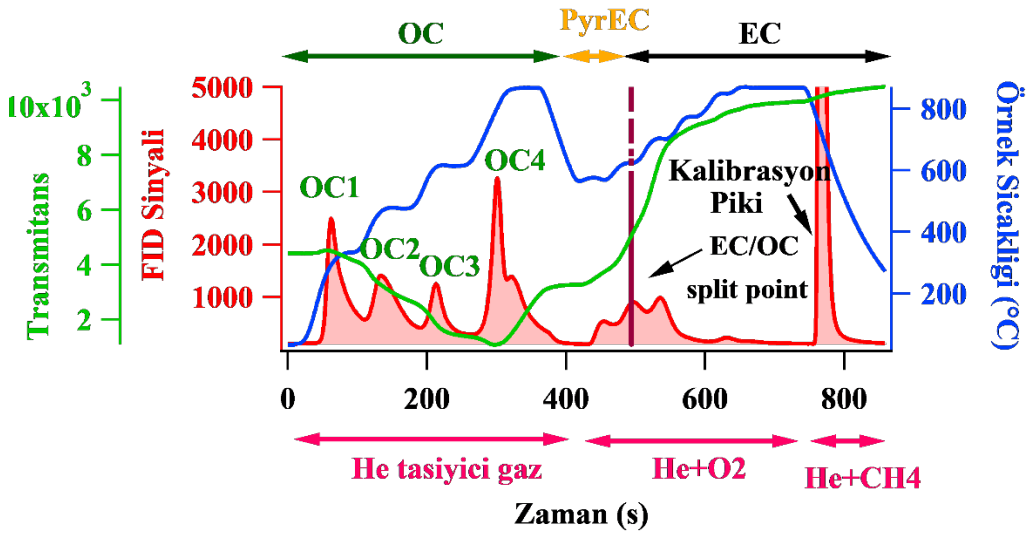


Şekil 3.8. EC/OC analizörü çalışma prensibi *(Keleş, 2014)*

Standart boyutta (1.5 cm²) kesilmiş PM yüklü kuvars filtreler kuvars fırınına yerleştirilir. İki aşamadan oluşan EC ve OC analizleri termal, optik ve kimyasal özelliklerinden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Fırına gönderilen helyum gazı, fırının sıcaklığını dört adımda 870 °C'ye yükseltir. Artan sıcaklıkla birlikte

örnekten desorbe olan organik bileşikler, piroliz ürünlerine dönüşerek manganez dioksit (MnO_2) oksitleme fırınına doğru hareket eder. MnO_2, fırında ilerlerken karbon bileşenlerini CO_2 gazına dönüştürür. Yükseltgen ortamdan helyum gazıyla dönüştürülen CO_2, hidrojen gazı ile karışır. Bu karışım daha sonra ısıtılmış nikel katalizöründe CH_4 gazına dönüşür ve alevli iyonlaşma dedektörü (FID) ile örnekte bulunan karbon tayin edilir. Kuvars örnekleme fırınındaki ilk aşama tamamlandıktan sonra fırın içindeki sıcaklık 550 °C'ye düşürülür ve fırından bu kez $He+O_2$ (%10 O_2 + %90 He) taşıyıcı gaz karışımı geçirilir. Bu oksitleyici gaz karışımıyla birlikte ikinci bir sıcaklık artışıyla örnekte bulunan elementel karbon, filtreden okside olarak MnO_2 fırınına hareket eder. Daha sonra elementel karbon da organik karbon gibi FID dedektörüyle tayin edilir. Şekil 3.9'da toplanan örneklerden birine ait bir termogram sunulmaktadır. Tipik bir termogramda dört organik karbon piki (OC_1, OC_2, OC_3 ve OC_4) ve altı elementel karbon piki (EC_1, EC_2, EC_3, EC_4, EC_5 ve EC_6) bulunmaktadır. OC'nin belirlendiği analizin ilk aşaması boyunca örnekleme yapılan filtrenin pirolizi aşamasında ışık geçirgenliğinin azaldığı görülmektedir. Termogramda görüldüğü üzere OC ve EC arasında PC oluşmaktadır. Bu aşama tamamlanınca filtre yerleştirilen kısım yavaş bir şekilde soğumaktadır.

Analizin ikinci aşaması, $He+O_2$ gazının (%10 O_2 + %90 He) akışıyla başlamaktadır. Sıcaklık birinci aşamada olduğu gibi dört adımda 870 °C'ye yükseltilmektedir. Analiz sırasında oluşan piklerin sıcaklık, bekleme süreleri ve hangi gaz ortamında bulundukları Tablo 3.10'da gösterilmiştir. EC analizine ait dört pik termogram üzerinde EC_1, EC_2, EC_3 ve EC_4 gösterilmektedir. Bu aşama, ilk aşamaya benzer şekilde, ilk aşamada oluşan PC ve EC oluşan ısı etkisiyle yanmaktadır. Analizin ikinci aşamasında da karbonlu bileşikler CO_2'ye dönüşmektedir.



Şekil 3.9. Örneklerden birine ait termogram

Elementel ve organik karbon piklerinin birbirinden ayrıldığı nokta cihazda otomatik olarak belirlenmekte ve "*Split Point*" olarak ifade edilmektedir. Termogramda en son pik kalibrasyon piki olup, CH_4 gazının iç standart olarak cihaza verilmesiyle oluşmaktadır.

EC/OC analizörünün işleyiş prensibi, yüksek sıcaklıklardaki ısıl desorpsiyon ile cihaz içinde bulunan lazer ışığının optik transmisyonunun birleşmesiyle gerçekleşir. Bu temel prensip, kuvars filtre üzerinde toplanan karbon bileşiklerinin iki fraksiyona ayrılmasına dayanır. Bu çalışma prensibine yönelik cihaz içinde OC ve EC'yi ayıran çeşitli protokoller bulunmaktadır.

Bu çalışmada cihazda bulunan protokollerden NIOSH 870 (National Institute for Occupational Safety and Health) seçilmiş olup cihazın yazılımında ayrıca NIOSH 5040, IMPROVE (Interagency Monitoring of Protected Visual Enviroments), (Birch ve Cary, 1996a); (Chow vd., 2001) EUSAAR2 (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research) (Cavalli, Viana, Yttri, Genberg ve Putaud, 2010) protokolleri de bulunmaktadır. Bu protokollerin hepsi ölçüm sonuçlarını "*TC = OC+EC*" olarak vermektedir. Analizörde farklı protokoller kullanıldığında her protokolün takip ettiği sıcaklık programı farklı olduğundan elde edilen EC sonuçları birbirinden farklı olmaktadır *(Chow vd., 2001)*. Bu çalışmada kullanılan NIOSH 870 protokolüne ait sıcaklık ve bekleme süreleri Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. EC/OC analizi sırasında oluşan piklerin bekleme sıcaklığı ve süreleri

Analiz Basamakları	Gaz	Bekleme süresi (s)	Bekleme Sıcaklığı (°C)
OC1	He	60	310
OC2	He	60	475
OC3	He	60	615
OC4	He	90	870
	He	Soğuma 50	
EC1	He /O2	45	550
EC2	He /O2	45	625
EC3	He /O2	45	700
EC4	He /O2	45	775
EC5	He /O2	45	850
EC6	He /O2	120	870

3.2.5 Kalite Güvence ve Kontrol

Çalışma kapsamında toplanan örneklerin EC/OC analizleri sırasında bazı Kalite Kontrol / Kalite Güvence (KK/KG) prosedürleri titizlikle uygulanmıştır. Bu prosedürler arasında günlük analizlere başlamadan önce cihazın boş çalıştırılması ve bu sayede cihazdan kaynaklanabilecek olası kontaminasyonların izlenmesi bulunmaktadır. Ayrıca, boş kuvars filtreler örneklerle aynı koşullarda analiz edilerek, örneklerin toplandığı filtrelerin içerdiği karbon miktarı sürekli olarak kontrol edilmekle birlikte boş filtre örneklerinde (n=8) ortalama toplam karbon (TC) değeri 0.73±0.26 μg cm^{-2} olarak tespit edilmiştir. Örneklerde belirlenen EC/OC değerleri, boş filtrelerde bulunan karbon miktarı çıkarılarak düzeltilmiştir.

Yapılan analizlerin doğruluğunu yine kontrol etmek için Sunset Lab. firmasından temin edilen ve içeriğindeki karbon (C) miktarı bilinen standart sükroz çözeltisi kullanılmıştır. Bu çözeltiden 10 μL (35.04 μg C) alınarak boş bir kuvars filtre üzerine enjekte edilmiştir. Elde edilen standart numune bir süre dışarıda kurutulduktan sonra örnek toplanan filtreler ile aynı koşullarda analiz edilmiştir.

Sunset Lab. firmasından temin edilen PES (Performans Evaluation Standart) standart filtrede yapılan analizlerin doğruluğunu kontrol etmek için örneklerin de analiz edildiği NIOSH 870 protokolü kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar aşağıda Tablo 3.11'de sunulmuştur.

Tablo 3.11. Sunset Lab. Firmasından temin edilen standart filtrenin analiz sonuçları

Örnek	OC (µg/cm^2)	EC (µg/cm^2)	TC (µg/cm^2)	EC/TC oranı
PES standart (Sunset Lab.)	5.74±0.39	12.82±0.74	18.55±1.13	0.69
PES standart (BAİBÜ) 1	6.51±0.43	14.09+0.80	20.6±1.23	0.68
PES standart (BAİBÜ) 2	6.16±0.41	14.02+0.80	20.18±1.21	0.69
PES standart (BAİBÜ) 3	6.11±0.41	14.01+0.80	20.13±1.21	0.70
Ortalama	*6.26*	*14.04*	*20.30*	*0.69*
Standart Sapma	*0.22*	*0.04*	*0.26*	*0.01*
Doğruluk (%)	**9.13**	9.55	9.44	0.11
Tekrarlanabilirlik (%)	**3.48**	0.31	1.27	0.95

Standart filtrenin analizinde doğruluğun % 10'un ve tekrarlanabilirliğin de %5'in altında kaldığı Tablo 3.11'den görülebilmektedir.

Sunset Lab. firmasından temin edilen ve EC ve OC içerikleri firma tarafından belirlenen performans değerlendirme standartları bu çalışmada yapılan EC/OC analizlerinin tekrarlanabilirliğini belirlemek amacıyla analiz edilmiştir ve söz konusu analizlere ait rölatif standart sapma (RSS) değeri Tablo 3.12'de verilmiştir. Tablo 3.11'den de görülebileceği gibi tekrarlanabilirlik ≤ % 5 olarak bulunmuştur. Ayrıca arka arkaya analiz edilen boş kuvars filtrelere ait ölçüm sonuçlarının standart sapma değeri üç ile çarpılarak cihazın tayin sınırı (TS) hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 3.12'de sunulmuştur. EC, OC ve TC için TS değeri sırasıyla 0.06, 0.31 ve 0.34 µg/cm^2 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.12. EC/OC analizörünün tayin sınırı (TS) ve ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliği

	N	OC	EC	TC
*__RSS (%)__	3	4.60	5.02	4.65
**__TS (µg cm^{-2})__	7	0.31	0.06	0.34

*Sunset Lab'dan temin edilen performans değerlendirme standart analiz sonuçları ile hesaplanmıştır

**Önceden yakılmış filtre şahitlerinin analiz sonuçları ile hesaplanmıştır.

3.3 Ankara İlinin Meteorolojik Özellikleri

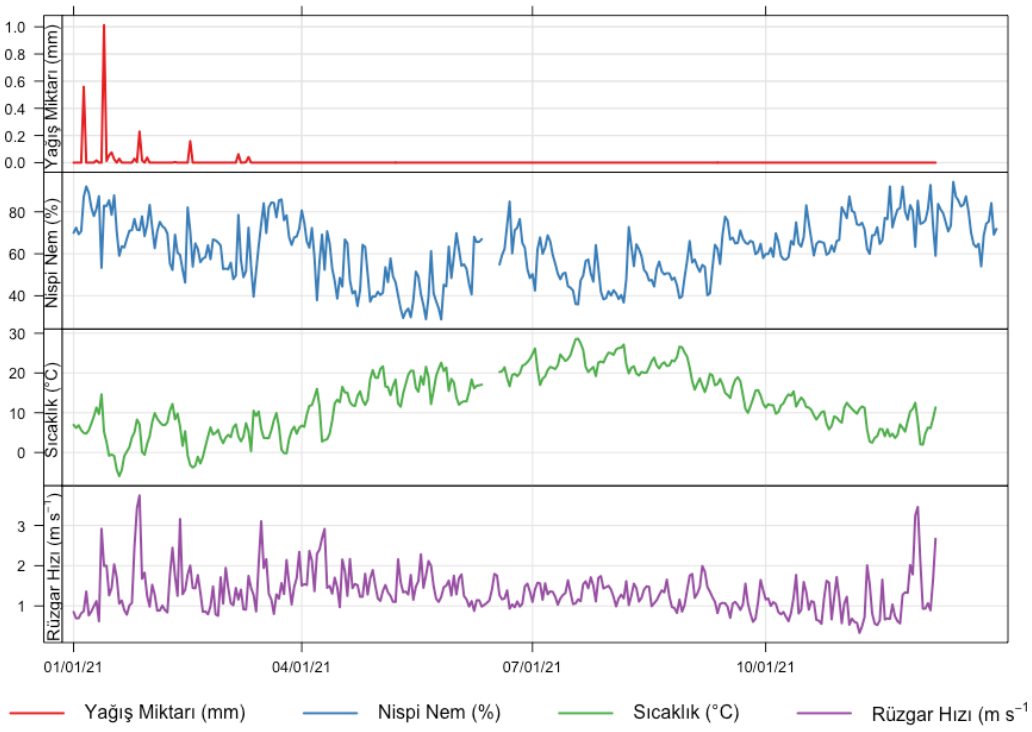
Meteorolojik faktörler, hava kalitesi ve kirliliğinin çeşitli yönlerini etkilemede kritik bir rol oynamaktadır. Çalışmalar, rüzgâr hızı, sıcaklık, bağıl nem, yağış ve hava kütlesi kaynağı gibi meteorolojik değişkenlerin, asılı partikül madde

gibi atmosferik kirleticilerin konsantrasyonunu önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir *(Gao vd., 2020)*. Bu faktörler kirleticilerin dağılımını, seyrelmesini ve birikmesini etkileyerek sonuçta hava kalitesi seviyelerini etkiler *(Wang ve Ogawa, 2015; Bochenek vd., 2021)*. Kirletici miktarını etkileyen önemli meteorolojik parametreler sıcaklık, nem, yağış miktarı, rüzgâr hızı ve şiddetidir *(Keleş Özgül, 2022)*.

Ankara ilinde 01.01.2021 ile 31.12.2021 tarihleri arasında Ankara'da Meteoroloji Genel Müdürlüğünce ölçülen meteorolojik parametrelerin (yağış, nispi nem, sıcaklık ve rüzgâr hızı) yıl boyunca değişimi incelenmiş istatistiksel özeti Tablo 3.13'te sunulmuş ve sonuçlar Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Fotokimyasal reaksiyonların hızını belirleyen en önemli değişkenlerden birisi olan sıcaklığın belirtilen dönemdeki ortalaması 12.66±7.68 ºC ve ortalama nem değeri ise % 61.95±14.31 olarak belirlenmiştir. Aynı döneme ait ortalama yağmur miktarı ve rüzgâr hızı ise sırasıyla 0.01±0.06 mm ve 1.34 m/sn olarak kaydedilmiştir.

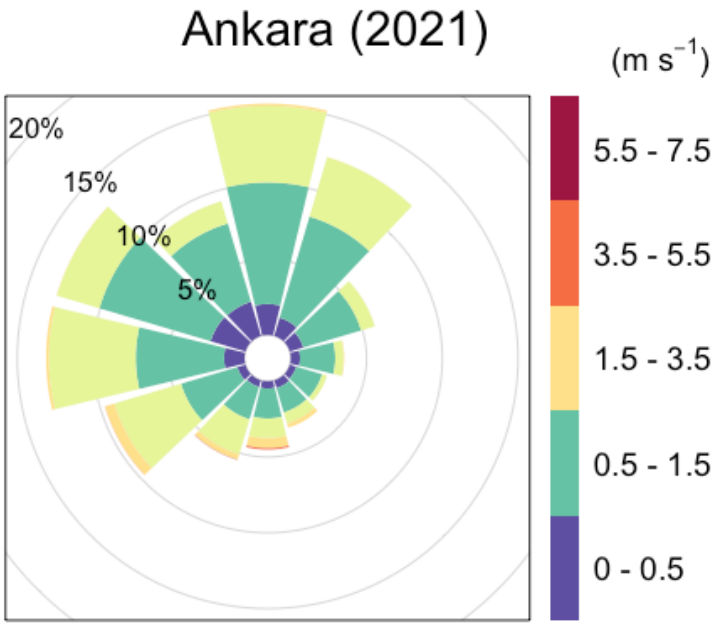
Tablo 3.13. 2021 yılında Ankara ilinde ölçülen meteorolojik parametrelerin istatistiksel özeti

Parametre	N	Ortalama	Std.S.	Ortanca	Min.	Maks.	Aralık	Q0.25	Q0.75
Yağış (mm)	341	0.01	0.06	0.00	0.00	1.01	1.01	0.00	0.00
Nispi Nem (%)	359	61.95	14.31	63.46	28.75	94.25	65.50	51.59	72.23
Sıcaklık (°C)	335	12.66	7.68	12.25	-5.96	28.64	34.60	6.32	19.22
Rüzgâr Hızı (m/sn)	341	1.34	0.51	1.26	0.33	3.75	3.42	1.02	1.55



Şekil 3.10. 2021 yılında Ankara ilindeki yağış, nispi nem, sıcaklık ve rüzgâr hızının zamana bağlı değişimi

Yağış, nem ve sıcaklığın 2021 yılı boyunca değişimine bakıldığında karasal iklimin belirgin özelliği olarak sıcaklığın yaz aylarında arttığı kış aylarında ise azaldığı görülmektedir. 2021 yılı Ankara ilinde hakim rüzgâr yönü ve hızını gösteren rüzgâr gülü Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. 2021 yılında Ankara ilindeki hakim rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı

Bu dönemde hakim rüzgâr yönünün kuzey- kuzeydoğu ve batı-güneybatı olduğu görülmektedir. En zayıf rüzgârların (0.5-1.5 m/sn) kuzey-kuzeybatı yönünden ve en şiddetli rüzgârların ise (1.5-3.5 m/sn) güney-güneybatı yönünden estiği görülmektedir.

3.4 Kaynak Belirleme Çalışmaları

Bu çalışmada, kirletici kaynaklarının tespiti için "Toprak Zenginleştirme Faktörü" ve "Faktör Analizi" yöntemleri kullanılmıştır.

3.4.1 Zenginleştirme Faktörü

Zenginleşme Faktörü (EF) özellikle ağır metaller olmak üzere toprak yüzeyinde antropojenik kirletici birikimin yoğunluğunu belirlemek için kullanılır. Analiz üst toprak bileşenlerine göre bir referans metalin miktarını kullanarak kirlilik endekslerini hesaplar *(Barbieri, 2016).* Endeksler topraktaki ağır metallerin arka plan seviyelerine kıyasla zenginleşmesinin nicel bir ölçüsünü sağlayarak kirleticilerin çevre üzerindeki etkisinin anlaşılmasına yardımcı olur *(Štrbac vd., 2017).* Referans metal, kararlı bir metal olmalı ve toprak yüzeyindeki dikey hareketlilik veya bozulmalardan etkilenmemelidir. Ayrıca referans alınan metalin küçük boyutlu partikül maddelerde bulunması gerekmektedir. Antropojenik kaynaklar tarafından topraktaki miktarı çok fazla değişmemelidir *(Barbieri, 2016).*

Fe, Al, Mn, Rb ve Ti metalleri zenginleştirme faktörü hesabında referans metal olarak pek çok çalışmada kullanılmıştır *(Ackermann, 1980; Barbieri, 2016; Loring vd., 1995).* Bu referans metallerden Al, ICP-MS ile hassas olarak ölçülebilmesi avantajıyla genellikle tercih edilir *(Balls vd., 1997; Ryan ve Windom, 1988; Sinex ve Wright, 1988).*

Toplanan PM örneklerinde belirlenen metallerin hangilerinin insan faaliyetleri sonucu ortam havasına karıştığını belirleyebilmek için gerekli olan EF_c değerlerinin hesaplanmasında aşağıda verilen $Eşitlik\ 1$ kullanılmıştır. $Eşitlik\ 1$'de öncelikle örneklerde belirlenen metallerin yine aynı örneklerdeki alüminyum konsantrasyonuna oranı alınmış ve bu oran daha sonra referans olarak kullanılan (Mason, 1966) toprak kompozisyonundaki orana bölünmüştür *(Zararsız ve Öztürk, 2020).*

$$EF_c = \frac{(\frac{C_x}{C_{Al}})_{örnek}}{(\frac{C_x}{C_{Al}})_{toprak}} \cdots\cdots\cdots (Eşitlik\ 1)$$

Bu eşitlikte $(C_x/ C_{Al})_{örnek}$ örnekteki 'x' elementinin konsantrasyonunun 'Al' konsantrasyonuna oranını, $(C_x/C_{Al})_{toprak}$ referans topraktaki 'x' elementinin konsantrasyonun 'Al' konsantrasyonuna oranını göstermektedir.

Toprak zenginleştirme faktörü (EF_{toprak}) değerleri aşağıda Tablo 3.14'te verildiği gibi kategorize edilebilir *(Gope vd., 2018)*.

Tablo 3.14. Toprak zenginleştirme değerleri ve zenginleşme seviyesi

EF_{toprak}	**Zenginleşme Seviyesi**
$EF_{toprak} < 2.0$	Minimum zenginleşme
$2.0 < EF_{toprak} < 5.0$	Önemli zenginleşme
$20 < EF_{toprak} < 40$	Çok yüksek zenginleşme
$EF_{toprak} > 40$	Aşırı zenginleşme

Yerküreden kaynaklanan ve insan faaliyetleri sonucu kontaminasyona uğramamış alanlarda toplanan örneklerde belirlenen elementler için toprak zenginleştirme oranının <2.0 olması beklenirken antropojenik kaynaklar sonucu kirlenmiş alanlarda ise bu değer >2.0'dir *(Barbieri, 2016).*

3.4.2 Faktör Analizi

Faktör analizi ilk olarak psikolojik veri setlerinin yorumlanması için geliştirilmiş bir istatistiksel tekniktir. İlk geliştirildiği günden bu yana faktör analizin varyasyonları kent atmosferinde bulunan aerosollerin kaynaklarının belirlenmesinin yanında nükleer magnetik rözonans kimyasal kaymasının, gaz-sıvı kromatografi retensiyon hacimlerinin, karışımların kütle spektrumlarının ve kömürde mineral fazların incelenmesi gibi çok farklı alanlarda kullanılmıştır *(Roscoe vd., 1982).*

Faktör analizinin hava kirliliğinin kaynaklarının belirlenmesine yönelik olarak ilk uygulamaları 1970'li yıllara kadar dayanmaktadır. Hopke vd. (1976) Boston'da (ABD) aerosol kimyasal kompozisyonunu etkileyen kaynakları belirlemek için bu tekniği kullanmıştır. Daha sonra Gaarenstroom vd. (1977) Tucson'da (ABD) yine faktör analizini kullanarak kirletici kaynaklarını belirlemiştir. Ülkemizde de faktör analizi yine kirletici kaynaklarının belirlenmesi amacıyla çok sayıda çalışmada tercih edilen bir yöntem olmuştur. (Örneğin, *Güllü ve Tuncel, (2004); Öztürk & Keleş, (2016); Koçak vd., (2021).*

Faktör analizi, birbiriyle ilişkili çok sayıda değişkeni bir araya getirerek az sayıda kavramsal olarak anlamlı yeni değişkenler (faktörler) bulmayı amaçlayan çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir *(Büyüköztürk, 2002).* Faktör analizine girdi olarak bir matris girilmektedir. Bu matriste her bir kolon aeorosol yapısında belirlenen parametreyi (kirleticiyi) ve her bir satırda aerosol örneğinin toplandığı günü temsil etmektedir. Temel bileşen analizi (principal component analyses, PCA) faktör analizinin en temel formudur. Hava kirliliğinin kaynaklarının belirlenmesinde kullanılan temel bileşen analizini aşağıda Eşitlik 2'de verildiği gibi ifade etmek mümkündür:

$$C_{ik} = \sum_{j=1}^{N} L_{ij} S_{jk} \cdots\cdots\cdots (Eşitlik\ 2)$$

Burada:

C_{ik} = "i" parametresinin "k" örneğindeki normalize edilmiş konsantrasyonunu,

N = toplam kaynak sayısını.

S_{jk}= “k” örneğindeki “j” kaynağının faktör yükünü

L_{ij}= “j” kaynağındaki “i” parametresinin faktör yükünü, göstermektedir.

Faktör analizinde doğru faktör (kaynak) sayısına karar vermede kullanılan en önemli kriter eigenvalue (öz değer) değerindeki değişimdir. Faktör analizi sonucu elde edilen eigenvalue değerine karşılık faktör sayısı çizildiğinde eigenvalue değerindeki en büyük düşüş optimum faktör sayısının belirlenmesini sağlar *(Cattell, 1966).* Bu çalışmada FA JMP ® Pro 16.0.0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.4.3 İstatistiksel Analizler

Bu çalışmada verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve görselleştirilmesinde Igor Pro. 6.38 ve JMP pro 16.0.0 programları kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Gerçek Zamanlı Ölçüm Sonuçları

Sıhhiye ve Siteler Hava Kalitesi İzleme istasyonlarında partikül maddenin yanısıra gaz fazlı inorganik kirleticilerden SO_2, NO, NO_2, NO_x, O_3 ve CO konsantrasyonları anlık olarak izlenmektedir. Çalışmanın bu bölümünde gaz fazlı kirleticilerin istatistiksel özetleri ve zamansal değişimleri değerlendirilmiştir.

4.1.1 Siteler İstasyonu Gerçek Zamanlı Ölçüm Sonuçları

Tablo 4.1'de Siteler istasyonunda izlenen hava kalitesi verilerinin 2021 yılındaki istatistiksel özetleri (veri sayısı: N, ortalama, standart sapma: Std.S., ortanca, minimum: Min., maksimum: Maks., aralık, Q0.25: 1.kartil ve Q0.75: 3.kartil) sunulmuştur. Ortalama SO_2, NO_x, O_3 ve CO konsantrasyonları sırasıyla 13.78±5.27, 84.02±70.92, 20.99±19.48 ve 1134.10±984.96 μg/m^3 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.1. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin istatistiksel özeti (μg/m^3)

Parametre	N	Ortalama	Std.S.	Ortanca	Min.	Maks.	Aralık	Q0.25	Q0.75
SO_2	267	13.78	5.27	13.59	2.16	36.46	34.30	10.15	16.64
NO	348	41.76	55.87	18.82	0.83	394.92	394.10	7.79	50.28
NO_2	348	42.26	19.40	41.56	4.11	100.45	96.33	27.26	54.00
NO_x	348	84.02	70.92	61.20	6.61	493.08	486.47	35.48	107.81
O_3	200	20.99	19.48	14.78	6.14	155.55	149.41	11.09	21.89
CO	354	1134.10	984.96	787.88	53.02	5390.86	5337.84	372.43	1635.36

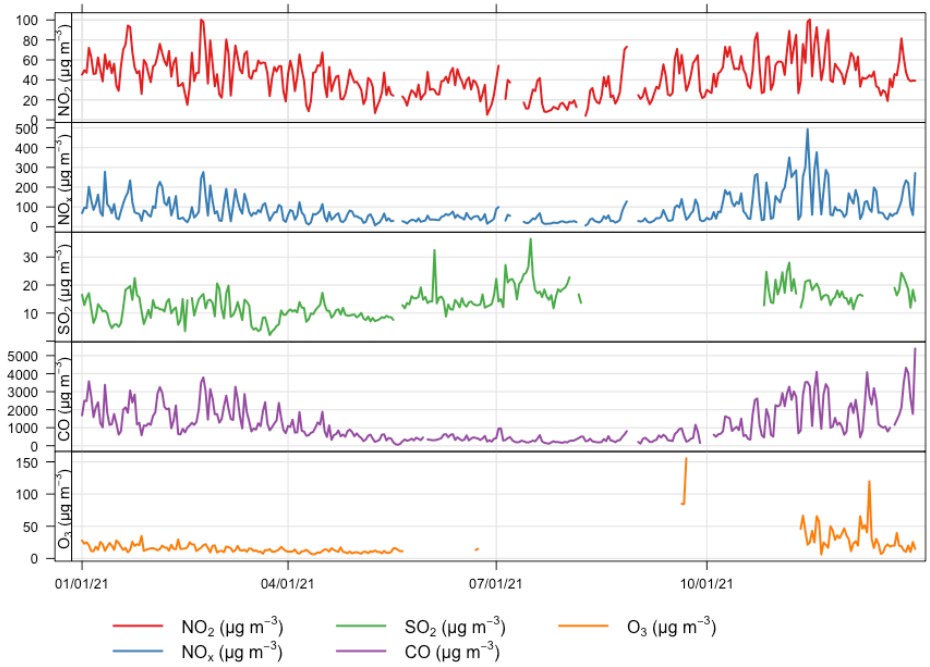
Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (Resmî Gazete, 2008) ekosistemin korunması için uyulması gereken yıllık ve kış dönemi SO_2 limit değeri 20 μg/m^3 olarak verilmiştir. Siteler istasyonunda belirlenen ortalama yıllık değerin ilgili yönetmelikteki değerin altında kaldığı görülmektedir. Yine yönetmelikte NO_2 ve NO_x için yıllık limit değerler sırasıyla 40 ve 30 μg/m^3 olarak verilmiştir. Bu çalışmada Siteler istasyonunda ölçülen NO_2 ve NO_x değerlerinin yönetmelik değerlerinin yaklaşık iki kat daha üzerinde olduğu görülmektedir.

Tığlı ve Cangür (2019) tarafından yapılan çalışmada Ankara'da bulunan hava kalite izleme istasyonlarından elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Araştırmacılar Dikmen, Keçiören, Sıhhiye, Sincan ve Cebeci istasyonlarında ölçülen ortalama SO_2 konsantrasyonlarını sırasıyla 5.49, 5.57, 7.94, 7.33 ve 7.72 $\mu g/m^3$ olarak raporlamıştır. Siteler istasyonunda Tablo 4.1'de verilen değerin bu değerlerden yaklaşık iki kat daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Aynı çalışmada araştırmacılar NO_2 konsantrasyonlarını Dikmen, Keçiören, Sıhhiye, Sincan ve Cebeci sırasıyla 65.12, 44.85, 65.87, 50.34 ve 55.53 $\mu g/m^3$ olarak raporlamıştır. Siteler istasyonu için bu çalışmada ölçülen NO_2 konsantrasyonu Keçiören istasyonunda Tığlı ve Cangür (2019) tarafından paylaşılan değere yakın olmakla birlikte diğer istasyonlarda ölçülen NO_2 seviyesinden küçüktür. Keçiören ve Cebeci istasyonlarında O_3 konsantrasyonu sırasıyla 40.2 ve 38.41 $\mu g/m^3$ olarak ölçülmüştür *(Tığlı ve Cangür, 2019).* Bu çalışmada Siteler için ölçülen ortalama O_3 konsantrasyonu her iki istasyonu için raporlanan değerlerin yaklaşık yarısı kadardır. Tığlı ve Cangür (2019) Sıhhiye ve Cebeci istasyonları için ortalama CO konsantrasyonları 1042 ve 1008 $\mu g/m^3$ olarak paylaşmıştır. Siteler istasyonunda bu çalışmada belirlenen CO konsantrasyonu raporlanan bu CO seviyelerinden % 10 daha yüksektir. Buraya kadar yapılan bu tartışmadan Siteler istasyonunda bu çalışma kapsamında ölçülen değerlerin Ankara'da bulunan diğer hava kalitesi izleme istasyonlarına göre özellikle SO_2 ve CO açısından daha kirli olduğunu söylemek mümkündür. Bilindiği gibi atmosferik SO_2 gazının en büyük kaynağı termik santrallerde ya da diğer endüstriyel faaliyetlerde fosil yakıtların yakılmasıdır *(EPA, 2024).* Karbon monoksit ise özellikle motorlu taşıtlarda fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınmaktadır *(Jaffe, 1968).*

Dolayısı ile Siteler istasyonunun fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınana emisyonların etkisi altında olduğunu söylemek mümkündür. Evsel ısınma, endüstriyel (örneğin, mobilya imalathanelerinin ısıtılması) ve trafik örnekleme noktasını etkileyen ve fosil yakıt kullanan önemli kaynaklar olarak sıralabilir.

Siteler istasyonunda 2021 yılındaki ölçülen gaz fazlı kirleticilerin zamansal değişimleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi özellikle NO_x, ve CO emisyonlarının Mayıs-Eylül ayları arasında azaldığı görülmektedir. Azot dioksit emisyonlarında da söz konusu dönemde bir azalma görülmesine rağmen bu kirletici seviyesindeki düşüş NO_x ve CO kirleticilerinde gözlendiği kadar çok

değildir. Diğer taraftan SO_2 emisyonlarının Haziran-Ağustos döneminde artması bu kirleticinin kaynağının evsel ısınma olmadığını göstermektedir. Mobilya imalathanelerinde üretilen atıklar genellikle bu işletmelerde yakılarak bertaraf edilmektedir. Kükürt dioksit emisyonunda yaz döneminde gözlenen bu artışa imalathanelerin sebep olduğu düşünülmektedir. Bu istasyonda ozon analizörü yaz sezonunda arızalı olduğu için bu kirleticiye ait değerler Şekil 4.1'de sunulmamıştır.



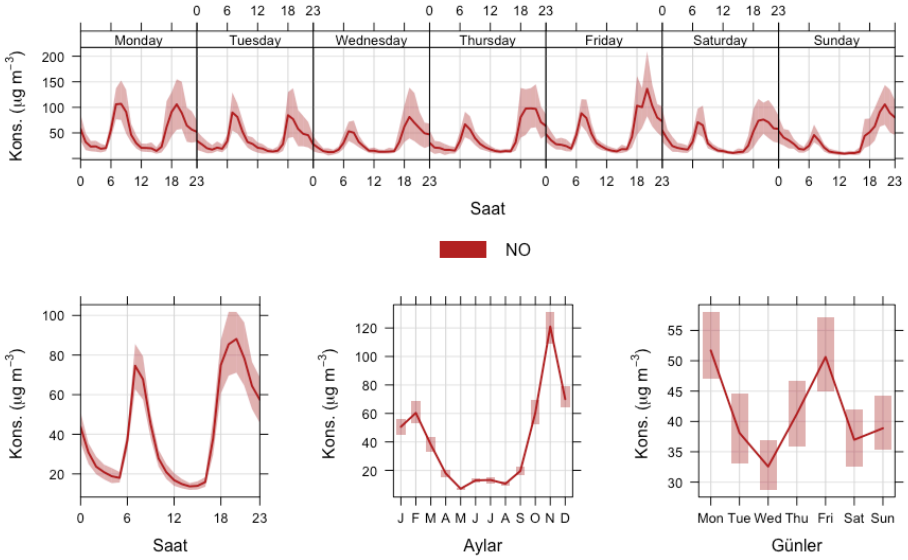
Şekil 4.1. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin zamansal değişimi

Siteler istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin 2021 yılındaki aylık ortalama konsantrasyonları Tablo 4.2'de sunulmuştur. Kükürt dioksit için en yüksek ortalama konsantrasyon değeri Ağustos ayında 19.45 µg/m^3, en düşük ortalama konsantrasyon değeri ise Mart ayında 9.51 µg/m^3 olarak belirlenmiştir. Azot dioksit için ortalama en yüksek ve en düşük konsantrasyon değerleri Kasım ve Temmuz aylarında sırasıyla 60.71 ve 21.31 µg/m^3 değerinde ölçülmüştür.

Tablo 4.2. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin aylık ortalamaları (μg/m^3)

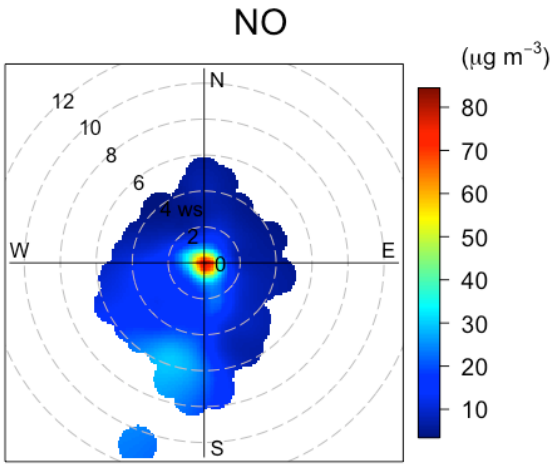
Aylar	SO_2	NO	NO_2	NO_x	O_3	CO
Ocak	11.78	50.62	54.89	105.51	18.79	1782.47
Şubat	12.05	60.38	54.44	114.55	17.29	1916.73
Mart	9.51	38.14	49.13	87.27	12.87	1597.18
Nisan	10.72	17.88	39.74	57.62	10.72	867.97
Mayıs	10.88	7.14	26.43	33.57	10.55	362.54
Haziran	14.14	12.99	33.85	46.84	14.02	406.89
Temmuz	19.33	13.25	21.31	34.56		302.01
Ağustos	19.45	10.63	27.01	37.64		331.44
Eylül		19.61	37.88	57.49	95.53	470.40
Ekim	18.26	60.37	49.76	110.13	87.85	1145.38
Kasım	18.53	121.01	60.71	181.72	36.97	2249.68
Aralık	16.96	70.05	44.32	114.38	28.77	2134.14

Şekil 4.2'de Siteler istasyonunda NO kirleticisinin saatlik, günlük ve aylık değişimi sunulmuştur. İstasyonda en yüksek NO seviyesinin Pazartesi ve Cuma günleri gözlendiği görülmektedir. Gözlenen bu trend Siteler semtinde bulunan mobilya imalathanelerinden üretilen ürünlerin sevkiyatı veya bu imalathanelerine gerçekleşen ham madde sevkiyatı ile açıklanabilir. Saatlik olarak değişim incelendinde özellikle sabah 6:00 ve akşam 18:00'den sonra konsantrasyonların en yüksek seviyeye çıktığı görülmektedir. Bu pik saatleri semtte görülen trafik yoğunluğu ile ilişkilendirilebilir. Azot monoksit konsantrasyonlarının Mayıs-Eylül ayları arasında azaldığı, kış mevsiminde ise arttığı görülmektedir. Azot monoksit topraktan atmosfere doğal olarak salındığı gibi trafik ve gemi emisyonları, evsel ısınma ve enerji üretimi gibi farklı antropojenik kaynaklarda gerçekleşen yüksek sıcaklıkta eksik yanma önemli azot monoksit kaynağıdır *(Delaria ve Cohen, 2023; Thürkow vd., 2023)*. Kış mevsiminde NO seviyelerinin artış göstermesi hem kirletici kaynaklarından atmosfere daha fazla NO salınması hem de karışım yüksekliğinin ve ventilasyonun azalması ile açıklanabilir.



Şekil 4.2. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi

Siteler istasyonunda izlenen NO konsantrasyonunun rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi Şekil 4.3'te sunulmuştur. Şekilden en yüksek konsantrasyonun istasyonun yakın çevresinde ölçüldüğünü söylemek mümkündür.

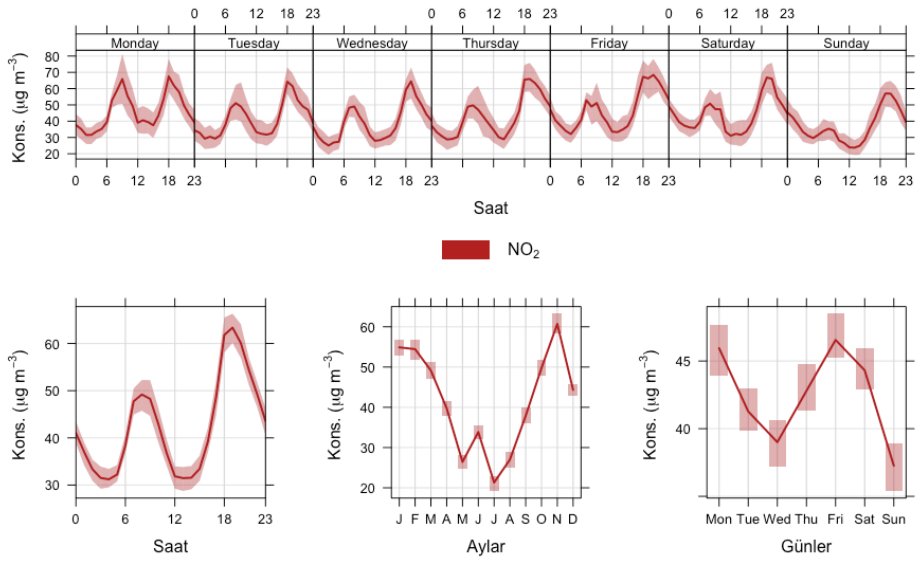


Şekil 4.3. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

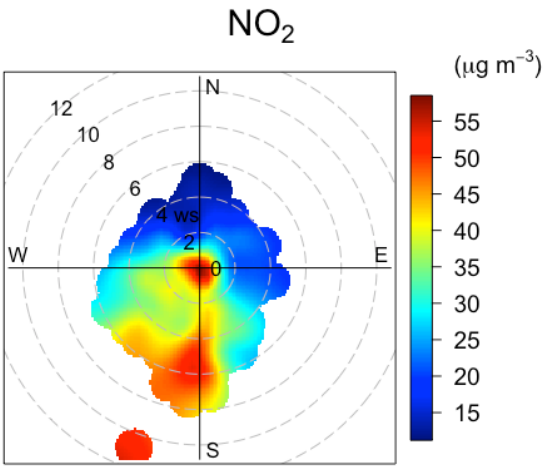
Siteler istasyonunda NO_2 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimleri Şekil 4.4'te sunulmuştur. Birincil kirletici kaynaklarından (örneğin, motorlu taşıtlar) atmosfere salınan NO atmosferik ozonun da etkisiyle atmosferde

oksitlenerek azot dioksite dönüşmektedir. Özellikle kentsel atmosferde ozonun titrasyonuna sebep olan ve "Leighton Döngüsü" olarak bilinen tepkimeler ile atmosferde bulunan NO öncelikle ozon ile tempkimeye girmekte daha sonra birikerek azot dioksite dönüşmektedir. Bu durum özellikle ventilasyonun düşük olduğu zamanlarda ve kent merkezlerinde gerçekleşmektedir *(Finlayson-Pitts ve Pitts, 2000; Leighton, 1961)*. Ozonun varlığında birkaç saat içinde NO_2 önce nitrik asite daha sonra ise eğer atmosferde amonyum iyonu varsa partikül fazında nitrata dönüşmektedir *(Schaap vd., 2004)*. Azot dioksitin zamansal değişiminin NO ile hemen hemen aynı örüntüyü takip ettiği Şekil 4.4'ten de görülmektedir.

Azot dioksit konsantrasyonunun rüzgâr hızı ve yönü ile değişimi Şekil 4.5'te sunulmuştur. İstasyonun yakın çevresi ve güney-güneybatı yönünde istasyonu etkileyen bir kaynağın olduğu görülmektedir.

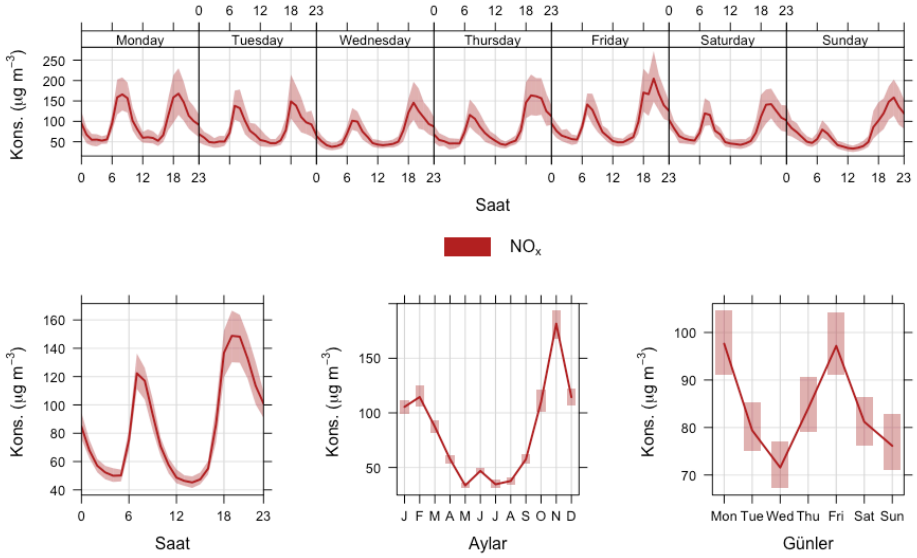


Şekil 4.4. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO_2 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi

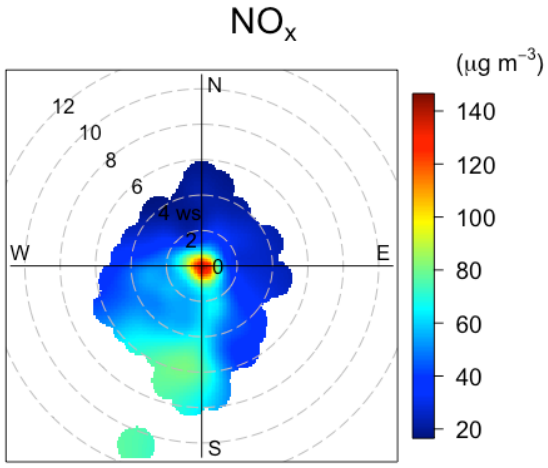


Şekil 4.5. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO_2 parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

Siteler istasyonunda 2021 yılı içerisinde ölçülen NO_x parametresinin zamansal değişimi Şekil 4.6'da sunulmuştur. Azot monoksit ve azot dioksitin toplamı olarak ifade edilen NO_x, NO ve NO_2 ile benzer zamansal değişim izlemektedir. En yüksek NO_x konsantrasyonlarının sabah saat 06:00 ve akşam saat 18:00'den sonra gözlendiği, Pazartesi ve Cuma günleri NO_x seviyelerinin en yüksek ortalama konsantrasyonlara ulaştığı ve kış mevsiminde pik yaptığı görülmektedir. Azot oksitin rüzgâr hızı ve yönü ile değişimi ise Şekil 4.7'de verilmiştir. İstasyonun yakın çevresinde NO_x seviyelerinin arttığı ve güney, güney-batı yönlerinden esen rüzgârla da istasyona NO_x taşındığını söylemek mümkündür.



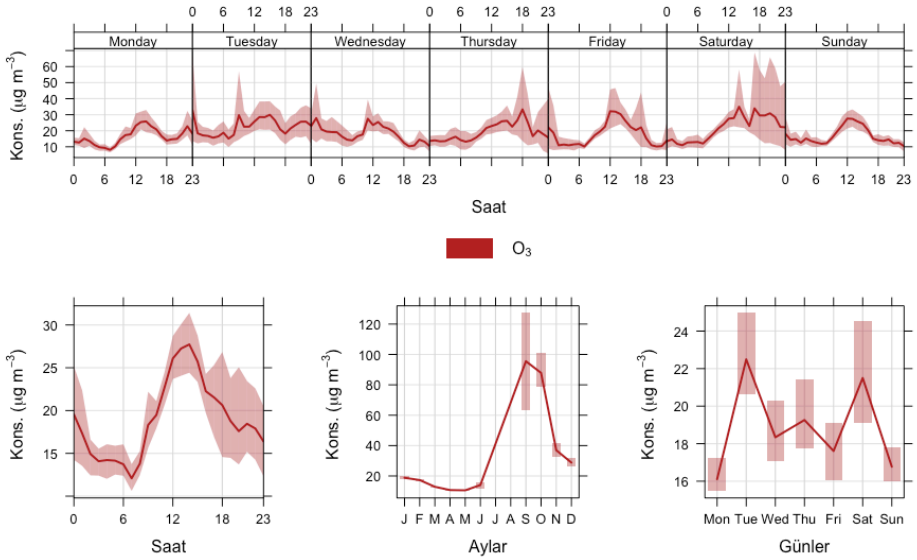
Şekil 4.6. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO_x konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi



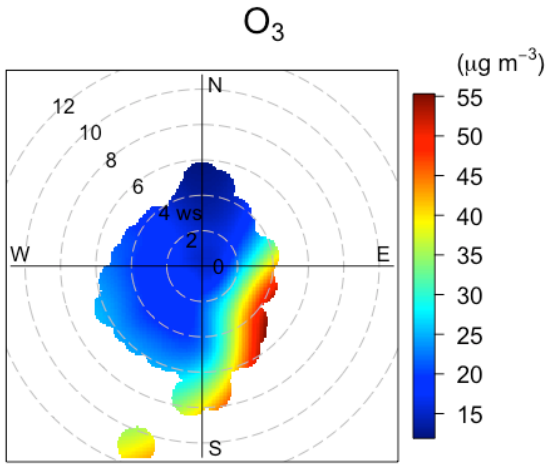
Şekil 4.7. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen NO_x parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

Ozonun zamansal değişimi Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Ozonun en yüksek seviyesine öğleden sonra saat 14:00 gibi ulaştığı, Salı ve Cumartesi günleri ise pik yaptığı görülmektedir. Daha önce de tartışıldığı gibi NO ozonun kentsel atmosferde titrasyon ile konsantrasyonunun düşmesine neden olmaktadır. Pazartesi ve Cuma günleri en yüksek seviyelerine çıkan NO_x bileşenleri nedeniyle ozon konsantrasyonu bu günler için daha düşük değerlerde görülmektedir. Ancak, NO_x bileşenlerinin düşük olduğu Salı ve Cumartesi gününde istasyonda gözlenen ozon

seviyesi artmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi 2021 yılında yaz döneminde ozon analizörü arızalı olduğu için veri temin edilememiştir. O nedenle her ne kadar Şekil 4.8'de maksimum ozon seviyesi Eylül ayında görülse de veri eksikliği nedeniyle gözlenen bu durum gerçekçi değildir. Şekil 4.9'da ise ozonun rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi sunulmuştur. En yüksek ozon konsantrasyonunun güney, güney-doğu ve doğu yönlerinden esen rüzgârlar ile istasyonu ulaştığını söylemek yanlış olmayacaktır.

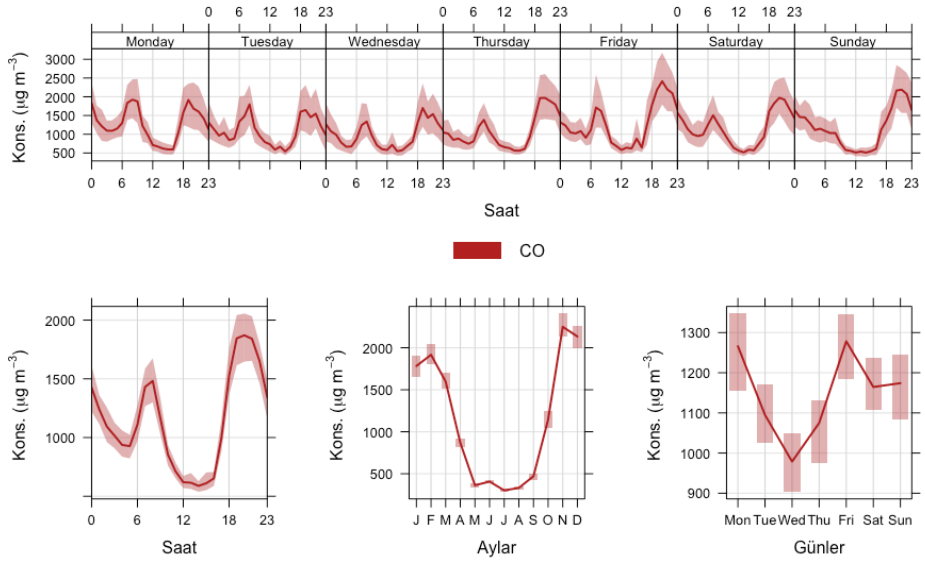


Şekil 4.8. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen O_3 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi

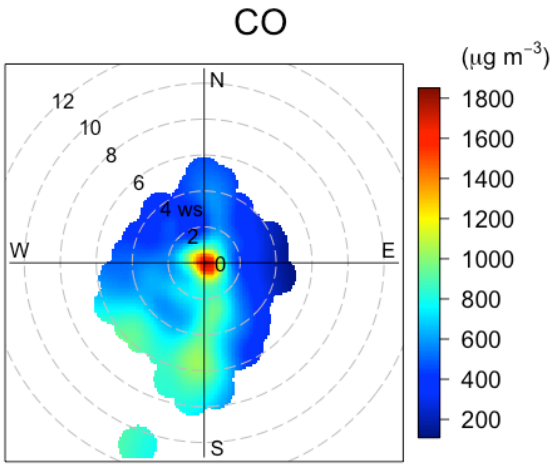


Şekil 4.9. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen O_3 parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

Siteler istasyonunda CO kirleticinin zamansal değişmi Şekil 4.10'da sunulmuştur. Azot oksit bileşiklerinde olduğu gibi bu kirleticinin de sabah saat 06:00 ve akşam saat 18:00'den sonra en yüksek seviyelere çıktığı görülmektedir. Yine CO en yüksek konsantrasyonlara Pazartesi ve Cuma günleri çıkmaktadır. Mevsimsel değişimleri incelendiğinde ise kış dönemi en yüksek CO seviyelerinin ölçüldüğü dönemdir. Karbon monoksit konsantrasyonunun rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi incelendiğinde NO_x emisyonlarında olduğu gibi istasyonun yakın çevresinin ve güney, güney-batı yönlerinden esen rüzgârların istasyonu yüksek CO emisyonu taşıdığı söylenebilir (Şekil 4.11).



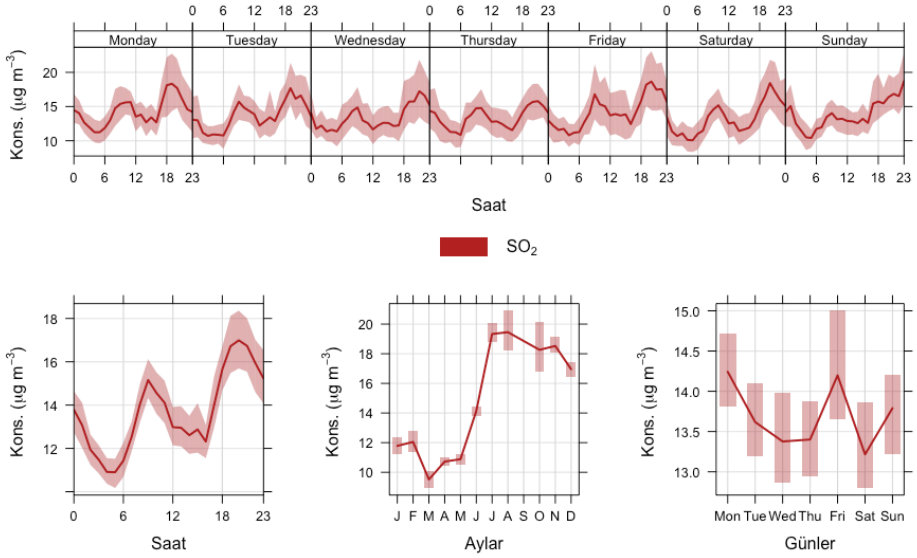
Şekil 4.10. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen CO konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi



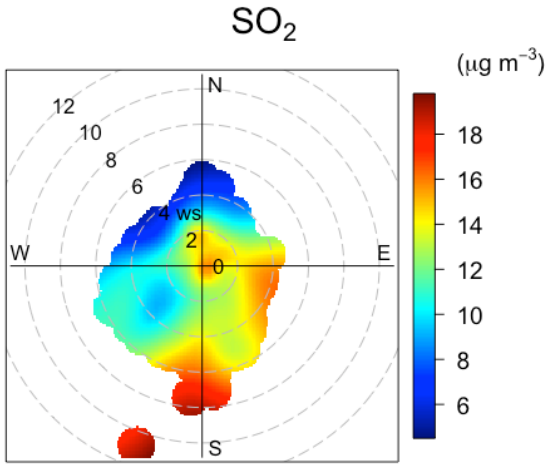
Şekil 4.11. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen CO parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

Kükürt dioksit kirleticisinin zamansal değişimi Şekil 4.12'de; rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi Şekil 4.13'te sunulmuştur. Kükürt dioksit konsantrasyonlarının da CO ve NO_x bileşiklerinde olduğu gibi sabah 06:00 ve akşam 18:00'den sonra maksimum seviyeye çıktığı görülmektedir. Fakat SO_2 bu kirleticilerden farklı olarak öğleden sonra 12:00-18:00 arasında çok büyük bir azalma göstermemektedir.

Mevsimsel değişimi incelendiğinde ise Haziran ayından başlayarak SO_2 konsantrasyonlarının arttığı ve kış sezonunda maksimum seviyede kaldığı görülmektedir. Kükürt dioksitin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi (Şekil 4.13) incelendiğinde güney yönünde bir SO_2 kaynağının olduğu, güney-güney doğu yönlerinde de SO_2 seviyesinin yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen SO_2 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi



Şekil 4.13. 2021 yılında Siteler istasyonunda izlenen SO_2 parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

4.1.2 Sıhhiye İstasyonu Gerçek Zamanlı Ölçüm Sonuçları

2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen gaz fazlı parametrelere ilişkin konsantrasyon değerlerinin özeti Tablo 4.3'te verilmiştir. Yıllık SO_2 ortalaması 3.08±1.13 µg/m^3, NO_2 ortalaması 59.75±39.42 µg/m^3, NO_x ortalaması 126.37±73.97 µg/m^3, en yüksek NO_x konsantrasyonu 535.91 µg/m^3, O_3 ortalaması 23.21±16.32 µg/m^3 ve CO ortalaması 839.02±341.01 µg/m^3 olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.3. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin istatistiksel özeti ($\mu g/m^3$)

Parametre	N	Ortalama	Std.S.	Ortanca	Min.	Maks.	Aralık	Q0.25	Q0.75
SO_2	180	3.08	1.13	2.90	0.90	7.08	6.18	2.25	3.91
NO	298	66.13	43.91	54.71	12.17	313.73	301.55	40.36	81.74
NO_2	298	59.75	39.42	46.42	12.10	254.12	242.03	30.93	81.45
NO_x	298	126.37	73.97	113.06	31.32	535.91	504.59	82.26	146.36
O_3	330	23.21	16.32	18.28	2.84	79.25	76.41	11.45	31.58
CO	365	839.02	341.01	808.17	217.97	2212.73	1994.76	563.69	1042.27

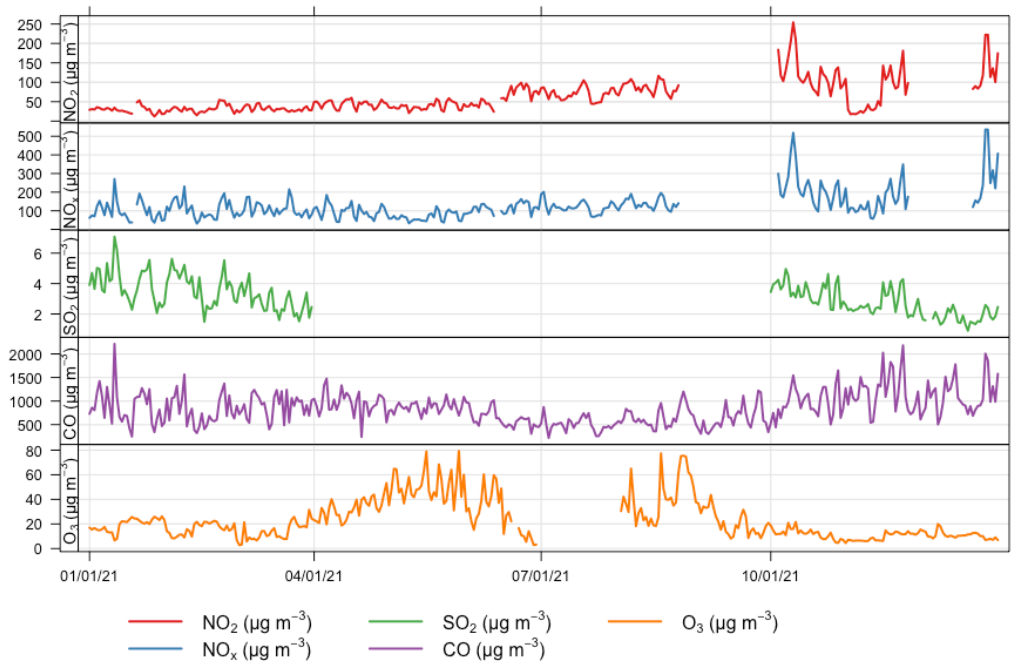
Sıhhiye istasyonunda belirlenen ortalama yıllık SO_2 değeri Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde verilen limit değerin (20 $\mu g/m^3$) altında kaldığı görülmektedir. Yine yönetmelikte NO_2 ve NO_x için yıllık limit değerler sırasıyla 40 ve 30 $\mu g/m^3$ olarak verilmiştir. Bu çalışmada Sıhhiye istasyonunda ölçülen NO_2 ve NO_x değerlerinin yönetmelik değerlerinin sırasıyla yaklaşık 1.5 ve 4 kat daha üzerinde olduğu görülmektedir.

Sıhhiye istasyonunda 2021 yılında izlenen gaz fazlı kirleticilerin aylık ortalamaları Tablo 4.4'te verilmiştir. Ortalamalar incelendiğinde en yüksek O_3 konsantrasyonu yaz aylarında, en yüksek NO_x ve CO konsantrasyonları ise kış aylarında görülmüştür. SO_2 analizöründeki arıza sebebiyle yaz aylarında üretilen veri, veri setinden çıkarılmıştır, bu sebeple Tablo 4.4'te ve Şekil 4.14'te sunulmamıştır. Ozon atmosferde uçucu organik bileşikler (volatile organic compounds, VOCs) ve azot oksitlerin fotokimyasal tepkimeleri sonucu oluşmaktadır *(Donzelli ve Suarez-Varela, 2024).* Dolayısı ile Haziran-Ağustos dönemi atmosferde en yüksek O_3 seviyelerinin görülmesi gereken bir dönem olarak düşünülebilir. Eylül- Mart döneminde ise fotokimyasal tepkimelerin azalması ile atmosferde ozon oluşumu da yavaşlamaktadır. Ayrıca, kentsel atmosferde NO_x seviyelerinin yüksek olması atmosferik ozonun titrasyona uğramasına ve seviyesinin azalmasına neden olmaktadır *(Fallmann vd., 2016; Guo vd., 2024).*

Tablo 4.4. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin aylık ortalamaları (µg/m^3)

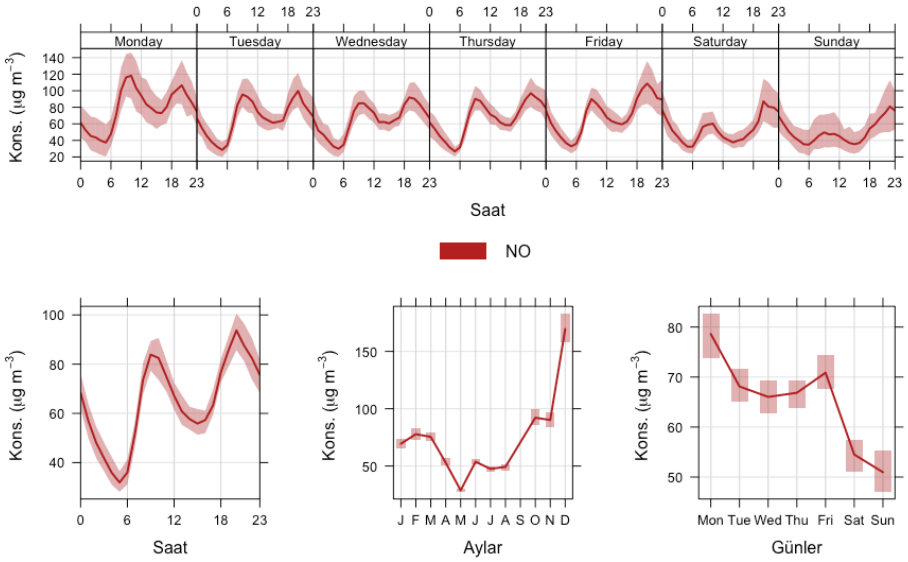
Aylar	SO_2	NO	NO_2	NO_x	O_3	CO
Ocak	4.03	69.45	28.51	97.97	19.41	879.83
Şubat	3.82	77.82	31.83	109.65	16.10	800.51
Mart	2.79	75.42	31.47	106.89	13.66	901.91
Nisan		52.91	44.11	97.02	32.20	964.58
Mayıs		28.77	38.12	66.89	50.99	873.57
Haziran		53.73	61.40	115.13	30.16	627.27
Temmuz		47.49	69.37	117.74		496.23
Ağustos		49.30	86.15	137.02	41.81	662.58
Eylül					22.12	626.27
Ekim	3.47	92.16	118.45	215.61	11.22	964.97
Kasım	2.66	90.17	69.96	154.54	9.71	1180.82
Aralık	1.78	169.47	139.25	308.72	10.79	1113.30

Sıhhiye istasyonunda 2021 yılında ölçülen gaz fazlı kirleticilerin zamansal değişimleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Karbon monoksit değerlerinin yaz döneminde düşük kış döneminde yüksek olduğu görülmektedir. Azot dioksit ve NO_x değerlerinin de kış döneminde seviyelerinin arttığı yine şekilden çıkartılabilecek bir sonuçtur. Artan fotokimyasal aktiviteye bağlı olarak ozon seviyesinin yaz mevsiminde arttığı ve kış mevsiminde ise azaldığı görülmektedir.

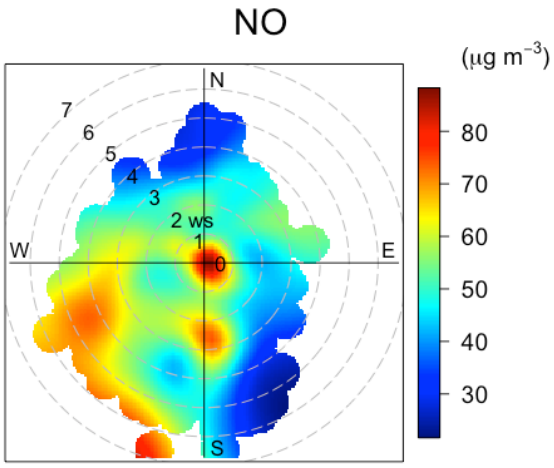


Şekil 4.14. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen gaz fazlı kirleticilerin zamansal değişimi

Gaz fazlı inorganik kirleticilerin saatlik, günlük ve aylık bazdaki değişimleri incelenmiştir. Azot monoksitin konsantrasyonlarının hafta içi, günlük ve saatlik değerleri Şekil 4.15'te sunulmuş olup en yüksek konsantrasyon değerlerinin hafta içi ve 08:00-10:00 saatleri ile saat 18:00'den sonra olduğu görülmüştür. Bu konsantrasyon artışlarını, mesai başlangıç ve bitiş saatlerindeki trafik yoğunluğu ile açıklamak mümkündür. Siteler istasyonundan farklı olarak saat 12:00'den sonra NO konsantrasyonunda çok fazla azalmanın olmadığı söylenebilir. Gözlenen bu durumu istasyon çevresinde günün her saati trafiğin yoğun olması ile açıklamak mümkündür. Hafta içi ve hafta sonu NO seviyeleri incelendiğinde hafta sonu konsantrasyonların daha düşük olduğu ve hafta içi Siteler istasyonunda olduğu gibi en yüksek konsantrasyon değerlerinin Pazartesi ve Cuma günü olduğu görülmektedir. Aylık değişimler incelendiğinde ise Ekim-Aralık döneminde NO konsantrasyonunun arttığı görülmektedir. Azot monoksit konsantrasyonunun rüzgâr hızı ve yönü ile değişimi Şekil 4.16'da sunulmuştur. En yüksek NO konsantrasyonlarının istasyonun yakın çevresinde, güney, güney-batı ve batı bölgelerinde olduğu söylenebilir.

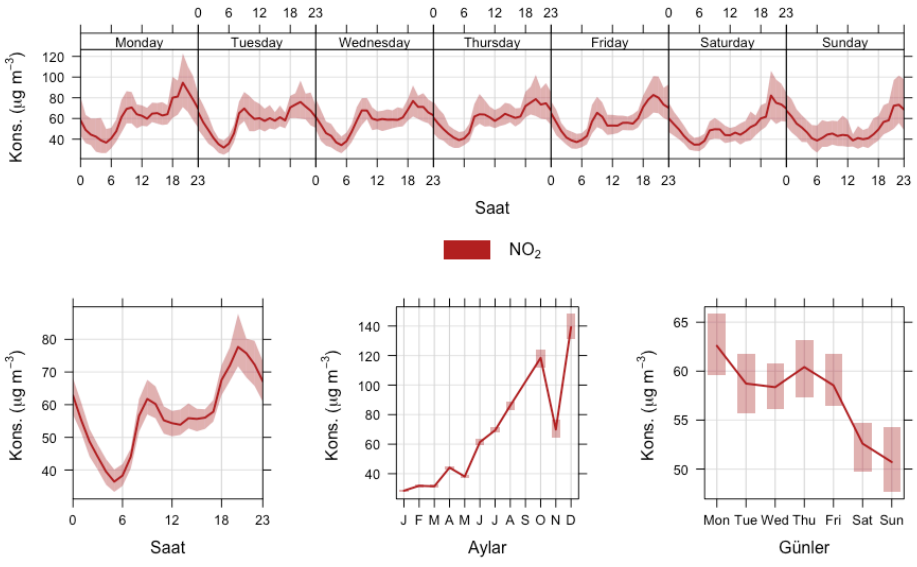


Şekil 4.15. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi

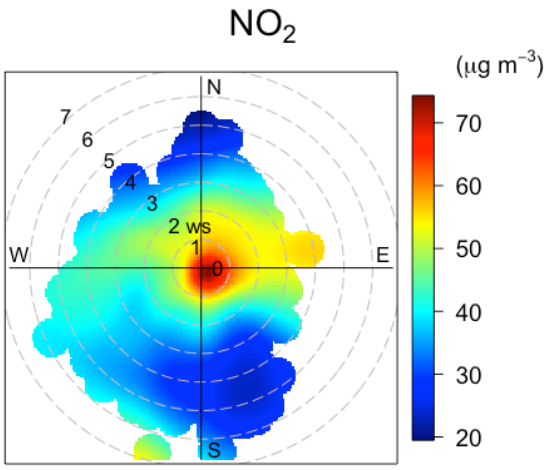


Şekil 4.16. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

Azot dioksitin zamansal değişimi Şekil 4.17'de, rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi ise Şekil 4.18'de sunulmuştur. Azot dioksitin saatlik, günlük ve aylık değişimi NO ile hemen hemen aynıdır. Ancak NO_2 konsantrasyonunun rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi incelendiğinde en yüksek konsantrasyon değerlerinin şehrin merkezi ve doğu, kuzeydoğu ve kuzey yönlerinde yüksek olduğu görülmektedir.

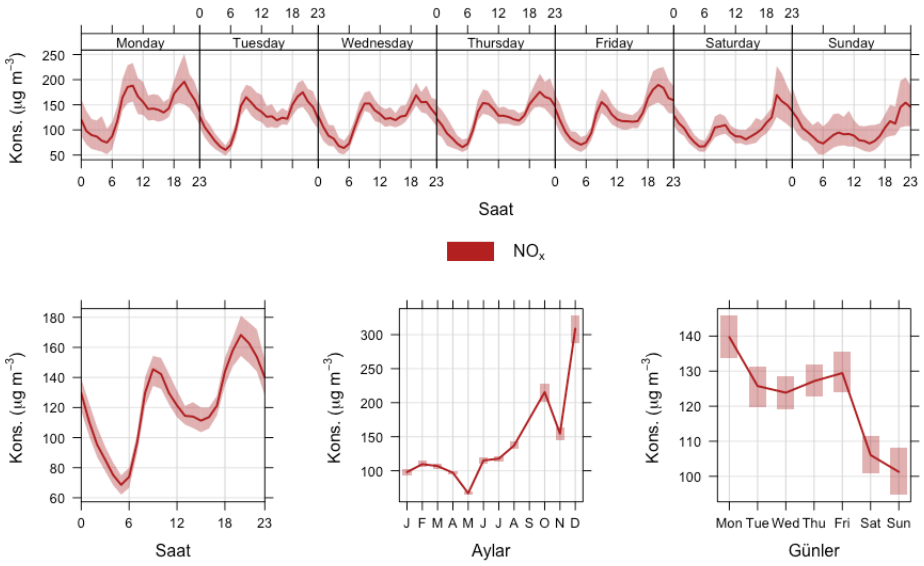


Şekil 4.17. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO_2 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi

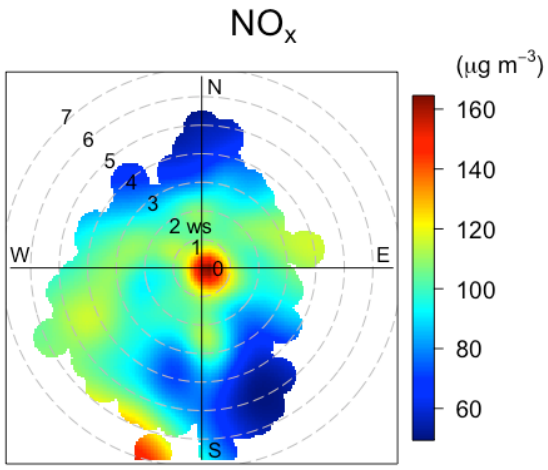


Şekil 4.18. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO_2 parametresinin rüzgâr hızı ve yönü ile değişimi

Azok oksit konsantrasyonunun zamansal değişimi Şekil 4.19'da, rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi ise Şekil 4.20'de sunulmuştur. Zamansal değişim açısından NO_x, NO ve NO_2 ile benzerlik göstermektedir. Diğer taraftan NO_x konsantrasyonun istasyonun yakın çevresinde en yüksek konsantrasyonda olduğunu söylemek mümkündür.

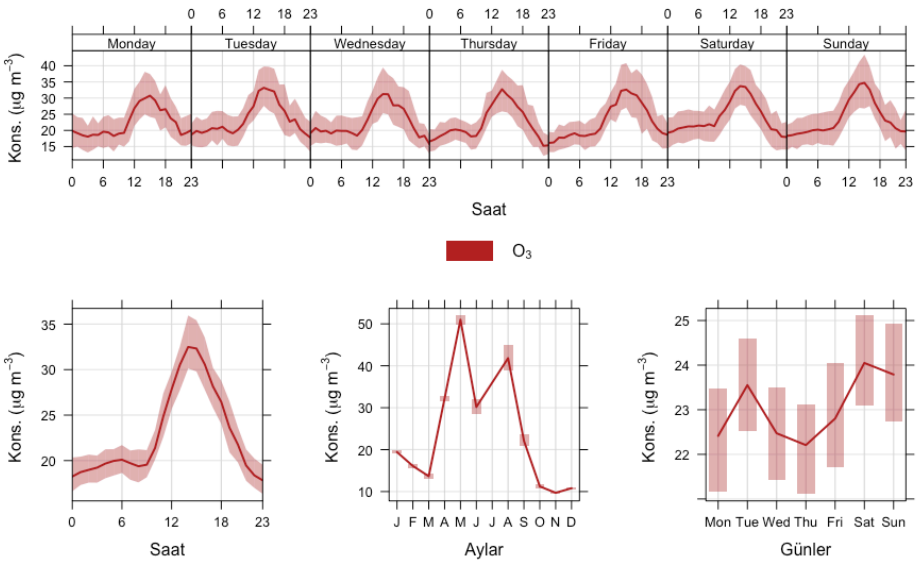


Şekil 4.19. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO_x konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi

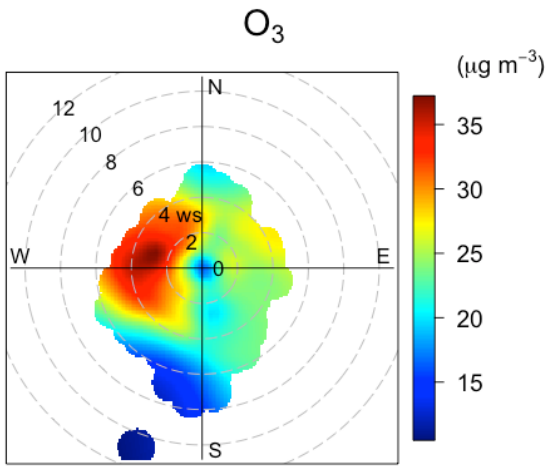


Şekil 4.20. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen NO_x parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

Sıhhiye istasyonunda izlenen O_3 parametresinin zamansal değişimini gösteren grafik Şekil 4.21'de, rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi ise Şekil 4.22'de sunulmuştur. En yüksek O_3 konsantrasyon değerleri yaz aylarında ve 13:00-15:00 saat aralığında ölçülmüştür.

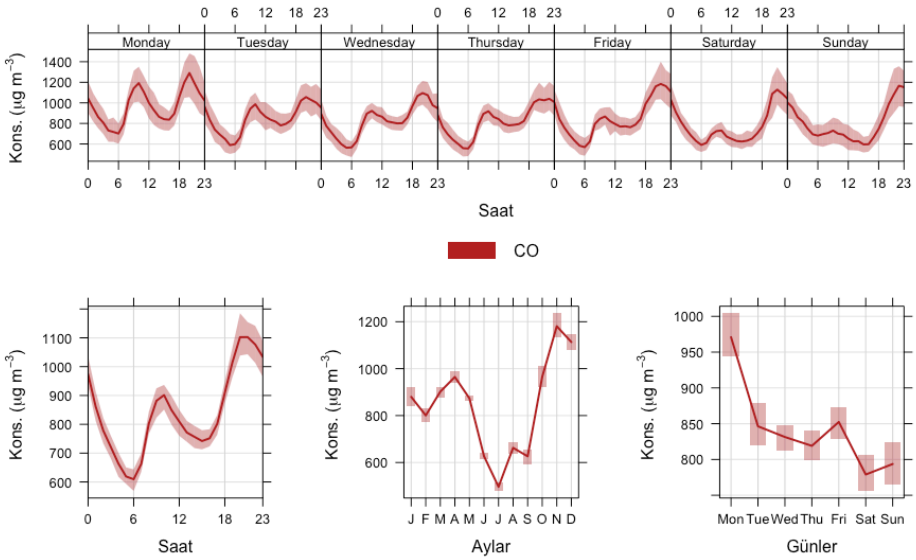


Şekil 4.21. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen O_3 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi

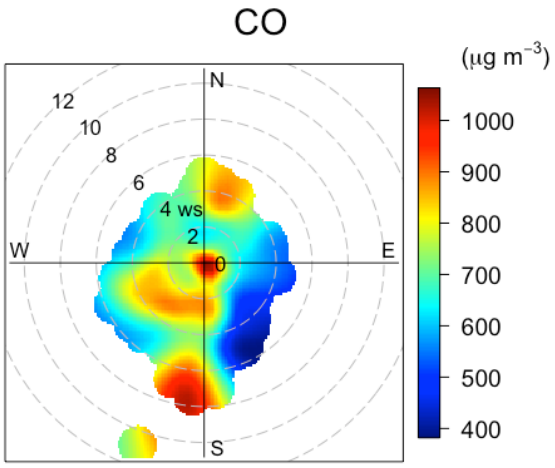


Şekil 4.22. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen O_3 parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

Karbon monoksit konsantrasyonunun zamansal değişimi Şekil 4.23 'te, rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi ise Şekil 4.24'te sunulmuştur. En yüksek CO konsantrasyon değerlerinin ısınma kaynaklı yanmanın yükseldiği kış aylarında, en düşük değerlerin ise yaz aylarında ölçüldüğü görülmektedir. En yüksek CO konsantrasyonun istasyon çevresinde ve güney yönünde olduğu görülmektedir.

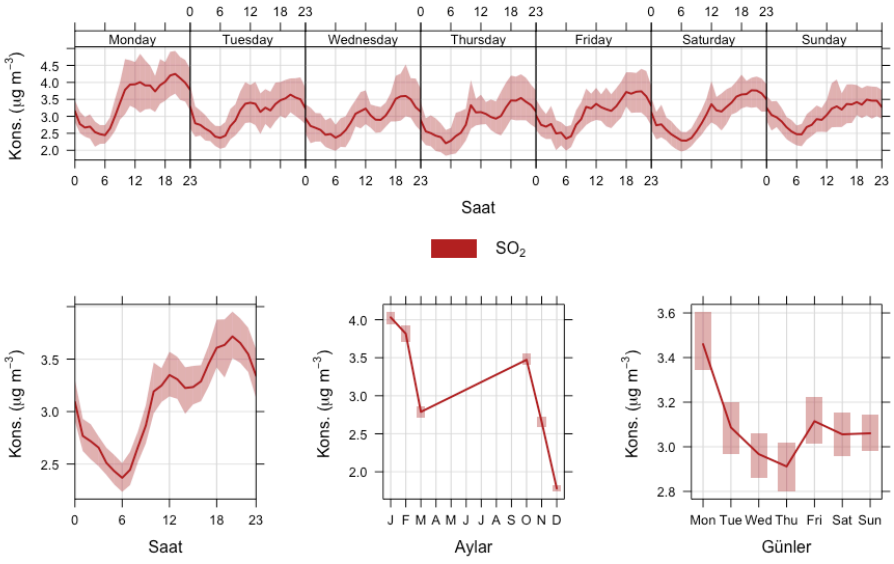


Şekil 4.23. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen CO konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi

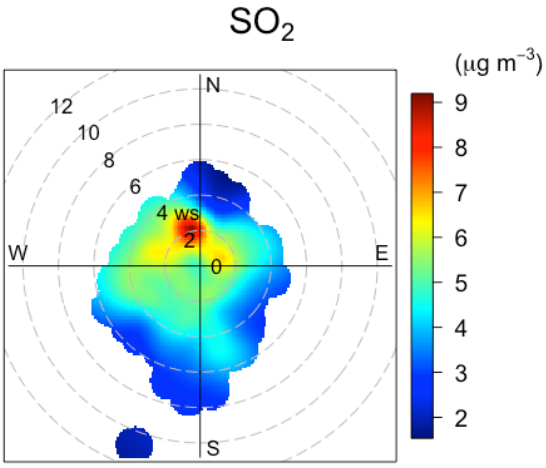


Şekil 4.24. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen CO parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

Kükürt dioksit konsantrasyonunun zamansal değişimi Şekil 4.25'te, rüzgâr hızı ve yönü ile değişimi de Şekil 4.26'da sunulmuştur. Bu kirleticinin en yüksek konsantrasyona akşam saat 18:00'de ulaştığı görülmektedir. Azot oksitler de olduğu gibi yine hafta içi en yüksek konsantrasyon değeri Pazartesi ve Cuma günleri görülmektedir. Kükürt dioksitin rüzgâr hızı ve yönü ile değişimi incelendiğinde ise kuzey, kuzey-batı yönlerinden esen rüzgârların yüksek SO_2 konsantrasyonları ile ilişkili olduğu görülmektedir.



Şekil 4.25. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen SO_2 konsantrasyonunun saatlik, günlük ve aylık değişimi



Şekil 4.26. 2021 yılında Sıhhiye istasyonunda izlenen SO_2 parametresinin rüzgâr yönü ve hızı ile değişimi

4.2 Siteler İstasyonunda Toplanan Partikül Madde (PM) Örneklerinin Kimyasal Kompozisyonu

Siteler istasyonunda kış (Ocak-Nisan 2021) ve yaz (Ağustos-Eylül 2021) tarihleri arasında hem $PM_{2.5}$ hem de $PM_{10-2.5}$ fraksiyonunda toplanan örnekler EC/OC, ana iyonlar (F^-, Cl^-, NO_2^-, Br^-, NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Li^+, Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+} ve Ca^{2+}) ve elementler (Ag, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, ve V) açısından analiz edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde söz konusu bu parametrelere ait istatistiksel özet sunulacak, parametrelerin mevsimsel değişimleri ve kaynakları hakkında elde edilen bulgular paylaşılacaktır.

4.2.1 Siteler İstasyonunda Belirlenen Parametrelerin İstatistiksel Özeti

Siteler istasyonunda PM kompozisyonunda belirlenen karbon türlerine ait istatistiksel özet tablosu Tablo 4.5'te sunulmuştur. İnce fraksiyonda ($PM_{2.5}$) ortalama organik karbon (OC), elemental karbon (EC) ve toplam karbon (TC) değerleri sırasıyla 31.27±29.04, 4.04±2.47, 35.26±30.90 µg/m^3 olarak belirlenmiştir. Kaba fraksiyonda ise söz konusu parametrelere ait ortalama değerler sırasıyla 8.28±6.61, 1.27±1.35, ve 9.29±7.78 µg/m^3 olarak bulunmuştur. Çalışmada hem ince hem de kaba fraksiyonda belirlenen organika karbonun elementel karbona oranının >2.0 olması Siteler istasyonu çevresinde ikincil organik karbon oluşumunu işaret etmektedir. Çalışmada PM_{10} (ince ve kaba fraksiyonun toplamı) kompozisyonunda ortalama olarak 37.19±33.64 µg/m^3 OC belirlenmiştir. OC

karbonun yaklaşık olarak 1.6 katı kadar PM yapısında organik madde (OM) olduğu düşünüldüğünde, Siteler istasyonunda bulunan OM konsantrasyonunun yaklaşık olarak 60 µg/m^3 olduğu sonucuna ulaşmak mümkündür. Organik maddenin partikül maddeyi oluşturan bileşenlerden sadece bir tanesi olduğu düşünüldüğünde istasyonu ve çevresindeki hava kirliliğinin oldukça yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

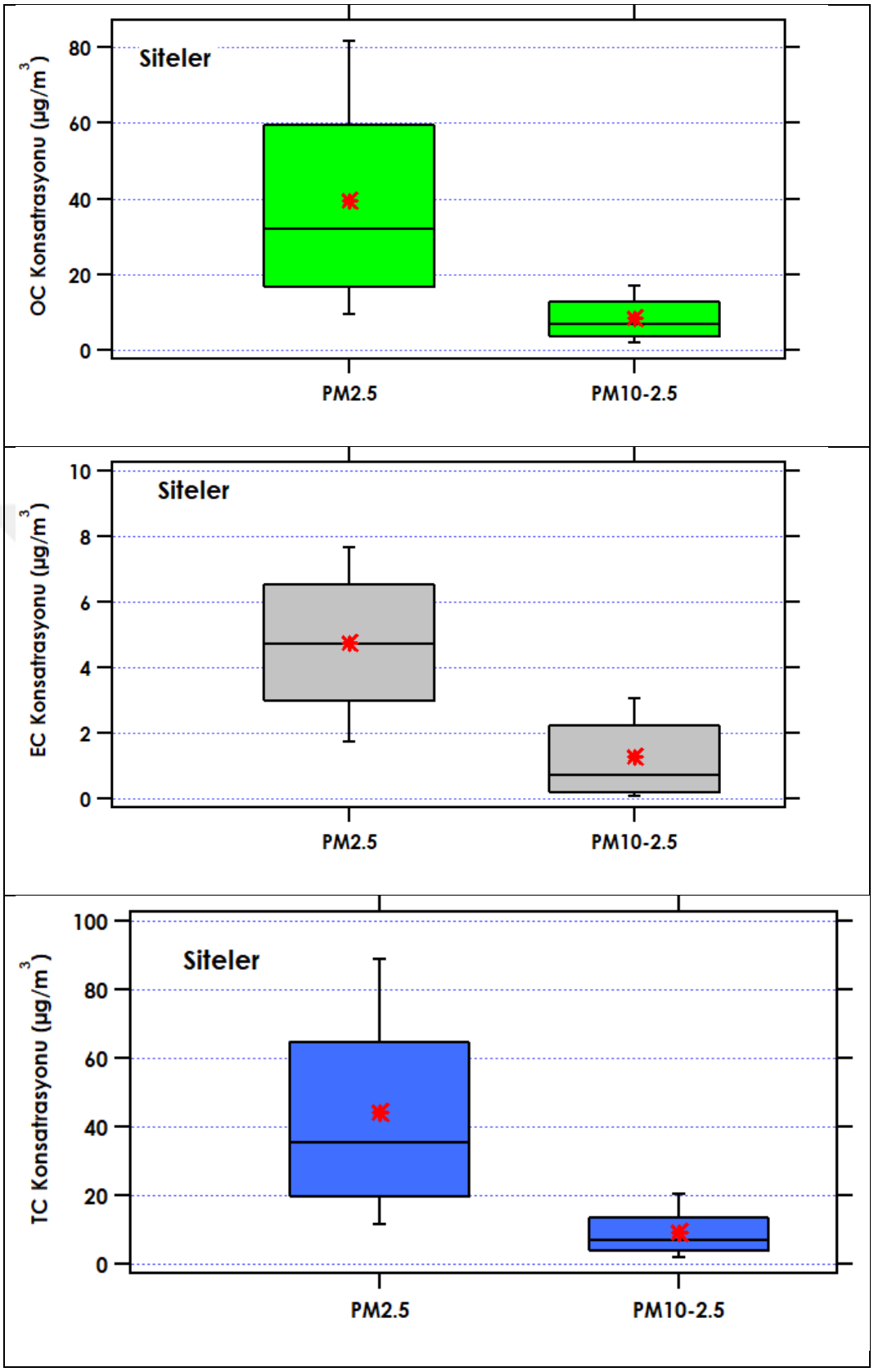
Tablo 4.5. Siteler istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen karbon parametrelerine ait istatistiksel özet

				$PM_{2.5}$ (µg/m^3)			
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Mak.**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
OC	84	31.27	29.04	3.08	132.94	19.51	21.13
EC	83	4.04	2.47	0.44	10.18	3.68	3.15
TC	84	35.26	30.90	3.07	138.78	22.66	24.38
				$PM_{10\text{-}2.5}$ (µg/m^3)			
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Mak.**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
OC	60	8.28	6.61	0.02	35.02	6.77	5.66
EC	44	1.27	1.35	0.01	6.03	0.72	0.59
TC	59	9.29	7.78	0.15	41.04	6.85	6.43
				PM_{10} (µg/m^3)			
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Mak.**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
OC	84	37.19	33.64	3.08	146.86	24.81	25.01
EC	83	4.71	3.11	0.55	12.16	3.81	3.59
TC	84	41.79	36.43	3.63	156.37	28.26	28.55

Şekil 4.27'de Siteler istasyonunda ince ve kaba fraksiyonda belirlenen karbon türleri Box-Whisker kutu grafiği olarak sunulmuştur. Tüm karbon türlerinde $PM_{2.5}$ fraksiyonunda belirlenen ortalama değerin kaba fraksiyonda belirlenen değerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, karbon parametrelerinin antropojenik kaynaklardan atmosfere salındığını göstermektedir.

Siteler istasyonunda farklı fraksiyonlarda belirlenen anyon ve katyon parametrelerine ait istatistiksel özet değerleri sırasıyla Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de sunulmuştur. $PM_{2.5}$ fraksiyonunda en düşük anyon konsantrasyonu 0.081±0.144 µg/m^3 (F^-) ila en yüksek anyon konsantrasyonu 5.663±6.542 µg/m^3 (Cl^-) arasında değişmektedir. Kaba fraksiyonda ise anyon değerlerinin 0.018-3.308 µg/m^3

aralığında değiştiği belirlenmiştir. Katyon değerlerinin ise ince fraksiyonda 0.074-4.074 µg/m^3 ve kaba fraksiyonda 0.060-2.696 µg/m^3 arasında değiştiği bulunmuştur.



Şekil 4.27. Siteler istasyonunda ince ve kaba fraksiyonda gözlenen karbon konsantrasyonları

Tablo 4.6. Siteler istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen anyon parametrelerine ait istatistiksel özet

$PM_{2.5}$							
Parametre	**N**	**Ort**	**SS**	**Min**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo. Ort.**
F^-	40	0.081	0.144	0.0003	0.850	0.049	0.033
Cl^-	98	5.663	6.542	0.011	27.795	3.828	1.578
NO_2^-	18	0.028	0.019	0.000	0.061	0.021	0.018
NO_3^-	84	4.181	4.365	0.009	20.635	3.028	2.127
PO_4^{3-},	3	0.370	0.439	0.092	0.877	0.141	0.225
SO_4^{2-}	95	3.291	2.310	0.009	9.070	3.334	1.746

$PM_{10-2.5}$							
Parametre	**N**	**Ort**	**SS**	**Min**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo. Ort.**
F^-	42	0.097	0.144	0.0001	0.730	0.046	0.034
Cl^-	24	2.091	3.235	0.0003	11.519	0.169	0.239
NO_2^-	25	0.018	0.021	0.0000	0.079	0.007	0.003
NO_3^-	92	3.308	5.466	0.0000	34.360	1.164	0.687
PO_4^{3-},	5	0.198	0.326	0.0279	0.779	0.071	0.082
SO_4^{2-}	98	1.661	1.581	0.0419	7.853	0.980	0.981

PM_{10}							
Parametre	**N**	**Ort**	**SS**	**Min**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo. Ort.**
F^-	53	0.138	0.169	0.0004	0.850	0.075	0.063
Cl^-	100	6.052	6.724	0.0128	27.795	4.703	1.750
NO_2^-	37	0.026	0.025	0.0000	0.108	0.019	0.009
NO_3^-	95	6.901	9.258	0.0001	52.051	4.392	2.379
PO_4^{3-},	7	0.300	0.366	0.0279	0.877	0.141	0.138
SO_4^{2-}	100	4.754	2.877	0.4427	15.206	4.436	3.798

Tablo 4.7. Siteler istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen katyon parametrelerine ait istatistiksel özet

$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo. Ort.**
Na^+	58	4.074	2.194	0.139	12.665	3.927	3.399
NH_4^+	85	1.488	2.140	0.035	11.430	0.479	0.588
K^+	54	0.577	0.512	0.033	2.713	0.440	0.404
Mg^{2+}	78	0.074	0.162	0.002	1.434	0.061	0.037
Ca^{2+}	66	3.790	3.524	0.002	13.073	2.985	1.938

$PM_{10-2.5}$ ($\mu g/m^3$)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo. Ort.**
Na^+	32	0.563	0.708	0.063	3.753	0.390	0.363
NH_4^+	49	0.350	0.350	0.004	1.572	0.241	0.201
K^+	6	0.185	0.318	0.003	0.826	0.065	0.049
Mg^{2+}	33	0.060	0.027	0.003	0.130	0.060	0.052
Ca^{2+}	38	2.696	2.300	0.003	7.981	2.432	0.989

PM_{10} ($\mu g/m^3$)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo. Ort.**
Na^+	58	4.385	2.188	0.278	12.665	4.179	3.755
NH_4^+	85	1.850	2.181	0.098	11.462	0.921	1.026
K^+	80	0.583	0.451	0.064	2.713	0.482	0.448
Mg^{2+}	78	0.114	0.183	0.002	1.434	0.076	0.080
Ca^{2+}	88	4.029	3.241	0.112	13.543	3.288	2.707

Siteler istasyonunda ince, kaba ve PM_{10} fraksiyonunda belirlenen elementlere ait istatistiksel özet değerleri sırasıyla Tablo 4.8, Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da sunulmuştur. İnce fraksiyonda en düşük ortalama konsantrasyon Hg için 0.07±0.09 ng/m^3, en yüksek konsantrasyon ise Al için 1902±1860 ng/m^3 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.8. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ kompozisyonunda gözlenen element parametrelerine ait istatistiksel özet

$PM_{2.5}$ (ng/m^3)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Mak.**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
Ag	61	3.16	13.88	0.07	109.47	1.31	1.10
Al	26	1902	1860	10	6220	1314	977
As	76	0.54	0.46	0.01	1.91	0.41	0.31
Cd	49	4.05	3.34	0.01	13.76	3.57	1.77
Co	59	0.44	0.38	0.01	1.72	0.30	0.29
Cr	39	77	87	0	426	40	40
Cu	63	7.37	5.81	0.05	22.18	6.35	4.57
Fe	64	727	611	1	2557	550	436
Hg	48	0.07	0.09	0.00	0.45	0.04	0.04
Mn	61	10.80	10.19	0.01	40.00	6.69	5.90
Mo	41	12.56	8.97	0.06	33.72	10.49	8.21
Ni	53	58	240	0	1736	12	9
Pb	48	24	23	1	101	14	14
Sb	62	2.76	2.70	0.01	12.99	1.57	1.44
Se	55	0.34	0.21	0.01	0.90	0.35	0.25
Tl	50	0.16	0.12	0.00	0.55	0.14	0.10
V	74	1.36	1.14	0.01	4.20	0.94	0.83

Tablo 4.9. Siteler istasyonunda $PM_{10-2.5}$ kompozisyonunda gözlenen element parametrelerine ait istatistiksel özet

$PM_{10-2.5}$ (ng/m^3)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min**	**Mak**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
Ag	66	1.25	1.34	0.01	9.01	0.91	0.74
Al	56	1678	1885	30	6534	784	805
As	79	0.94	0.75	0.02	3.29	0.78	0.64
Cd	64	3.23	2.85	0.02	10.10	2.46	1.63
Co	75	0.19	0.19	0.00	1.07	0.14	0.12
Cr	41	80	108	1	439	41	36
Cu	66	7.53	6.93	0.47	34.71	5.66	5.00
Fe	68	498	573	5	2341	283	241
Hg	59	0.08	0.10	0.00	0.49	0.05	0.04
Mn	74	6.93	6.55	0.32	33.69	5.44	4.60
Mo	47	10.93	9.12	0.47	43.75	8.67	7.19
Ni	42	17	23	0	108	6	7
Pb	68	24	19	1	82	20	16
Sb	77	3.29	3.42	0.01	24.76	2.45	2.05
Se	73	0.39	0.23	0.01	0.95	0.36	0.30
Tl	71	0.11	0.10	0.00	0.42	0.08	0.06
V	76	1.07	0.84	0.00	3.22	0.92	0.66

Tablo 4.10. Siteler istasyonunda PM_{10} kompozisyonunda gözlenen element parametrelerine ait istatistiksel özet

PM_{10} (ng/m^3)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min**	**Mak**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
Ag	77	3.57	12.34	0.05	109.47	1.86	1.59
Al	63	2276	2610	30	12368	1413	1107
As	87	1.33	1.05	0.08	4.77	1.07	0.94
Cd	74	5.48	5.53	0.02	19.59	4.10	2.22
Co	84	0.48	0.38	0.00	1.86	0.38	0.33
Cr	62	101	117	3	537	64	56
Cu	82	11.73	8.44	0.05	34.71	9.55	7.81
Fe	84	957	711	30	2885	736	699
Hg	71	0.11	0.11	0.00	0.49	0.08	0.07
Mn	86	13.62	10.55	0.24	46.53	10.67	9.25
Mo	61	16.86	12.45	0.06	51.45	15.97	10.63
Ni	69	55	211	0	1736	15	14
Pb	78	36	34	1	134	25	19
Sb	85	4.99	4.57	0.01	24.76	3.41	2.91
Se	78	0.61	0.41	0.01	1.65	0.58	0.43
Tl	78	0.20	0.20	0.00	0.83	0.13	0.10
V	87	2.09	1.52	0.11	6.35	1.75	1.52

4.2.2 Literatür ile Karşılaştırma

Bu çalışmada Siteler ve Sıhhiye istasyonunda PM kompozisyonunda belirlenen parametreler literatürde benzer çalışmalarda elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4.11'de bu çalışmada Siteler ve Sıhhiye istasyonunda belirlenen OC ve EC değerlerinin literatür ile karşılaştırılması sunulmuştur. Siteler istasyonunda bu çalışmada belirlenen OC konsantrasyonunun Öztürk & Keleş (2016) tarafından Bolu'da kış mevsiminde belirlenen konsantrasyondan sonra en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Tablo 4.11'de verilen değerler EC açısından incelendiğinde ise yine Bolu'da Öztürk & Keleş (2016) tarafından yapılan çalışma ve Bhuyan vd. (2018) tarafından Hindistan'ın kırsal bölgesinde elde edilen sonuçlardan sonra en yüksek EC değerinin bu çalışmada toplanan PM örneklerinde belirlendiği görülmektedir. Koçak vd. (2021) tarafından Ankara'da Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) ve Ankara Üniversitesi'nin (AÜ) Dışkapı yerleşkesinde Temmuz 2014-Eylül 2015 yılları arasında gerçekleştirlen örnekleme çalışmasında $PM_{2.5}$ örnekleri toplanmış ve toplanan bu örnekler OC ve EC açısından analiz edilmiştir. Koçak vd. (2021) $PM_{2.5}$ fraksiyonunda ODTÜ yerleşkesi için OC ve EC ortalama konsantrasyonlarını kış mevsimi için sırasıyla 4.6 ve 0.79 μg/m^3, yaz mevsimi için ise 5.2 ve 0.71 μg/m^3 olarak belirlemiştir. AÜ Dışkapı Yerleşkesi için OC ve EC ortalama konsantrasyonları kış mevsimi için sırasıyla 8.8 ve 2.4 μg/m^3, yaz mevsimi için ise 7.5 ve 2.2 μg/m^3 olarak belirlemiştir. Bu çalışmada hem Siteler hem de Sıhhiye istasyonları için belirlenen değerlerin Koçak vd. (2021)tarafından yapılan çalışmadan oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 4.12'de bu çalışmada PM kompozisyonunda belirlenen iyonların literatür de yapılan çalışmalar ile kıyaslaması sunulmuştur. Bu çalışmada $PM_{2.5}$ kompozisyonunda Siteler ve Sıhhiye istasyonlarında belirlenen ortalama SO_4^{2-} konsantrasyonları sırasıyla 3291 ve 2734 ng/m^3 olarak belirlenmiştir. Sülfat konsantrasyonunun tabloda verilen diğer değerlerin arasında olduğu görülmektedir. Goli (2017) tarafından Ankara'da yarı kırsal (ODTÜ) ve kentsel (Ankara Üniversitesi) alanlarda 2014-2015 yılları arasında yaptığı çalışmada $PM_{2.5}$ fraksiyonunda SO_4^{2-} konsantrasyonu sırasıyla 5703 ve 5384 ng/m^3 olarak belirlenmiştir. Bilindiği gibi sülfatın en önemli kaynağı kömür yakılmasıdır. Siteler ve Sıhhiye istasyonlarında elde edilen SO_4^{2-} değerlerinin Goli (2017) tarafından yapılan çalışmaya kıyasla daha düşük olması Ankara'da mesken ısınması için

geçmişe kıyasla daha az kömür kullanılması ile açıklanabilir. En yüksek Cl^-, Ca^{2+} ve Na^+ konsantrasyonları PM_{10} fraksiyonunda bu çalışmada örneklerin toplandığı Siteler ve Sıhhiye istasyonlarında belirlenmiştir. Kalsiyum ve sodyum önemli toprak elementleri olarak bilinmektedir *(Barbaro vd., 2024).* Klorür iyonunun ise biyo-kütlenin yakılması (Wang vd., 2017) ve deniz tuzu (O'Dowd ve De Leeuw, 2007) gibi farklı kaynaklardan atmosfere salınmaktadır. Ankara'nın denizden olan mesafesi düşünüldüğünde deniz tuzunun bu çalışmanın gerçekleştirildiği istasyonlara taşınması mümkün değildir. Siteler istasyonunda belirlenen Cl^- konsantrasyonunun Sıhhiye istasyonuna kıyasla daha yüksek olması Cl^- biyo-kütle yakılması sonucu atmosfere salındığına işaret etmektedir. Yine bu çalışmada K^+ iyonu karşılaştırma tablosunda Bhuyan vd. (2018), Yang vd. (2021) ve Sudheer ve Rengarajan (2015)tarafından belirlenen değerlerden sonra en yüksek konsantrasyona sahiptir. Partikül madde yapısında bulunan potasyumun çok farklı kaynakları bulunmaktadır. Deniz tuzu, toprak, pişirme emisyonları, kömürün ve atığın yakılması gibi farklı kaynaklar potasyumu atmosfere salmaktadır *(Yu vd., 2018).* Bu çalışmada Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ kompozisyonunda belirlenen potasyum iyonunun Sıhhiye'de aynı fraksiyon için belirlenen potasyum ortalama konsantrasyonundan büyük olması Siteler istasyonunun biyo-kütle yakılmasından etkilendiğini işaret etmektedir. PM_{10} kompozisyonunda en yüksek NO_3^- konsantrasyonu yine bu çalışmada örneklerin toplandığı Siteler ve Sıhhiye istasyonlarında belirlenmiştir. Nitrat atmosferde trafik emisyonları sonucu atmosfere salınan azot oksitlerin oksidayonu sonucu oluşmaktadır. Bu nedenle hem Siteler hem de Sıhhiye istasyonlarının trafik emisyonlarının etkisi altında kaldığını söylemek mümkündür.

Bu çalışmada Siteler istasyonunda belirlenen element konsantrasyonları yine literatür ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4.13). Bu çalışmada $PM_{2.5}$ kompozisyonunda en yüksek Al, Fe, Pb, Cr, Ni, Ag ve Tl konsantrasyonları bulunmuştur. Alüminyum ve Fe toprak kökenli elementler olarak bilinmektedir *(Kuloğlu ve Tuncel, 2005).* Kuloğlu ve Tuncel (2005) tarafından yapılan çalışmada Cr ve Ni elementlerinin bi-modal dağılım gösterdiği bulunmuş, kaba fraksiyonda olan pikin toprak kaynaklı ve ince fraksiyonda olan pikin ise antropojenik kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Kurşun atmosfere çeşitli kaynaklardan salınabilmektedir. Zhang vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada kurşunun klorür ile iyi korelasyon göstermesi iki kirleticinin kaynağının atık yakılması olduğu ile açıklanmıştır.

Araştırmacılar kurşunun organik ve elemental karbon ile iyi korelasyon göstermesini ise kömür yakılmasının kurşunun başka bir kaynağı olduğu ile yorumlanmıştır. Bunlara ek olarak Pb motorlu taşıtların yedek parçalarında ve boyalarında kullanıldığı için trafik emisyonları ile de ilişkilendirilmektedir *(Amato vd., 2024)*.

Biegalski vd. (1998) tarafından Kanada'da yapılan çalışmada kömür ve fuel oil yakılması sonucu açığa çıkan emisyonlar ile ilişkilendirilmiştir. Gümüş ve Se başka bir çalışmada ise kömür yakımı indikatörleri olarak kabul edilmiştir *(Lee vd., 1994)*. Siudek (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Tl konsantrasyonunun kış mevsiminde atmosferde arttığı ve bu elementin Al ve V ile iyi bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Araştırmacı bu elementi atmosfere salan kaynaklar arasında kömürün yakılması, endüstriyel prosesler ve yağ yakımını göstermiştir. Element karşılaştırmasında dikkat çeken başka bir husus ise PM_{10} fraksiyonunda belirlenen ortalama Cd konsantrasyonunun Avrupa Komisyonu tarafından bu parametre için belirlenen 5 ng/m^3 limit değerin üstünde olmasıdır *(Gkaras vd., 2023)*.

Tablo 4.11. Bu çalışmada belirlenen OC ve EC değerlerinin literatür ile karşılaştırılması (Konsantrasyon Birimi:µg/m^3)

Örnekleme Noktası	Örnekleme Dönemi	PM Fraksiyonu	OC	EC	OC/EC oranı	Kaynak
Siteler-Ankara, Türkiye	20 Ocak 2021–4 Nisan 2021 31 Ağustos – 26 Eylül 2021	$PM_{2.5}$	31.27	4.04	7.7	Bu Çalışma
Siteler-Ankara, Türkiye		PM_{10}	37.19	4.71	7.9	Bu Çalışma
Sıhhiye-Ankara, Türkiye		$PM_{2.5}$	16.27	4.98	3.3	Bu Çalışma
Sıhhiye-Ankara, Türkiye		PM_{10}	20.40	5.41	3.7	Bu Çalışma
Bolu, Türkiye	Aralık 2014-Şubat 2015	$PM_{2.5}$	59.9	5.9	10.1	*Öztürk & Keleş (2016)*
Osieczów, Polonya (endüstriyel)	Ocak 2011-Aralık 2011	PM_{10}	7.7	1.0	7.7	*Górka, M., Kosztowniak (2015)*
Atina, Yunanistan (kentsel)	Aralık 2013-Mart 2016	$PM_{2.5}$	4.0	1.5	2.7	*Theodosi vd. (2018)*
Ankara (kentsel)	Temmuz 2014-Eylül 2015	$PM_{2.5}$	8.8	2.4	3.7	*Koçak vd. (2021)*
Elche, İspanya (kentsel)	Şubat 2015-Şubat 2018	PM_{10}	7.5	1.7	4.6	*Galindo vd. (2020)*
Nanjing, Çin (yarı-kentsel)	Eylül 2018-Eylül 2019	$PM_{2.5}$	8.8	3.0	2.9	*Yang vd. (2021)*
Düzce, Türkiye (kentsel)	Ocak-Mart 2015	PM_{10}	28.6	2.3	12.4	*Aslan Kılavuz vd. (2019)*
Düzce, Türkiye (yarı-kentsel)			6.7	0.6	11.2	
Pinnacle State Park (NY Eyaleti), ABD (kırsal)	Aralık 2004-Aralık 2008	$PM_{2.5}$	1.6	0.1	11.4	*Bae vd. (2011)*
Brahmaputra, Hindistan (kırsal)	Aralık 2010-Ekim 2014	PM_{10}	4.1	14.7	0.3	*Bhuyan vd. (2018)*
Bogota, Kolombiya (kentsel)	Haziran 2015-Mayıs 2016	PM_{10}	8.9	3.3	2.7	*Ramírez vd. (2018)*
Zgorzelec, Polonya (kentsel)	Ocak-Ekim 2011	PM_{10}	7.6	1.6	4.8	*Górka vd. (2020)*
Działoszyn, Polonya (endüstriyel)			5.1	0.7	7.3	
İstanbul, Türkiye	Ocak 2017-Ocak 2018	$PM_{2.5}$	11.3	4.1	2.8	*Flores vd. (2020)*

Tablo 4.12. Bu çalışmada belirlenen iyon konsantrasyonlarının literatür ile karşılaştırılması (Konsantrasyon Birimi: ng/m^3)

Çalışma	**Bu Çalışma**				***Diapouli vd. (2017)***		***Bhuyan vd. (2018)***	***Romano vd. (2020)***	***Yang vd. (2021)***	***Zappi vd. (2023)***	***Perrone vd. (2018)***	***Aslan Kılavuz vd. (2019)***	***Theodosi vd. (2018)***	***Sudheer & Rengarajan , (2015)***	***Pio vd. (2020)***	
İstasyon Tipi	**Endüstriyel (Siteler)**		**Kentsel (Sıhhiye)**		**Yarı-kentsel**		**Kırsal**	**Yarı-kentsel**	**Yarı-kentsel**	**Kentsel**	**Kentsel**	**Kentsel**	**Kentsel**	**Kentsel**	**Kentsel**	
Parametre	**PM_{10}**	**$PM_{2.5}$**	**PM_{10}**	**$PM_{2.5}$**	**PM_{10}**	**$PM_{2.5}$**	**PM_{10}**	**PM_{10}**	**$PM_{2.5}$**	**$PM_{2.5}$**	**$PM_{2.5}$**	**PM_{10}**	**$PM_{2.5}$**	**$PM_{2.5}$**	**$PM_{10-2.5}$**	**$PM_{2.5}$**
Na^+	4385	4074	5827	2567	780	140	1760	900		180	400	410	307	240	1180	530
NH_4^+	1850	1488	1524	1191	810	990	1020	800	5080	690	1700	1820	1422	4700	60	610
K^+	583	577	280	233	160	110	1220	350	1070	130	300	620	273	710	60	200
Mg^{2+}	114	74	127	60	90	30	80	150	150	20	70	130	64	50	140	60
Ca^{2+}	4029	3790	5300	1956	700	120	590	1070	2160	480	700	4410	160	660	160	140
F^-	138	81					50					10				
Cl^-	6052	5663	3689	989	490	30	1050	400		140	300	200	272	2600	1610	550
NO_2^-	26	28	401	31								10				
NO_3^-	6901	4181	5515	4329	1100	240	1060	1100	1280	1200	2000	1250	476	5000	890	1070
SO_4^{2-}	4754	3291	2963	2734	3180	2450	2600	3800	9350	1460	5100	7190	3033	5700	380	2100

Tablo 4.13. Bu çalışmada belirlenen element konsantrasyonlarının literatür ile karşılaştırılması (Konsantrasyon Birimi:ng/m^3)

	Bu Çalışma		***Öztürk & Keleş (2016)***		***Theodosi vd. (2018)***	***Galindo vd. (2020)***	***Goli (2017)***	***Hu vd. (2012)***			
İstasyon Tipi	**Endüstriyel (Siteler)**		**Kentsel**		**Kentsel**	**Kentsel**	**Kentsel**	**Kentsel**	**Yarı-kentsel**	**Kırsal**	**Endüstriyel**
PM fraksiyonu	**PM_{10}**	**$PM_{2.5}$**	**$PM_{10-2.5}$**	**$PM_{2.5}$**	**$PM_{2.5}$**	**PM_1**	**$PM_{2.5}$**	**$PM_{2.5}$**	**$PM_{2.5}$**	**$PM_{2.5}$**	**$PM_{2.5}$**
Al	2276	1902	291	255	293		324.4	95	88	69	120
Cd	5.48	4.05			1.7		0.061	0	1	0	1
V	2.09	1.36	2	0.67	6.9	3	4.444	4	5	3	3
Mn	13.62	10.8	12	14	4.6	5	8.353	6	9	2	6
Fe	957	727	322	178	264	88	534.5	142	138	57	211
Cu	11.73	7.37	7	5	14.8	7	28.742	6	6	2	5
As	1.33	0.54	1	0.93	2		0.554	1	1	1	1
Pb	36	24	18	16	4.1		1.926	7	20	4	21
Cr	101	77			27.1	4	22.404	13	3	6	5
Ni	55	58			6	5		11	3	2	5
Co	0.48	0.44					0.491	0	0	0	0
Ag	3.57	3.16					0.926				
Tl	0.20	0.16					0.133				

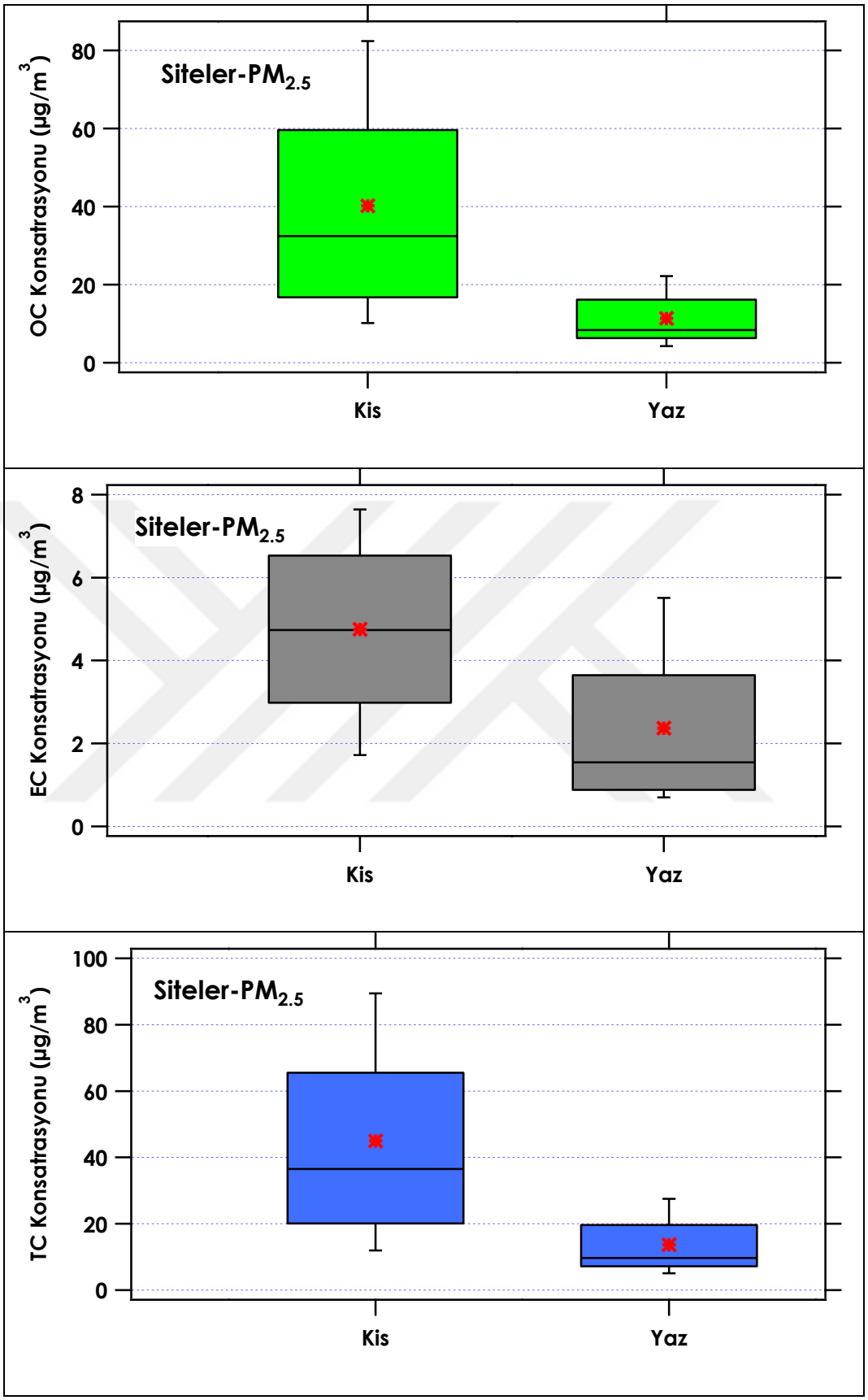
4.2.3 Siteler İstasyonunda Belirlenen Parametrelerin Mevsimsel Değişimi

Bu çalışma kapsamında Siteler istasyonunda örnekleme hem kış (Ocak-Nisan) hem de yaz (Eylül) aylarında yapıldığı için, kirletici parametrelerinin mevsimsel değişimlerini de değerlendirmek mümkün olmuştur.

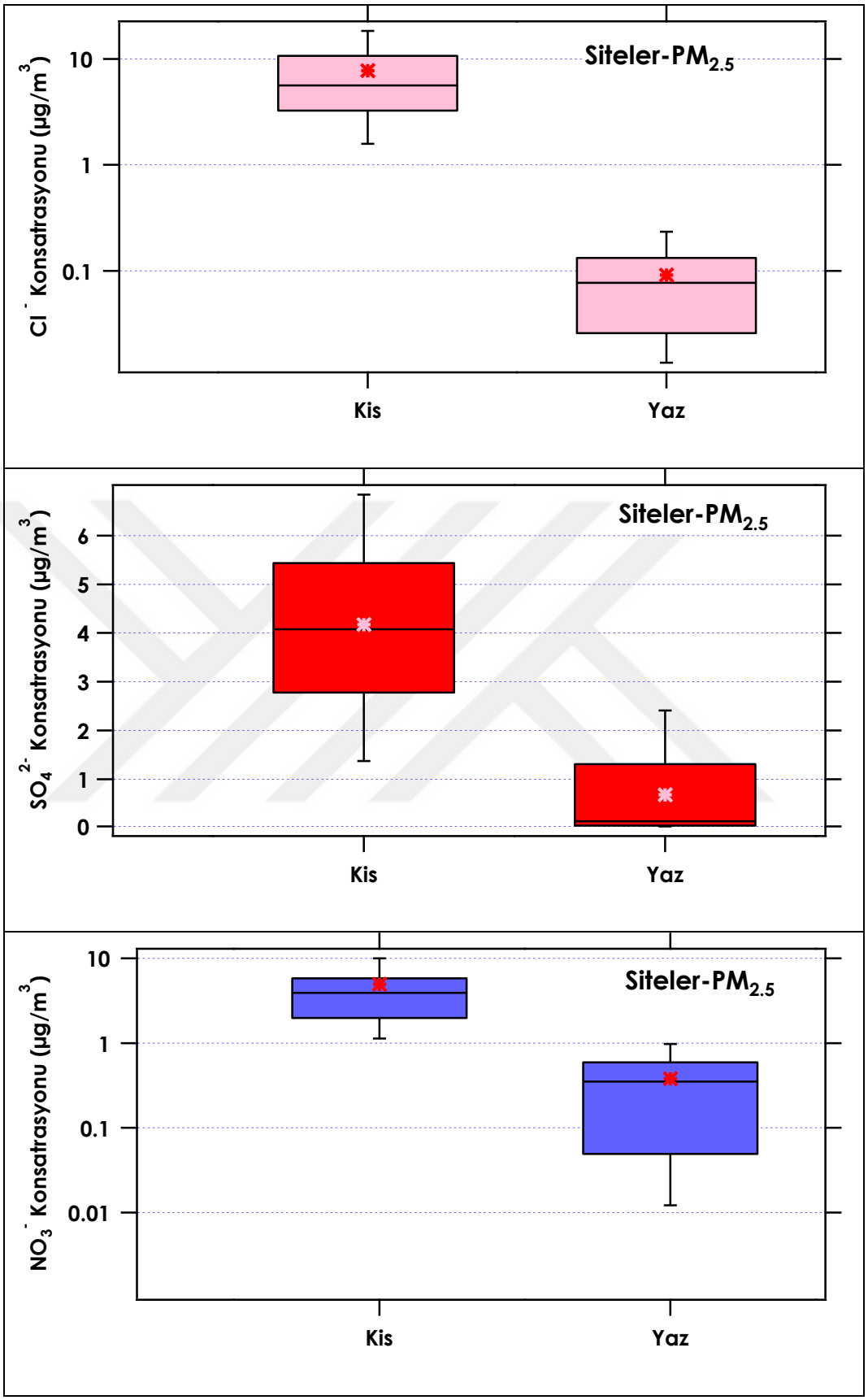
Şekil 4.28'de karbon parametrelerinin mevsimsel değişimleri Box-Whisker kutu grafiği olarak gösterilmektedir. Organik karbonun kış döneminde yaz dönemine göre ortalama konsantrasyonu yaklaşık olarak 4 kat daha fazladır. Elementel karbonun ise kış ortalama değeri yaz ortalama değerine göre en az 2 kat daha fazladır. Kış mevsiminde gözlenen yüksek konsantrasyon değerleri kirliliğin daha çok yerel olduğunu ve antropojenik kaynakların istasyonu çevresinde etkili olduğunu işaret etmektedir.

Karbon kirleticilerinde gözlenen mevsimsel değişim ince fraksiyonda analiz edilen anyon (Şekil 4.29) ve katyon (Şekil 4.30) parametreleri için de geçerlidir. Ana iyonlar olarak bilinen, sülfat, nitrat, klorür, amonyum, magnezyum ve kalsiyum iyonlarında kış mevsimi ortalaması yazdan daha yüksektir. İyon parametreleri için belirlenen bu trend bu parametrelerin de yerel kirletici kaynaklarından atmosfere salındığını işaret etmektedir. Diğer taraftan kaba fraksiyonda belirlenen NH_4^+, Mg^{2+} ve Ca^{2+} iyonların yaz mevsiminde ortalama değerlerinin kış mevsimine göre daha yüksek olması bu parametrelerin yaz mevsiminde farklı kaynaklardan atmosfere salındıklarını göstermektedir. Kalsiyum ve magnezyum yaz mevsiminde toprağın atmosfere taşınması ile PM yapısında bulunmaktadır. Amonyum iyonu ise gaz fazındaki amonyağın atmosferde geçirdiği tepkimeler sonucu oluşmaktadır.

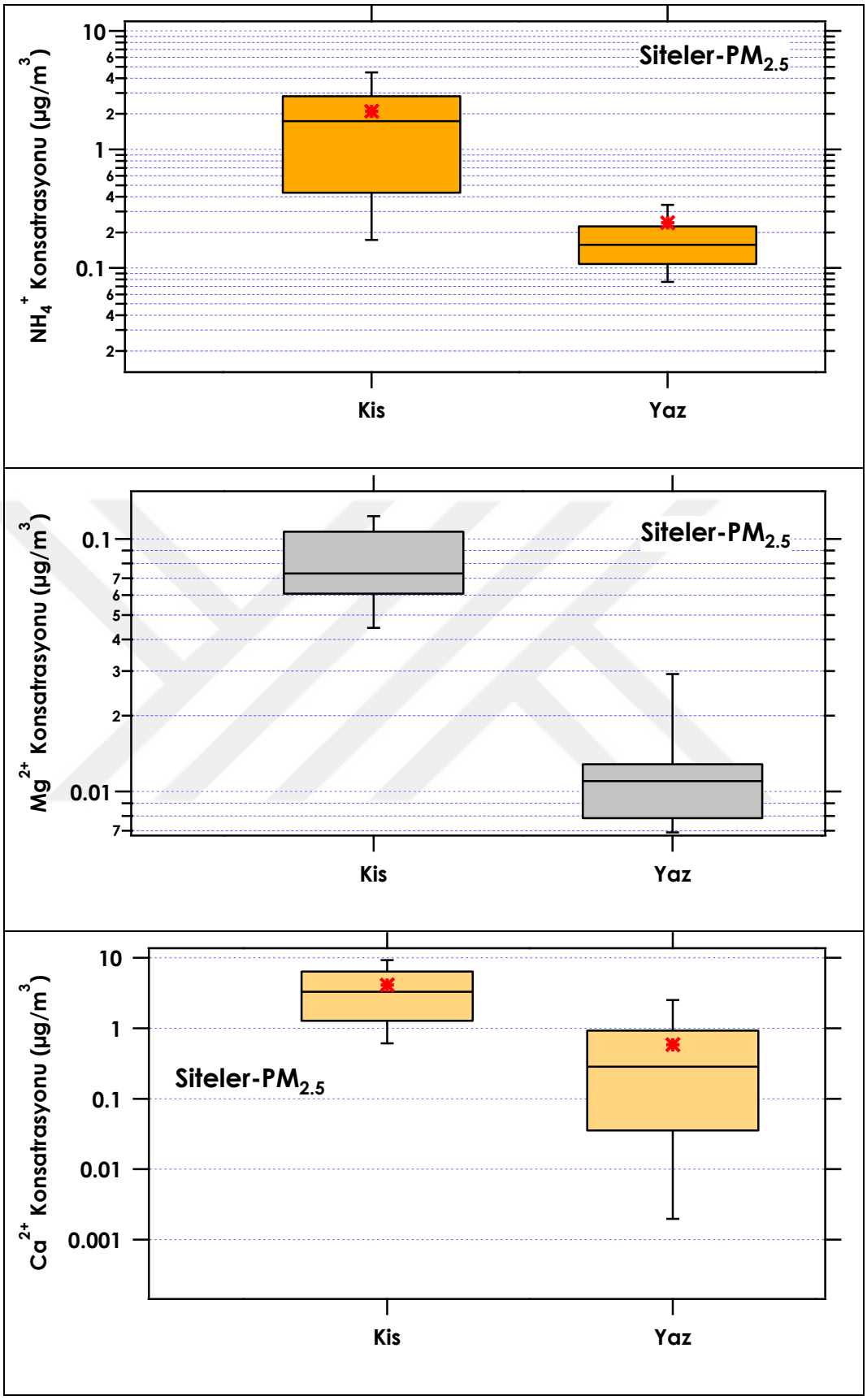
Şekil 4.32'de ince fraksiyonda belirlenen elementlerin kış/yaz oranları sunulmuştur. Selenyum, Co, Mn, Tl, V ve Sb dışındaki parametrelerin kış/yaz oranlarının <1.0 olması bu altı parametrenin kaynağının yerel olmadığını göstermektedir. Çalışmada belirlenen diğer parametrelerin ise kış/yaz oranlarının >1.0 olması bu kirleticilerin istasyonu çevresindeki kaynaklardan atmosfere salındığını işaret etmektedir.



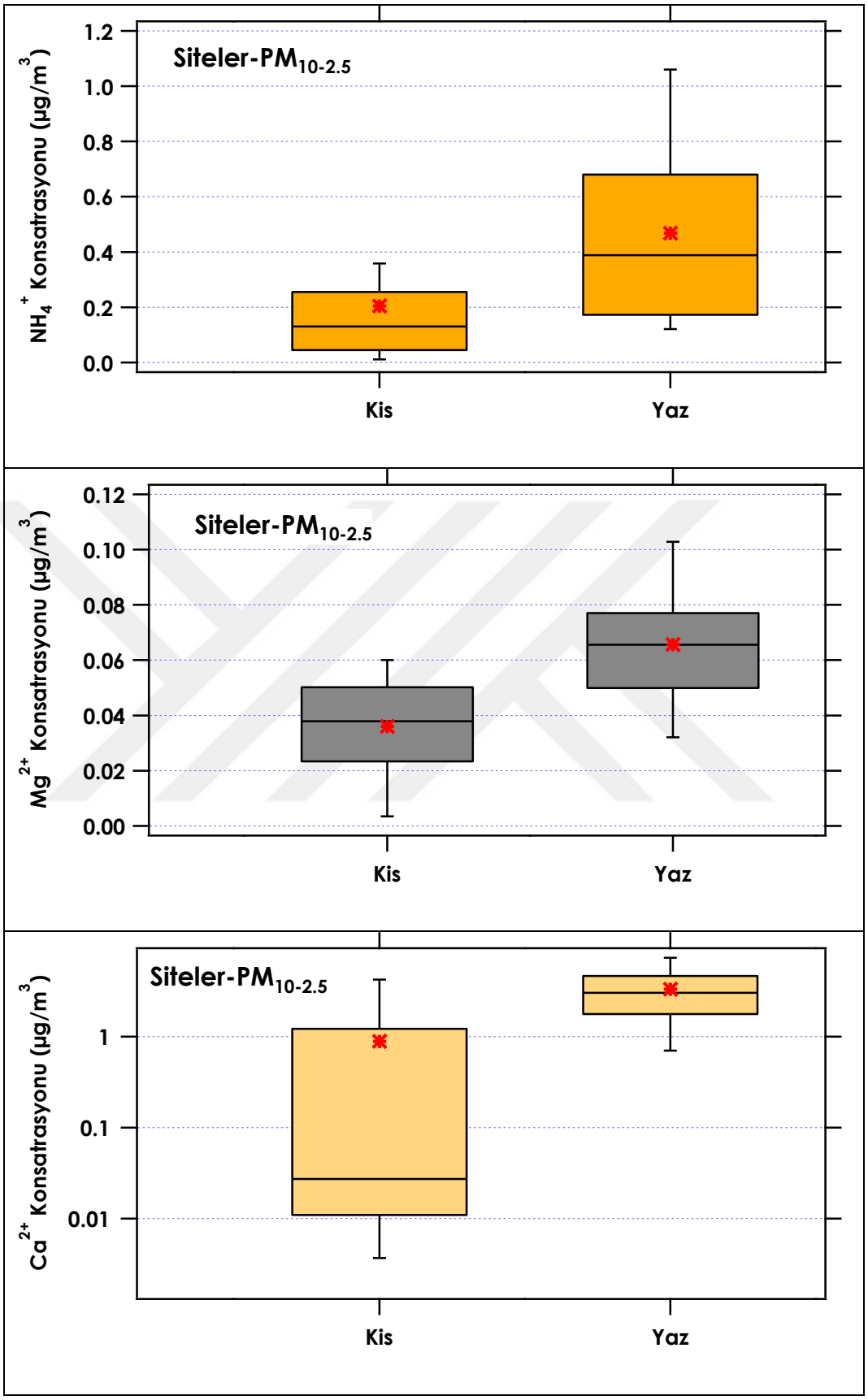
Şekil 4.28. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen karbon parametrelerinin mevsimsel değişimi



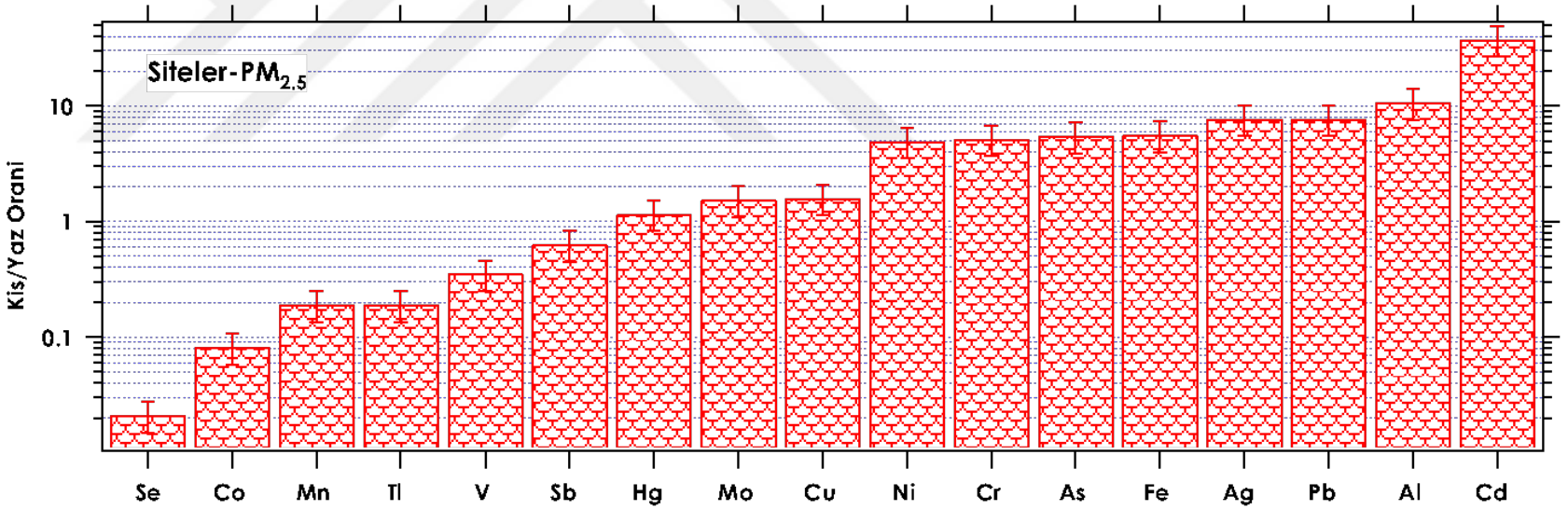
Şekil 4.29. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen anyonların mevsimsel değişimi



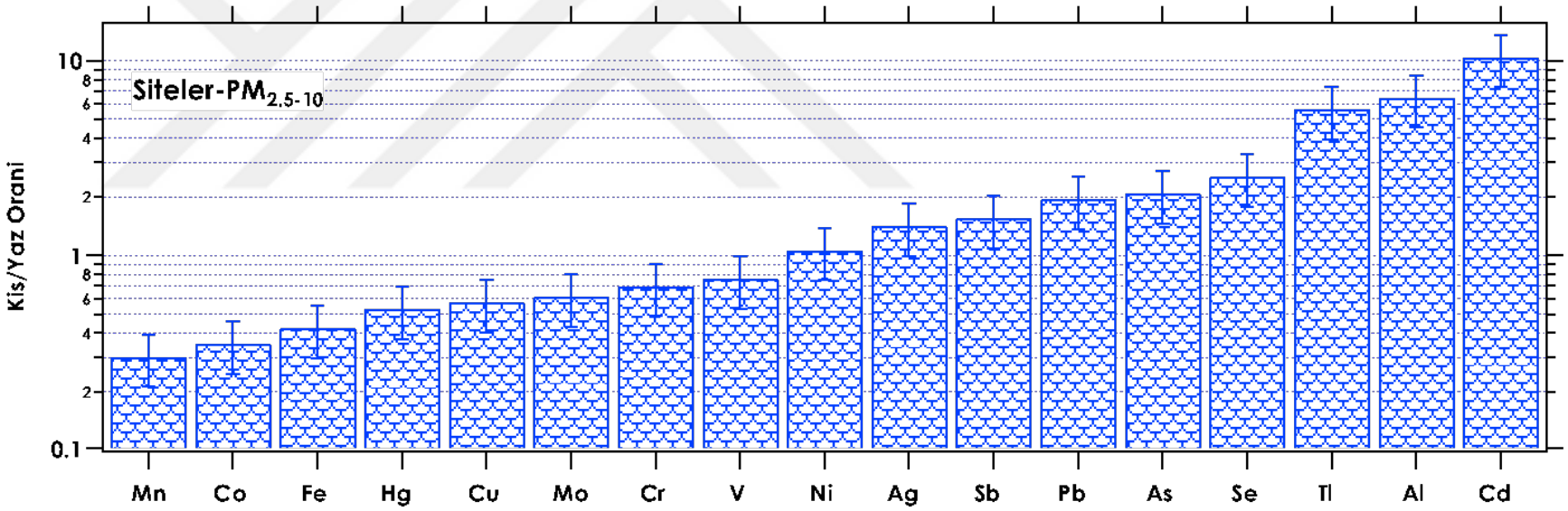
Şekil 4.30. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen katyonların mevsimsel değişimi



Şekil 4.31. Siteler istasyonunda $PM_{10-2.5}$ fraksiyonunda gözlenen katyonların mevsimsel değişimi



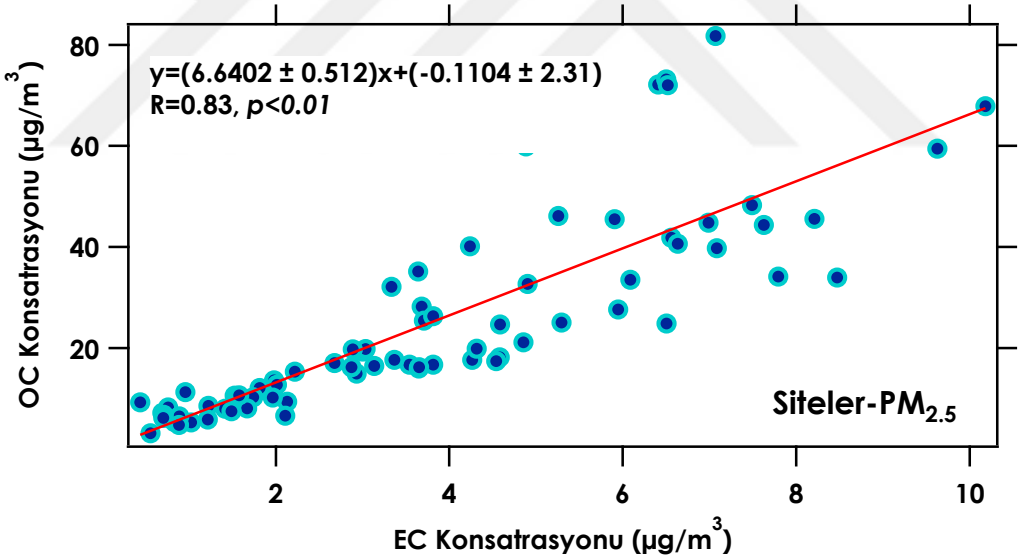
Şekil 4.32. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen elementlerin kış/yaz oranı



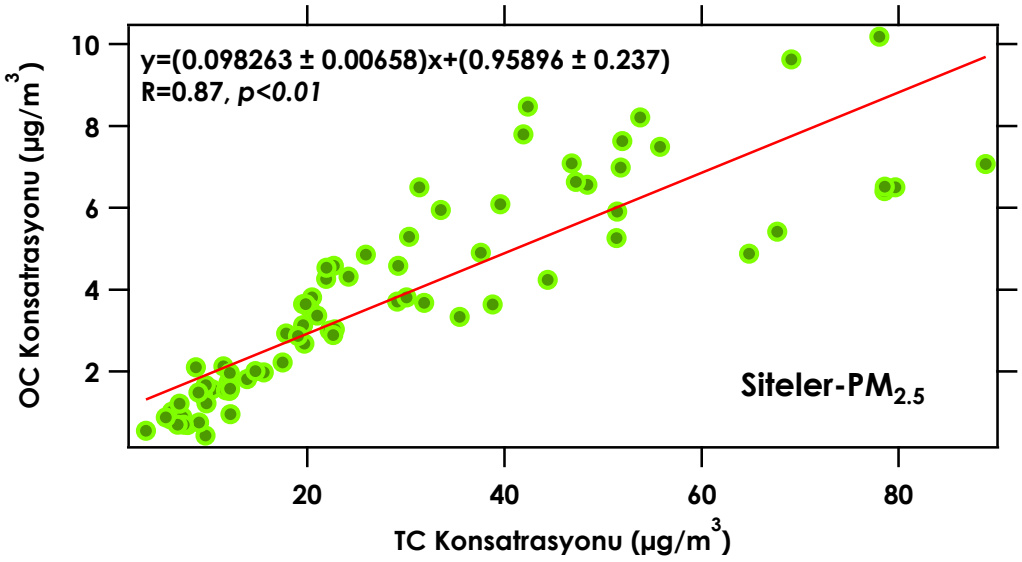
Şekil 4.33. Siteler istasyonunda $PM_{10\text{-}2.5}$ fraksiyonunda gözlenen elementlerin kış/yaz oranı

4.2.4 Siteler İstasyonunda Belirlenen Parametreler Arasındaki Korelasyonlar

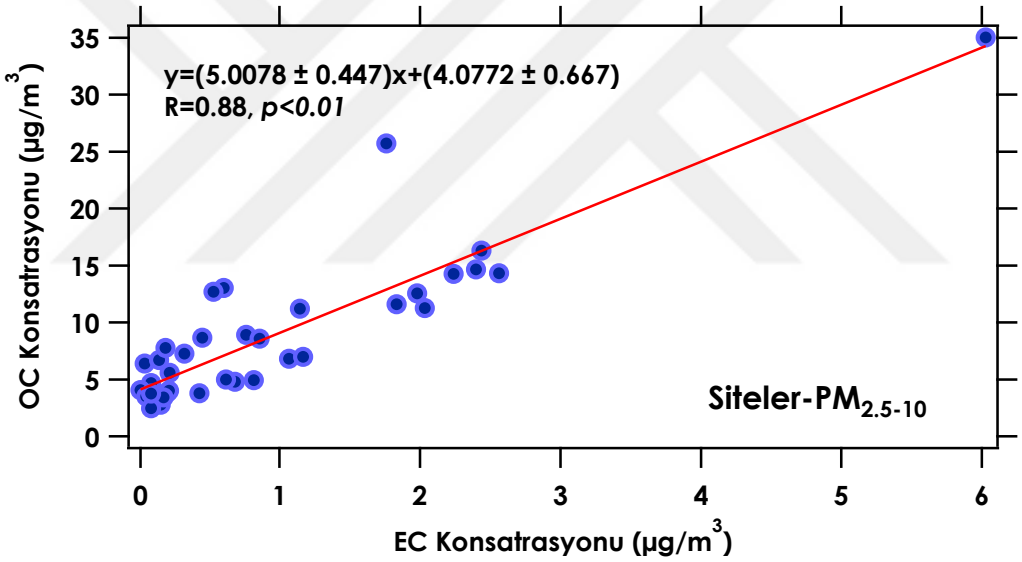
PM kompozisyonunda belirlenen parametreler arasındaki korelasyonların incelenmesi, bu parametrelerin kaynakları ve atmosferde geçirdikleri süreçler (taşınım ve kimyasal tepkimeler) hakkında kabaca da olsa bilgi vermektedir. Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te ince fraksiyonda belirlenen karbon türleri arasındaki korelasyon sunulmuştur. OC ve EC arasında çok güçlü (R=0.83, $p<0.01$) bir korelasyon olması bu kirleticilerin benzer kaynaklardan atmosfere salındığını göstermektedir. OC atmosferde gaz fazlı uçucu organik bileşiklerin partiküle dönüşmesi sonucu oluşabildiği gibi atmosfere partikül yapısında da salınabilmektedir. Diğer taraftan EC atmosfere doğrudan yanma sonucu salınmaktadır. Bu iki parametre arasında çok güçlü bir korelasyon olması bu kirleticilerin antropojenik yanma faaliyetleri sonucu atmosfere salındığını göstermektedir. Kaba fraksiyonda belirlenen karbon türleri arasında da yine istatistiksel olarak anlamlı ve güçlü bir korelasyon elde edilmiştir.



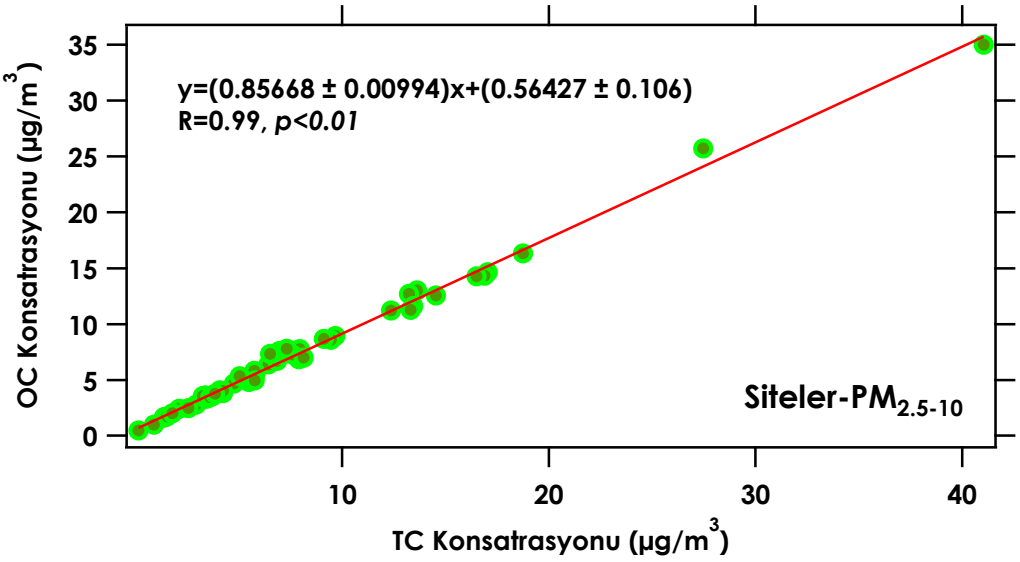
Şekil 4.34. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen OC ve EC arasındaki korelasyon



Şekil 4.35. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen OC ve TC arasındaki korelasyon

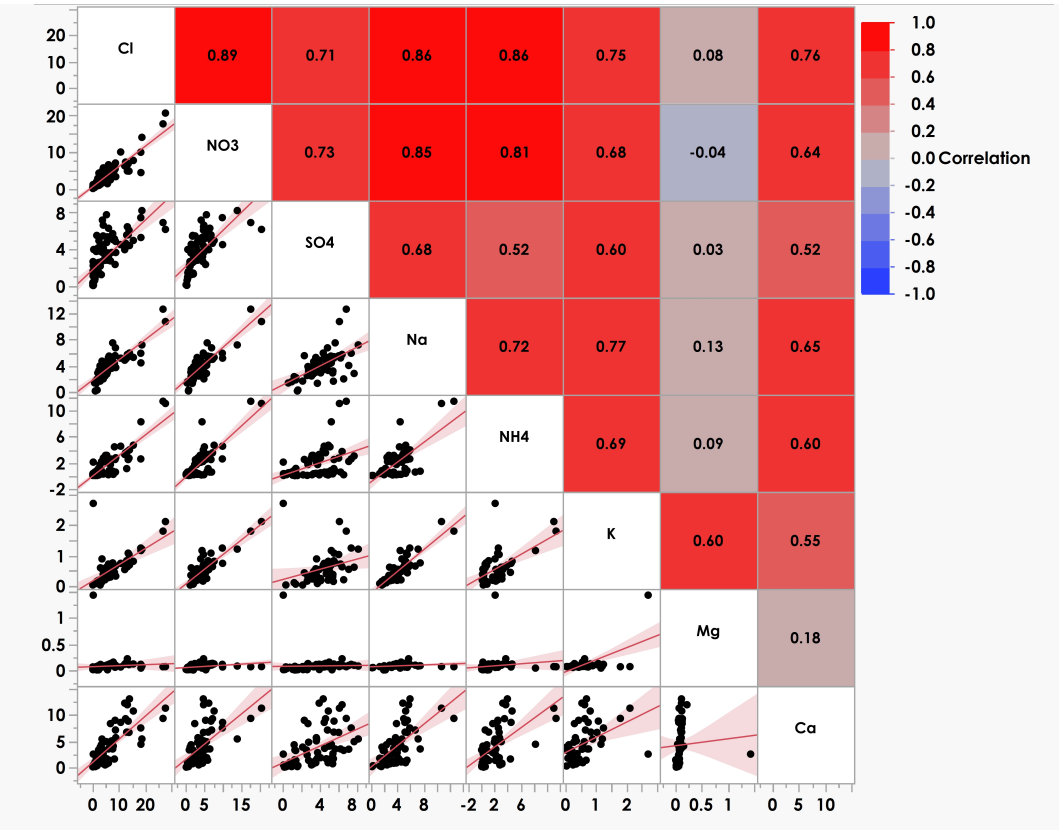


Şekil 4.36. Siteler istasyonunda $PM_{10\text{-}2.5}$ fraksiyonunda gözlenen OC ve EC arasındaki korelasyon

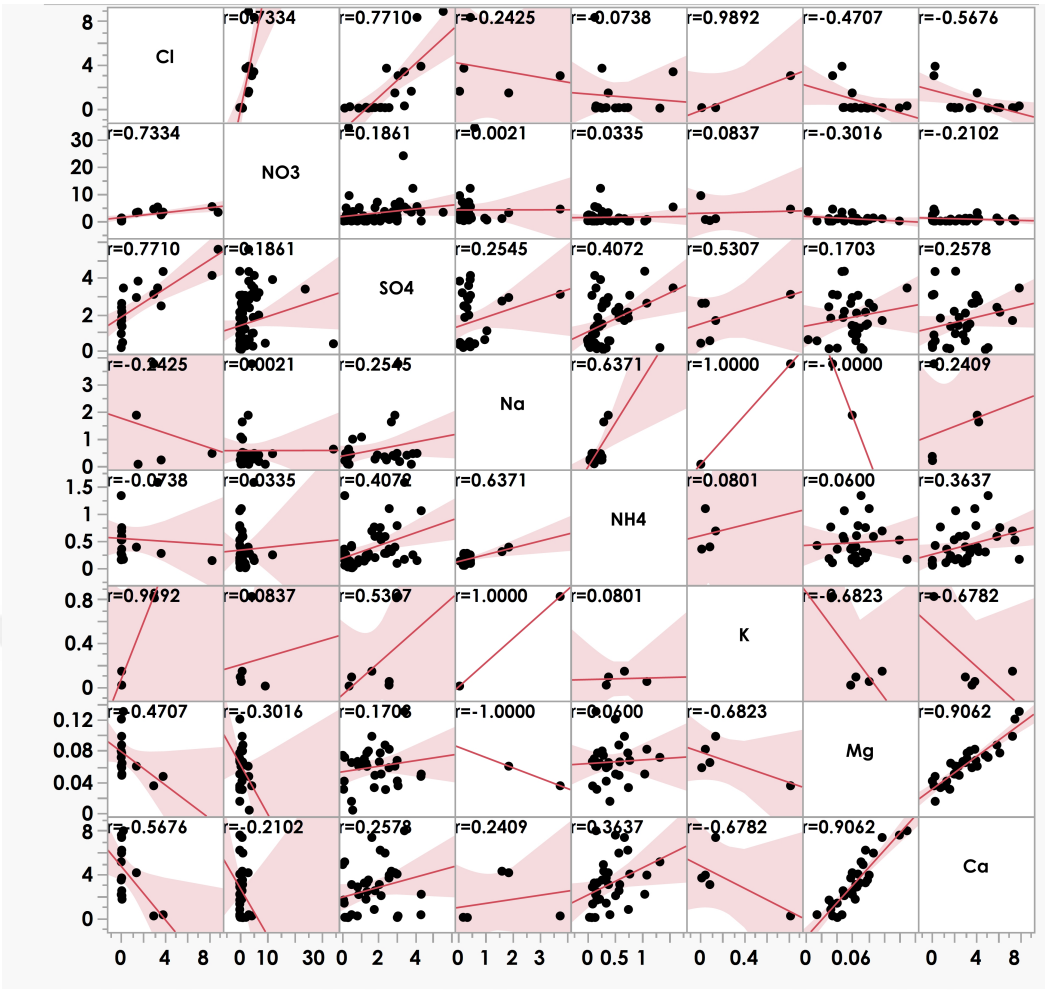


Şekil 4.37. Siteler istasyonunda $PM_{10\text{-}2.5}$ fraksiyonunda gözlenen OC ve TC arasındaki korelasyon

Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen ana iyonlar arasındaki korelasyon değerleri Şekil 4.38'de sunulmuştur. Magnezyum dışında ince fraksiyonda belirlenen tüm iyonların birbirleri ile çok güçlü bir korelasyon gösterdiği görülmektedir. Kaba fraksiyonda iyonlar arasındaki korelasyon değerleri ise Şekil 4.39'da gösterilmektedir. İnce fraksiyondan farklı olarak sadece Ca^{2+} ve Mg^{2+} arasında çok güçlü bir korelasyon olduğu açıktır. Söz konusu bu durum bu parametrelerin kaba fraksiyonda toprak kaynaklı olarak atmosfere salındığını göstermektedir.

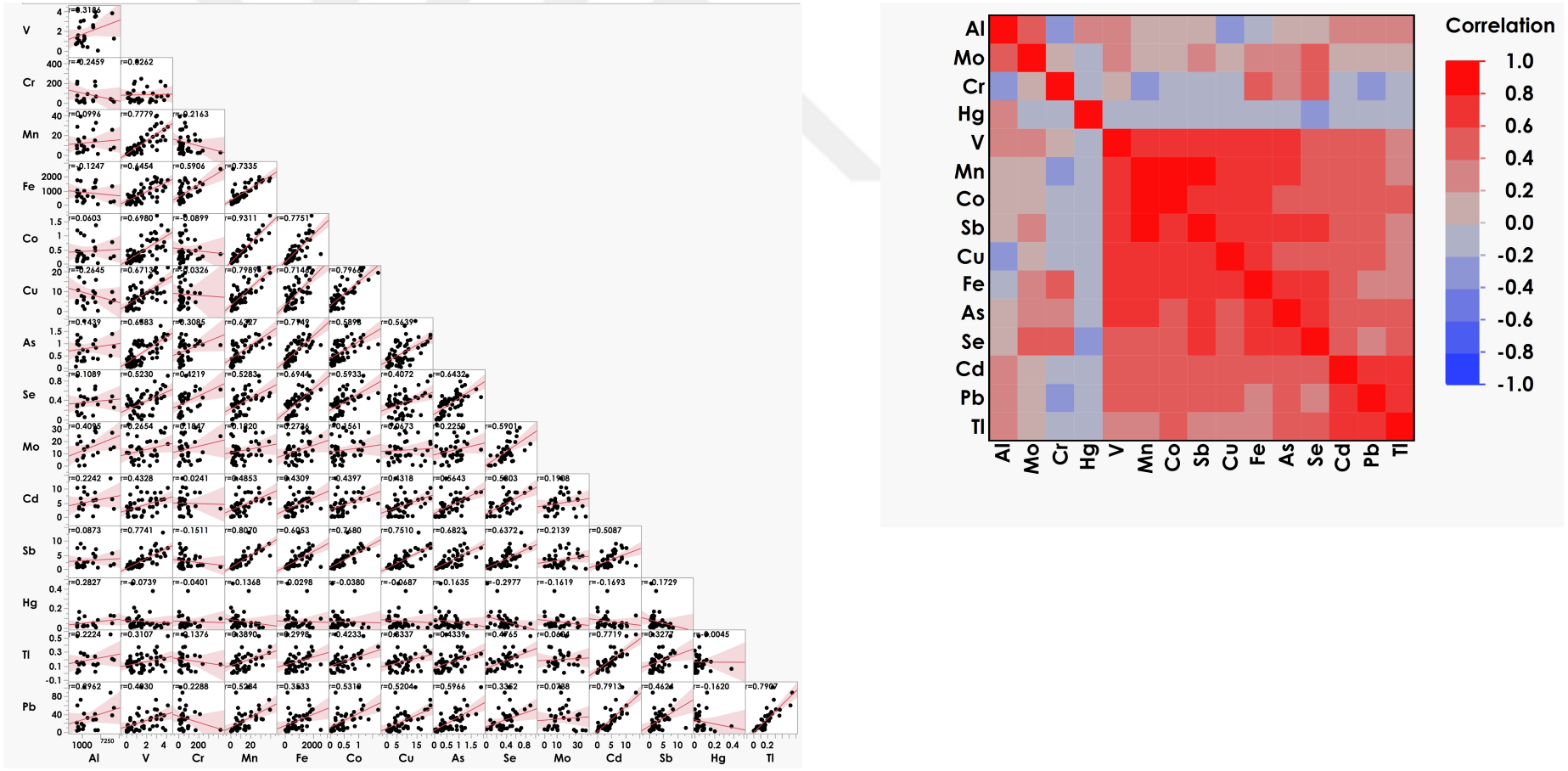


Şekil 4.38. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen ana iyonlar arasındaki korelasyon

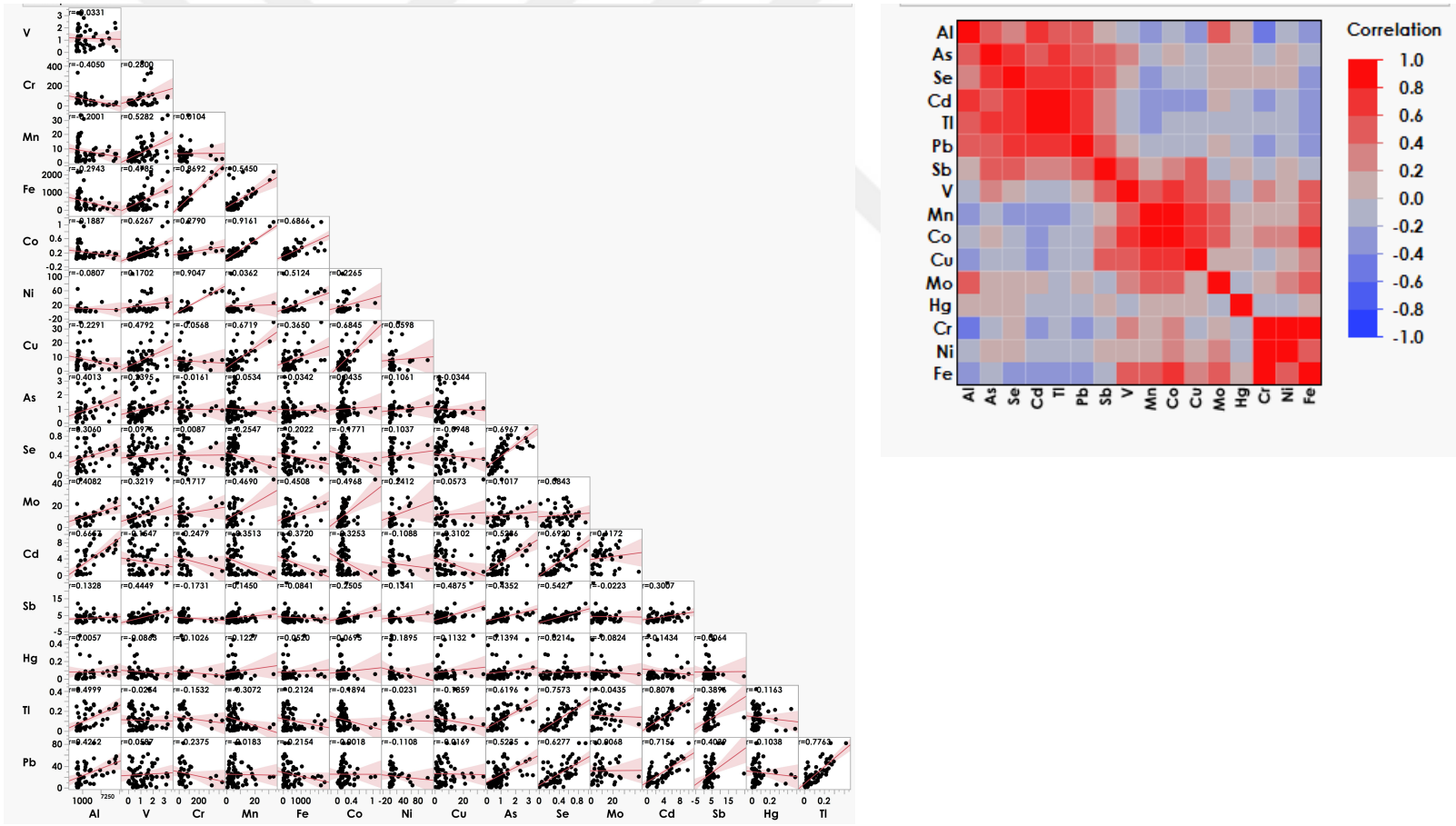


Şekil 4.39. Siteler istasyonunda $PM_{10-2.5}$ fraksiyonunda gözlenen ana iyonlar arasındaki korelasyon

Şekil 4.40'ta ince fraksiyonda belirlenen elementlerin korelasyon matriksi ve korelasyon katsayılarına uygulanan kümeleme analizi sonuçları paylaşılmıştır. Vanadyum, Mn, Co, Sb, Cu, Fe, As, Se, Cd, Pb ve Tl arasındaki korelasyon katsayınısının >0.4 olduğu görülmektedir. Bu parametrelerden As ve Se kömür yanması sonucu atmosfere salınan kirleticilerdir. Vanadyum ve Sb ise fuel oil yanmasının önemli markerları olarak bilinmektedir. Kurşun, ve Cu atmosfere motorlu taşıtlardan salınabilmektedir. Dolayısı ile istasyonu çevresinde ince fraksiyon kimyasal kompozisyonunu etkileyen farklı antropojenik kaynakların olduğunu söylemek mümkündür.



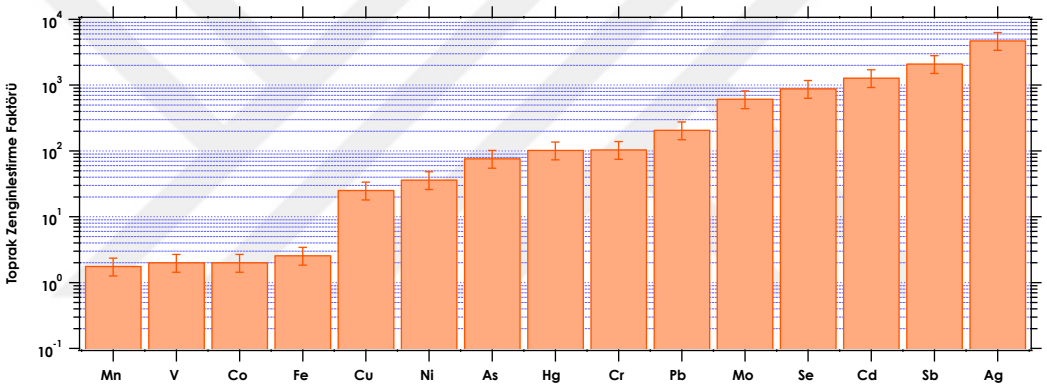
Şekil 4.40. Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda gözlenen elementler arasındaki korelasyon (sol) ve korelasyonların küme analizi (sağ)



Şekil 4.41. Siteler istasyonunda $PM_{10-2.5}$ fraksiyonunda gözlenen elementler arasındaki korelasyon (sol) ve korelasyonların küme analizi (sağ)

4.2.5 Siteler İstasyonunda Belirlenen Parametrelerin Kaynakları

Bu çalışmada, Siteler istasyonunda PM kompozisyonunda analiz edilen parametreler kullanılarak PM kompoziyonunu etkileyen kirletici kaynakları da belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikli olarak toprak kompozisyonuna göre hangi parametrelerin PM kompozisyonunda arttığı belirlenmeye çalışılmış ve Mason toprak kompozisyonu kullanırak toprak zenginleştirme faktörü hesaplanmış ve sonuçları Şekil 4.42'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde Mn-Fe dışındaki tüm parametrelerin zenginleştirme faktörü değerlerinin >1.0 olduğu belirlenmiştir. Bakır-Cr arasındaki parametrelerin zenginleştirme faktörü değerlerinin >10, Pb-Se arasındaki parametrelerin zenginleştirme faktörü değerlerinin >100 ve Cd-Ag arasındaki parametrelerin zenginleştirme faktörü değerlerinin ise >1000 olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.42. PM_{10} fraksiyonu için hesaplanmış toprak zenginleştirme faktörü

Bu çalışmada ayrıca PM_{10} kompozisyonunu etkileyen kirletici kaynaklarını belirleyebilmek amacıyla Varimax rotasyonu kullanılarak faktör analizi de gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 4.14'te sunulmuştur. PM_{10} kompozisyonunu etkileyen sekiz farklı faktörün olduğu belirlenmiş olup bu faktörlerin (kaynakların) PM_{10} kütlesinin yaklaşık olarak % 87'sini açıkladığı bulunmuştur. Birinci faktörde Cu, Mn, Sb, OC, EC, V, NH_4^+, Fe ve K^+ gibi parametrelerin yükü >0.40 olup bu faktör hem metalleri hem de yanma indikatörlerini içerdiği için sanayi faktörü olarak adlandırılmıştır. Siteler istasyonu ülkemizin önde gelen mobilya imalathanelerini tarafından çevrelenmiş durumdadır. Bazı imalathanelerde atık malzemeler yanma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Dolayısı ile bu faktör söz konusu faaliyetler ile ilişkilendirilmiştir. İkinci faktörde Sb, EC, OC, Cd, Pb, Se, As, NH_4^+ ve Al gibi parametreler bulunmaktadır. Arsenik

ve Se önemli kömür yanması indikatör elementleridir. Dolayısı ile bu faktör kömür yanması faktörü olarak adlandırılmıştır. Üçüncü faktörde, Na, Cl^-, EC, OC, sülfat ve nitrat parametrelerinin yükleri >0.40'dır. Sülfat ve nitrat atmosferde ikincil oluşan inorganik aerosollerin önemli bileşenleridir. Dolayısı ile bu faktör ikincil inorganik aeorosol faktörü olarak adlandırılmış olup daha çok bölgesel kirliliği temsil etmektedir. Dördüncü faktörde Fe ve Cr için faktör yükü >0.40'dır. Zenginleştirme faktörü sonuçlarından demirin PM kompozisyonunda zenginleşmediği görülmektedir. Ancak bu durum Cr için geçerli değildir. Bu faktör yol tozu faktörü olarak adlandırılmıştır. Beşinci faktörde Al, Ni ve Mo elementlerinin yüklerinin büyük olduğu görülmektedir. Bu faktör metal işleme faktörü olarak adlandırılmıştır. Altıncı faktörde EC, K^+ ve Mg^{2+} parametreleri bulunduğu için bu faktör biyokütle yanma faktörü olarak adlandırılmıştır. Yedinci faktörde Ag ve Co bulunmaktadır. Bu faktörde ikincil bir metal sanayi emisyonu olarak nitelendirilmiştir. Son faktörde ise Hg için faktör yükü >0.40 olup bu parametrenin K^+ iyonu ile ters yükte olması Siteler istasyonunu etkileyen bir yanma kaynağına daha işaret etmektedir.

Tablo 4.14. Siteler istasyonunda PM_{10} kompozisyonu için çalıştırılan faktör analiz sonuçları

	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Faktör 5	Faktör 6	Faktör 7	Faktör 8	Ortak Varyans
Cu	**0.872**	0.032	-0.148	-0.106	-0.025	0.013	0.040	0.064	**0.801**
Mn	**0.862**	0.205	-0.050	0.088	0.214	-0.049	0.263	0.046	**0.914**
Ca^{2+}	**0.861**	0.222	0.133	0.003	-0.057	0.008	0.132	0.001	**0.830**
Co	**0.798**	0.301	-0.019	0.191	0.233	-0.068	**0.338**	0.033	**0.940**
Na^{+}	**0.734**	-0.058	**0.529**	0.006	-0.169	0.207	-0.200	-0.229	**0.986**
EC	**0.727**	0.353	0.320	-0.090	0.101	**0.404**	-0.007	0.072	**0.942**
Sb	**0.700**	**0.451**	0.161	-0.061	0.066	0.295	-0.077	0.017	**0.822**
TC	**0.689**	**0.459**	**0.509**	-0.006	0.029	0.013	-0.119	-0.106	**0.971**
OC	**0.674**	**0.463**	**0.520**	0.002	0.021	0.010	-0.125	-0.121	**0.970**
V	**0.652**	0.267	0.052	0.227	0.278	0.015	0.009	0.033	**0.629**
Cd	0.184	**0.923**	0.072	-0.008	0.162	0.083	0.045	-0.050	**0.928**
Tl	0.196	**0.893**	0.245	0.049	-0.035	-0.094	0.082	-0.036	**0.916**
Pb	0.354	**0.819**	0.153	-0.082	0.008	-0.064	0.049	-0.144	**0.855**
Se	0.282	**0.733**	0.327	0.253	0.102	0.183	0.089	-0.023	**0.839**
As	0.334	**0.701**	0.363	0.223	0.126	-0.044	-0.033	0.182	**0.837**
NH_4^{+}	**0.439**	**0.494**	**0.485**	0.121	-0.179	0.079	-0.179	-0.245	**0.817**
NO_3^{-}	0.043	0.170	**0.908**	-0.057	0.043	-0.019	-0.036	-0.056	**0.866**
Cl^{-}	0.049	0.353	**0.855**	-0.079	0.163	-0.021	0.070	0.074	**0.902**
SO_4^{2-}	0.018	0.244	**0.735**	-0.248	0.148	0.002	0.252	0.255	**0.811**
Cr	-0.174	0.010	-0.133	**0.951**	0.013	0.037	0.047	-0.018	**0.957**
Fe	**0.490**	0.174	-0.113	**0.768**	0.133	-0.085	0.173	0.114	**0.941**
Ni	0.203	-0.145	0.180	0.046	**0.753**	-0.041	-0.034	-0.118	**0.680**
Al	-0.042	**0.533**	0.238	-0.189	**0.671**	-0.037	-0.046	0.120	**0.846**
Mo	0.081	0.389	-0.147	0.327	**0.629**	0.223	-0.018	-0.104	**0.742**
Mg^{2+}	0.016	0.012	-0.096	0.015	0.033	**0.981**	0.115	-0.031	**0.988**
K^{+}	**0.496**	-0.073	0.299	-0.022	-0.041	**0.588**	-0.249	**-0.400**	**0.911**
Ag	0.217	0.050	0.089	0.128	-0.082	0.070	**0.883**	-0.099	**0.875**
Hg	0.081	-0.117	0.082	0.037	-0.113	-0.072	-0.102	**0.883**	**0.836**
Varyans	**6.9987**	**5.3253**	**3.8956**	**1.9858**	**1.8148**	**1.7442**	**1.3013**	**1.2858**	
%	**24.996**	**19.019**	**13.913**	**7.092**	**6.481**	**6.229**	**4.648**	**4.592**	
Toplam %	**24.996**	**44.015**	**57.927**	**65.019**	**71.501**	**77.73**	**82.378**	**86.97**	

4.3 Sıhhiye İstasyonu PM Kompozisyonu

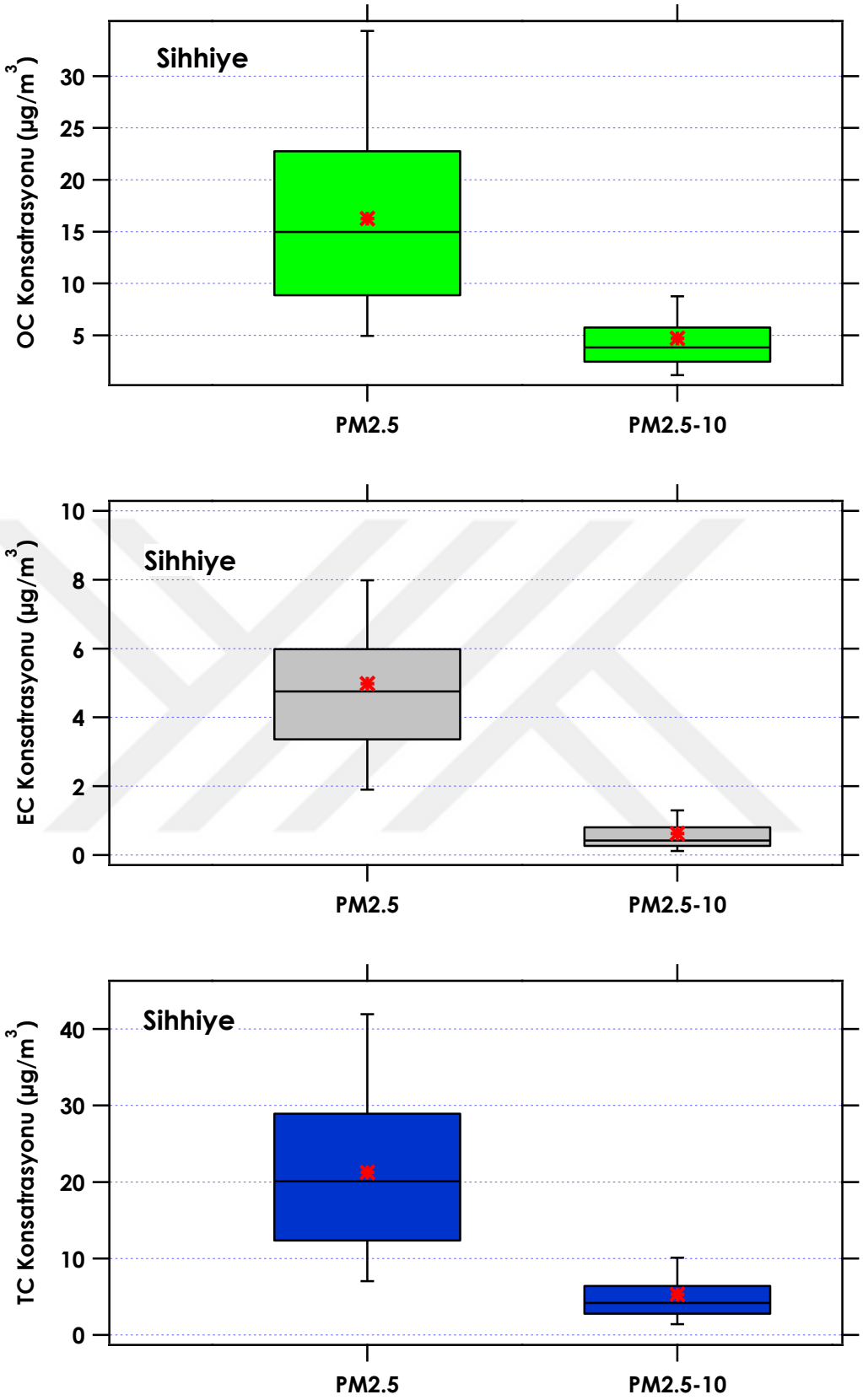
4.3.1 Sıhhiye İstasyonunda Belirlenen Parametrelerin İstatistiksel Özeti

Sıhhiye istasyonun belirlenen karbon türlerine ait istatistiksel özet değerleri Tablo 4.15'te sunulmuştur. İnce fraksiyonda ($PM_{2.5}$) ortalama organik karbon (OC), elementel karbon (EC) ve toplam karbon (TC) değerleri sırasıyla 16.27±10.03, 4.98±2.84, 21.25±12.44 µg/m^3 olarak belirlenmiştir. Kaba fraksiyonda ($PM_{10-2.5}$) ise söz konusu ortalama konsantrasyonlar sırasıyla 4.72±3.88, 0.63±0.70 ve 5.30±4.52 µg/m^3 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.15. Sıhhiye istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen karbon parametrelerine ait istatistiksel özet

$PM_{2.5}$ (µg/m^3)							
Parametre	**N**	**Ort**	**SS**	**Min**	**Mak**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
OC	62	16.27	10.03	0.46	42.88	14.98	12.87
EC	62	4.98	2.84	0.02	19.43	4.75	3.89
TC	62	21.25	12.44	0.51	54.57	20.08	17.07
$PM_{10-2.5}$ (µg/m^3)							
Parametre	**N**	**Ort**	**SS**	**Min**	**Mak**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
OC	63	4.72	3.88	0.27	20.72	3.83	3.54
EC	60	0.63	0.70	0.01	3.90	0.43	0.39
TC	63	5.30	4.52	0.42	24.37	4.17	3.97
PM_{10} (µg/m^3)							
Parametre	**N**	**Ort**	**SS**	**Min**	**Mak**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
OC	64	20.40	12.09	1.19	46.78	18.99	16.37
EC	64	5.41	3.12	0.03	19.43	5.00	4.16
TC	64	25.80	14.85	1.21	59.89	24.36	20.86

Şekil 4.43'te Sıhhiye istasyonunda ince ve kaba fraksiyonda belirlenen karbon türleri Box-Whisker kutu grafiği olarak sunulmuştur. Tüm karbon türlerinde $PM_{2.5}$ fraksiyonunda belirlenen ortalama değerin kaba fraksiyonda belirlenen değerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, karbon parametrelerinin antropojenik kaynaklardan atmosfere salındığını göstermektedir.



Şekil 4.43. Sıhhiye istasyonunda ince ve kaba fraksiyonda gözlenen karbon konsantrasyonları

Sıhhiye istasyonunda farklı fraksiyonlarda belirlenen anyon ve katyon parametrelerine ait istatistiksel özet değerleri sırasıyla Tablo 4.16 ve Tablo 4.17'de sunulmuştur. $PM_{2.5}$ fraksiyonunda en düşük anyon konsantrasyonu 0.031±0.021 µg/m^3 (NO_2^-) ile en yüksek anyon konsantrasyonu 4.329±4.116 µg/m^3 (NO_3^-) arasında değişmektedir. Kaba fraksiyonda ise anyon değerlerinin 0.586-1.636 µg/m^3 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Katyon değerlerinin ise ince fraksiyonda 0.060-2.567 µg/m^3 ve kaba fraksiyonda 0.074-3.563 µg/m^3 arasında değiştiği bulunmuştur.

Tablo 4.16. Sıhhiye istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen anyon parametrelerine ait istatistiksel özet

$PM_{2.5}$ (µg/m^3)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
Cl^-	68	0.989	0.927	0.046	6.236	0.774	0.702
NO_2^-	4	0.031	0.021	0.012	0.051	0.031	0.026
NO_3^-	69	4.329	4.116	0.237	21.263	3.434	3.047
SO_4^{2-}	66	2.734	1.363	0.199	7.619	2.640	2.354
$PM_{10-2.5}$ (µg/m^3)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
Cl^-	69	2.714	3.233	0.146	17.211	1.694	1.572
NO_2^-	8	0.586	1.596	0.001	4.535	0.023	0.028
NO_3^-	50	1.636	3.823	0.024	17.399	0.287	0.379
SO_4^{2-}	51	0.297	0.281	0.001	1.018	0.204	0.164
PM_{10} (µg/m^3)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
Cl^-	69	3.689	3.763	0.467	20.206	2.600	2.506
NO_2^-	12	0.401	1.302	0.001	4.535	0.023	0.027
NO_3^-	69	5.515	6.717	0.297	36.660	3.722	3.560
SO_4^{2-}	66	2.963	1.415	0.538	7.682	2.901	2.598

Tablo 4.17. Sıhhiye istasyonunda PM kompozisyonunda gözlenen katyon parametrelerine ait istatistiksel özet

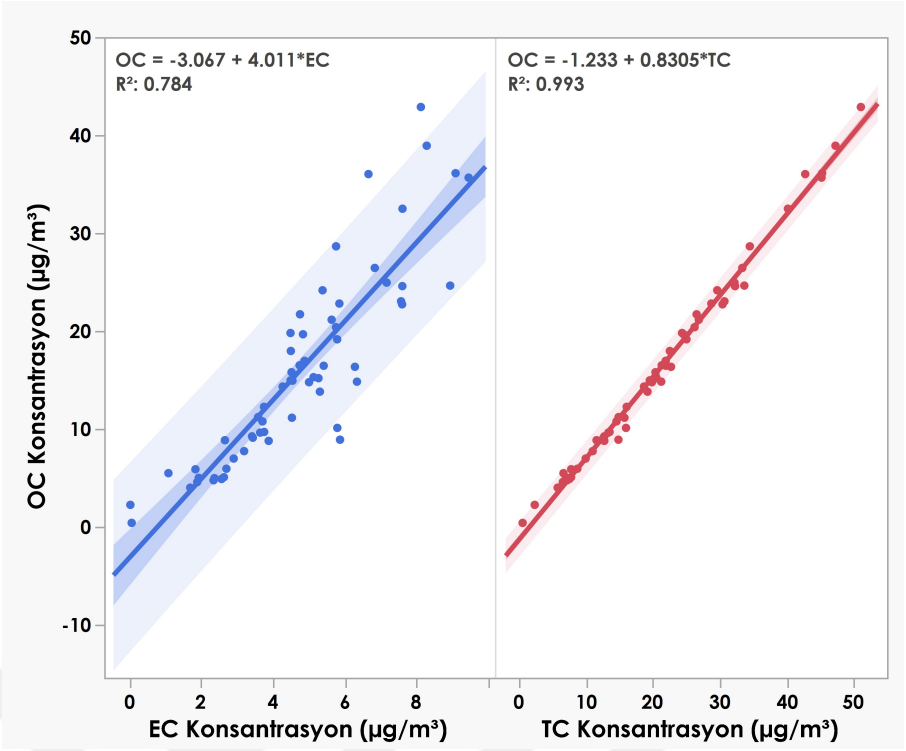
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
Na^+	59	2.567	2.033	0.165	10.934	2.039	1.919
NH_4^+	65	1.191	1.127	0.072	6.538	0.948	0.837
K^+	44	0.233	0.190	0.017	0.867	0.212	0.160
Mg^{2+}	58	0.060	0.028	0.005	0.166	0.055	0.055
Ca^{2+}	69	1.956	3.461	0.043	16.777	0.685	0.812

$PM_{10-2.5}$ ($\mu g/m^3$)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
Na^+	54	3.563	3.445	0.119	14.962	2.191	2.304
NH_4^+	35	0.617	1.973	0.003	11.880	0.202	0.198
K^+	24	0.086	0.065	0.001	0.235	0.087	0.052
Mg^{2+}	54	0.074	0.036	0.036	0.224	0.062	0.068
Ca^{2+}	68	3.393	3.382	0.047	18.133	2.395	2.227

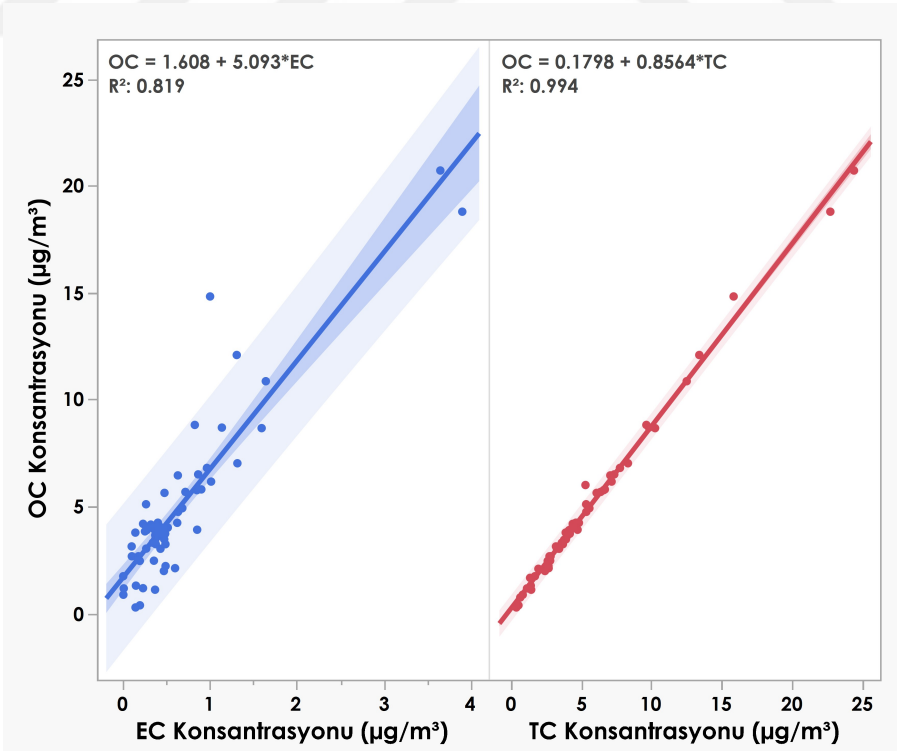
PM_{10} ($\mu g/m^3$)							
Parametre	**N**	**Ort.**	**SS**	**Min.**	**Maks.**	**Ortanca**	**Geo.Ort.**
Na^+	59	5.827	4.741	0.201	20.069	4.090	4.300
NH_4^+	65	1.524	1.886	0.072	12.833	1.136	0.978
K^+	44	0.280	0.220	0.017	0.867	0.231	0.189
Mg^{2+}	59	0.127	0.063	0.005	0.355	0.117	0.111
Ca^{2+}	69	5.300	6.510	0.043	30.030	3.023	3.164

4.3.2 Sıhhiye İstasyonunda Belirlenen Parametrelerin Kaynakları

Sıhhiye PM verisi de yine çeşitli istatistiksel değerlendirmelere tabi tutularak bu istasyonu etkileyen kirletici kaynakları belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te ince ve kaba fraksiyonda belirlenen karbon parametreleri arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. Her iki fraksiyonda da parametreler arasında çok güçlü bir ilişkinin olduğu dolayısı karbon parametrelerinin benzer kaynaklardan atmosfere salındığı ve/veya atmosferde benzer taşınma ve dönüşüm süreçlerine maruz kaldığı söylenebilir. Siteler istasyonundan farklı olarak OC/EC oranının 4 civarından daha düşük bir oran olduğu ancak OC/EC>2.0 olması nedeniyle bu istasyonda da ikincil karbon aerosol oluşumu söz konusu olduğu görülmektedir.

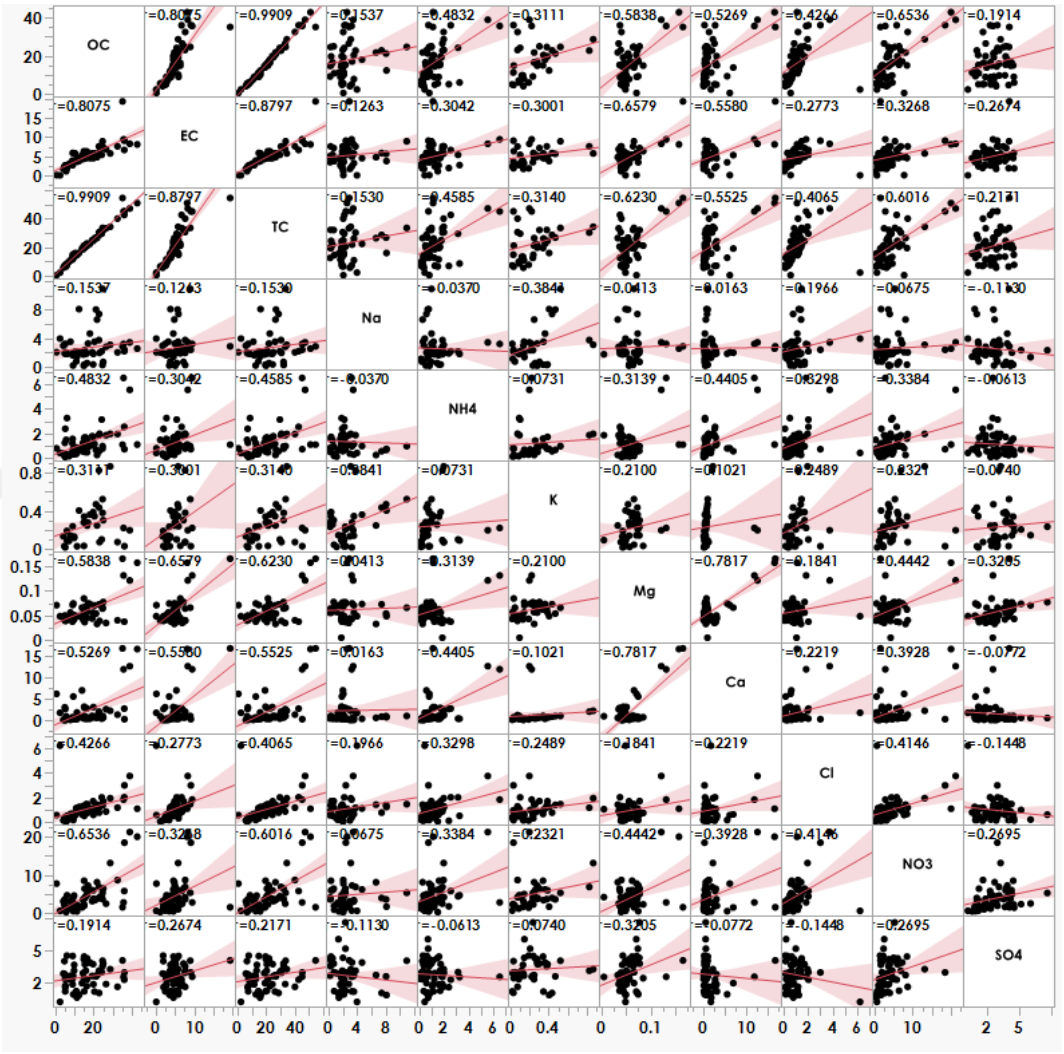


Şekil 4.44. Sıhhiye istasyonu $PM_{2.5}$ fraksiyonunda belirlenen karbon parametreleri arasındaki korelasyon

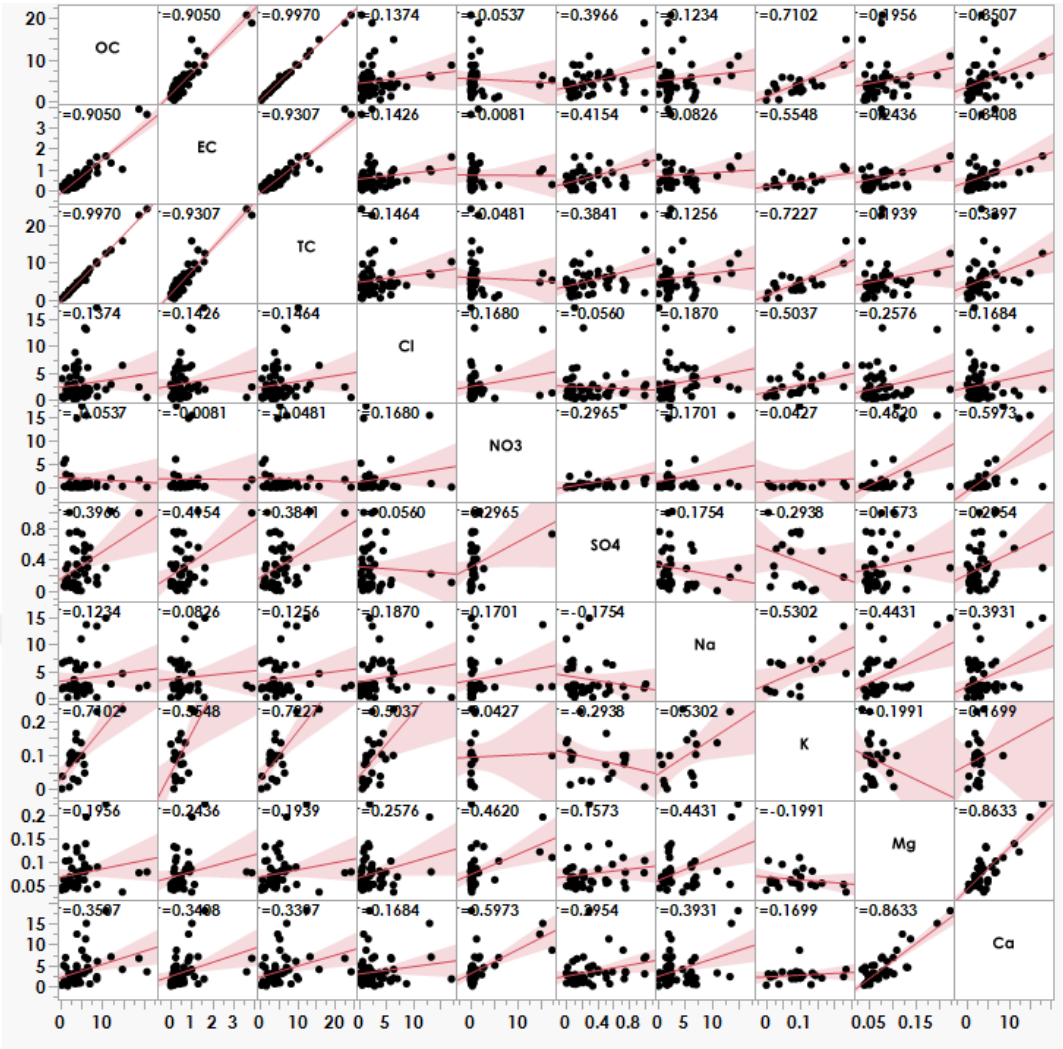


Şekil 4.45. Sıhhiye istasyonu $PM_{10\text{-}2.5}$ fraksiyonunda belirlenen karbon parametreleri arasındaki korelasyon

Şekil 4.46 ve **Şekil 4.47**'de Sıhhiye istasyonunda ince ve kaba fraksiyonda belirlenen tüm parametreler arasındaki korelasyonlar sunulmuştur.

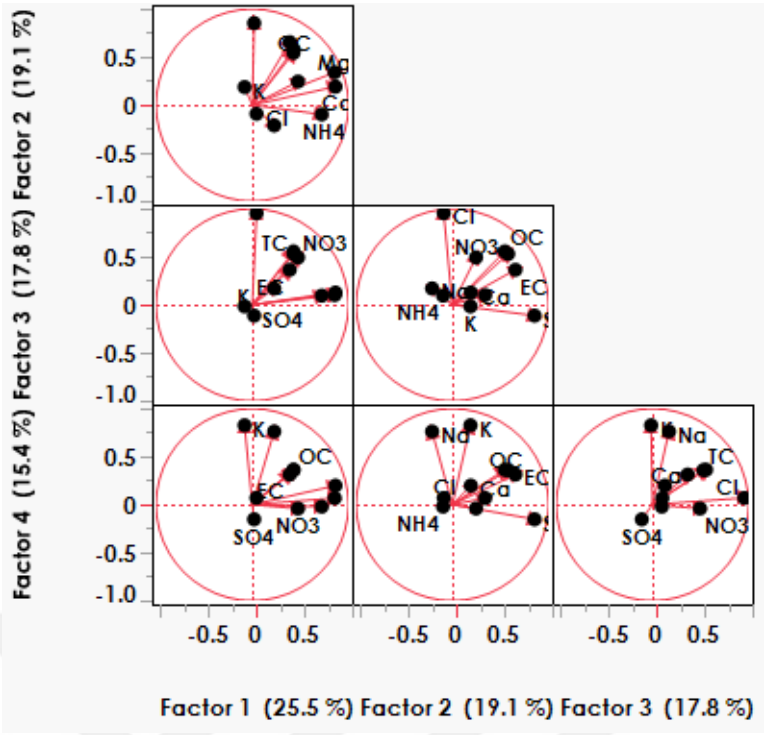


Şekil 4.46. Sıhhiye istasyonu $PM_{2.5}$ fraksiyonunda belirlenen parametreler arasındaki korelasyon



Şekil 4.47. Sıhhiye istasyonu $PM_{10-2.5}$ fraksiyonunda belirlenen parametreler arasındaki korelasyon

Şekil 4.48'de bu istasyonda belirlenen parametrelere uygulanan faktör analiz sonuçları şematik olarak gösterilmiştir. Tablo 4.18'de ise faktör analiz sonuçları sayısal olarak verilmiştir. Tablo dan da görülebileceği gibi Sıhhiye istasyonunda toplanan PM_{10} örneklerinin kimyasal kompozisyonlarını etkileyen başlıca dört farklı kaynağın olduğu görülmektedir. Bu kaynakları yol tozu (Faktör 1), bölgesel kirlilik (Faktör 2), trafik (Faktör 3) ve biyokütle yakılması (Faktör 4) olarak adlandırmak mümkündür.



Şekil 4.48. Sıhhiye istasyonu PM_{10} fraksiyonunda belirlenen faktörler

Tablo 4.18. Sıhhiye istasyonunda PM_{10} kompozisyonu için çalıştırılan faktör analiz sonuçları

	Faktör 1	**Faktör 2**	**Faktör 3**	**Faktör 4**	**Ortak Varyans**
OC	**0.43**	**0.54**	**0.56**	0.36	0.92
EC	0.39	**0.65**	0.37	0.31	0.81
TC	**0.43**	**0.58**	**0.53**	0.36	0.93
Na+	0.23	-0.21	0.17	**0.76**	0.71
NH_4^+	**0.72**	-0.10	0.10	-0.02	0.54
K^+	-0.08	0.19	-0.02	**0.83**	0.72
Mg^{2+}	**0.86**	0.34	0.10	0.07	0.86
Ca^{2+}	**0.86**	0.19	0.13	0.20	0.84
Cl^-	0.04	-0.09	**0.96**	0.07	0.93
NO_3^-	**0.48**	0.25	**0.49**	-0.04	0.53
SO_4^{2-}	0.02	**0.85**	-0.11	-0.15	0.76
Varyans	***2.8057***	***2.0986***	***1.9586***	***1.698***	
%	***25.506***	***19.078***	***17.806***	***15.436***	
Kümilatif %	***25.506***	***44.584***	***62.39***	***77.826***	

4.4 Siteler ve Sıhhiye İstasyonları PM Kompozisyonunun Karşılaştırılması

Siteler ve Sıhhiye istasyonlarında kış mevsiminde toplanan örneklerde karbon ve iyon parametreleri analiz edilmiştir. İstasyonlar arasındaki farklılığı ya da benzerliği anlamak için her iki istasyonda ince ve kaba fraksiyonda belirlenen parametrelere ait ortalama değerler sırasıyla Tablo 4.19 ve Tablo 4.20'de sunulmuştur.

Siteler istasyonunda ince PM fraksiyonunda belirlenen OC, EC, TC, NH_4^+, K^+, Ca^{2+} ve Cl^- değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, Siteler istasyonunun hem çevresindeki evsel ısınma hem de mobilya imalathanelerinden çok fazla etkilendiğini göstermektedir.

Tablo 4.19. Sıhhiye ve Siteler istasyonunda $PM_{2.5}$ kompozisyonunda belirlenen parametrelerin ortalama değerleri (Konsantrasyon Birimi:µg/m^3)

Parametre	Siteler İstasyonu	Sıhhiye İstasyonu
OC	40.19±30.71	16.27±10.03
EC	4.76± 2.30	4.98±2.84
TC	44.95± 32.30	21.25±12.44
$\mathbf{Na^+}$	0.074 ±2.194	2.567±2.033
$\mathbf{NH_4^+}$	2.101 ±2.375	1.191±1.127
$\mathbf{K^+}$	0.547 ±0.420	0.233±0.190
$\mathbf{Mg^{2+}}$	0.0798± 0.0369	0.060±0.028
$\mathbf{Ca^{2+}}$	4.110±3.529	1.956±3.461
$\mathbf{Cl^-}$	7.782± 6.540	0.989±0.927
$\mathbf{NO_2^-}$	0.031± 0.020	0.031±0.021
$\mathbf{NO_3^-}$	4.941 ± 4.402	4.329±4.116
$\mathbf{SO_4^{2-}}$	4.174 ±1.920	2.734±1.363

Tablo 4.20. Sıhhiye ve Siteler istasyonunda $PM_{10-2.5}$ kompozisyonunda belirlenen parametrelerin ortalama değerleri (Konsantrasyon Birimi:µg/m^3)

Parametre	Siteler İstasyonu	Sıhhiye İstasyonu
OC	8.55 ± 6.56	4.72±3.88
EC	1.27 ±1.35	0.63±0.70
TC	9.43 ± 7.77	5.30±4.52
$\mathbf{Na^+}$	0.563± 0.708	3.563±3.445
$\mathbf{NH_4^+}$	0.204 ±0.324	0.617±1.973
$\mathbf{K^+}$	0.414± 0.582	0.086±0.065
$\mathbf{Mg^{2+}}$	0.036 ±0.019	0.074±0.036
$\mathbf{Ca^{2+}}$	0.890 ±1.743	3.393±3.382
$\mathbf{Cl^-}$	4.131 ±3.577	2.714±3.233
$\mathbf{NO_2^-}$	0.028 ±0.0207	0.586±1.596
$\mathbf{NO_3^-}$	4.190±5.943	1.636±3.823
$\mathbf{SO_4^{2-}}$	1.695 ± 1.730	0.297±0.281

5. SONUÇLAR

Bu çalışma 2021 yılında Ankara'da T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı Siteler ve Sıhhiye hava kalitesi izleme istasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Bu iki istasyon söz konusu bakanlığa bağlı Kuzey İç Anadolu Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü tarafından işletilmektedir. İstasyonlarda NO, NO_2, NO_x, SO_2, CO ve O_3 parametreleri analizörler kullanılarak gerçek zamanlı olarak izlenmektedir. Çalışma kapsamında Siteler ve Sıhhiye istasyonunda 20 Ocak 2021-4 Nisan 2021 ve 31 Ağustos 2021-26 Eylül 2021 tarihleri arasında ince ($PM_{2.5}$) ve kaba ($PM_{10-2.5}$) PM örnekleri günlük olarak toplanmıştır. Siteler istasyonunda toplanan örnekler EC, OC, ana iyonlar ve elementler açısından analiz edilirken Sıhhiye istasyonunda örnekler EC, OC ve ana iyonlar açısından analiz edilmiştir.

Siteler istasyonunda 2021 yılında ortalama SO_2, NO_x, O_3 ve CO konsantrasyonları sırasıyla 13.78±5.27, 84.02±70.92, 20.99±19.48 ve 1134.10±984.96 μg/m^3 olarak bulunmuştur. İstasyonda ölçülen yıllık ortalama değerin Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde verilen limit değerin altında kaldığı görülmüştür. Ancak, NO_2 ve NO_x için ölçülen değerlerin ilgili yönetmelikte verilen limit değerlerin yaklaşık olarak iki katı olduğu belirlemiştir.

Sıhhiye istasyonunda 2021 yıllında SO_2, NO_x, O_3 ve CO konsantrasyonları sırasıyla 5.44±3.18 μg/m^3, 126.37±73.97 μg/m^3, 23.21±16.32 μg/m^3 ve 839.02±341.01 μg/m^3 olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada Sıhhiye istasyonunda ölçülen NO_2 ve NO_x değerlerinin yönetmelik değerlerinin sırasıyla yaklaşık 1.5 ve 4 kat daha üzerinde olduğu görülmüştür. İstasyonda belirlenen yıllık SO_2 ortalamasının ise ilgili yönetmelikte belirtilen limit değerin altında olduğu görülmüştür.

Siteler istasyonunda ince fraksiyonda ($PM_{2.5}$) ortalama organik karbon (OC), elementel karbon (EC) ve toplam karbon (TC) değerleri sırasıyla 31.27±29.04, 4.04±2.47, 35.26±30.90 μg/m^3 olarak belirlenmiştir. Kaba fraksiyonda ($PM_{10-2.5}$) ise söz konusu parametrelere ait ortalama değerler sırasıyla 8.28±6.61, 1.27±1.35, ve 9.29±7.78 μg/m^3 olarak bulunmuştur. Ayrıca, bu istasyonda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda en düşük anyon konsantrasyonu 0.081±0.144 μg/m^3 (F^-) ila en yüksek anyon konsantrasyonu 5.663±6.542 μg/m^3 (Cl^-) arasında

değiştiği sağtanmıştır. Kaba fraksiyonda ise anyon değerlerinin 0.018-3.308 µg/m^3 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Katyon değerlerinin ise ince fraksiyonda 0.074-4.074 µg/m^3 ve kaba fraksiyonda 0.060-2.696 µg/m^3 arasında değiştiği bulunmuştur.

Kirletici kaynakları hakkında kabaca bilgi edinmek amacıyla Siteler istasyonunda üretilen element verisi için zenginleştirme faktörü hesaplanmıştır. Bakır, Ni, As, Hg, Cr, Pb, Mo, Se, Cd, Sb ve Ag elementler için hesaplanan zenginleştirme faktörü değerinin >10 olduğu belirlenmiştir.

Siteler istasyonu için üretilen veri setine uygulanan faktör analizi Siteler istasyonu PM_{10} kimyasal kompozisyonunu etkileyen başlıca sekiz farklı kaynağın olduğunu ortaya koymuştur. Bu kaynaklar sanayi, kömür yanması, ikincil inorganik aerosol, yol tozu, metal işleme, biyo-kütle yanması, metal sanayi, ve başka bir yanma kaynağı olarak adlandırılmıştır.

Sıhhiye istasyonunda ince fraksiyonda ($PM_{2.5}$) ortalama organik karbon (OC), elementel karbon (EC) ve toplam karbon (TC) değerleri sırasıyla 16.27±10.03, 4.98±2.84, 21.25±12.44 µg/m^3 olarak belirlenmiştir. Kaba fraksiyonda ($PM_{10-2.5}$) ise söz konusu ortalama konsantrasyonlar sırasıyla 4.72±3.88, 0.63±0.70 ve 5.30±4.52 µg/m^3 olarak bulunmuştur. Bu istasyonda $PM_{2.5}$ fraksiyonunda en düşük anyon konsantrasyonu 0.031±0.021 µg/m^3 (NO_2^-) ila en yüksek anyon konsantrasyonu 4.329±4.116 µg/m^3 (NO_3^-) arasında değişmektedir. Kaba fraksiyonda ise anyon değerlerinin 0.586-1.636 µg/m^3 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Katyon değerlerinin ise ince fraksiyonda 0.060-2.567 µg/m^3 ve kaba fraksiyonda 0.074-3.563 µg/m^3 arasında değiştiği bulunmuştur.

Sıhhiye istasyonunu etkileyen kirletici kaynakları olarak yol tozu, bölgesel kirlilik, trafik ve biyokütle yakılması ön plana çıkmaktadır.

Siteler ve Sıhhiye istasyonlarında gerçek zamanlı olarak üretilen verileri gaz verileri karşılaştırıldığında Siteler istasyonunda 2021 yılında belirlenen ortalama SO_2 ve CO değerlerinin Sıhhiye istasyonunda bu parametreler için belirlenen değerlerden daha yüksek olduğu, diğer taraftan Sıhhiye istasyonunda ölçülen ortalama NO_x konsantrasyonunun Siteler istasyonu için belirlenen değerden daha yüksek olduğu bulunmuştur. İki istasyonda belirlenen ortalama O_3 konsantrasyonlarının ise birbirine yakın olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada ayrıca Siteler ve Sıhhiye istasyonlarında eş zamanlı olarak toplanan PM örneklerinde belirlenen parametreler de karşılaştırılmıştır. Siteler

istasyonunda ince PM fraksiyonunda belirlenen OC, EC, TC, NH_4^+, K^+, Ca^{2+} ve Cl^- değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, Siteler istasyonunun hem çevresindeki evsel ısınma hem de mobilya imalathanelerinden çok fazla etkilendiğini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında başkent Ankara'da farklı karakteristiğe sahip iki istasyon için hem gaz fazlı kirleticiler hem de PM kimyasal kompozisyonunda belirlenen parametreler için kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Ülkemizde T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yaklaşık 400 istasyonda gaz fazlı kirleticilerin yanında istasyonlarında hemen hemen hepsinde PM_{10} ve sınırlı sayıda istasyonda da $PM_{2.5}$ parametreleri gerçek zamanlı olarak izlenmektedir. Ancak, partikül maddenin insan ve çevre sağlığı ile iklim değişikliği üzerindeki etkilerini belirleyen kimyasal kompozisyonu üzerinden çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Avrupa Birliği 2030 yılından itibaren hava kalitesi izleme istasyonlarında siyah karbon (black carbon, BC) parametresinin izlenmesini zorunlu hale getirecektir. Yine, ultra ince partiküllerin izlenmesi de zorunlu olacaktır. Ülkemizde henüz $PM_{2.5}$ için bir sınır değer bulunmamakla birlikte $PM_{2.5}$ kimyasal kompozisyonunda belirlenen bir çok parametre için ortalama konsantrasyon değerlerinin (örneğin, OC, EC, SO_4^{2-} gibi) Dünya Sağlık Örgütü tarafından $PM_{2.5}$ için belirlenen yıllık ortalama limit değere (5 $\mu g/m^3$) yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, hem $PM_{2.5}$ hem de daha ince partiküllerin konsantrasyonlarının azaltımı için ülkemizde çok ciddi önlemlerin alınması gerektiğini göstermektedir. Bu ise ancak kirletici kaynaklarının belirlenmesi ve bu kaynakların kontrol altına alınması ile mümkündür. Ülkemizde en azından seçili şehirlerde PM kimyasal kompozisyonunun uzun dönem izlenmesi bu nedenle son derece önemlidir.

6. KAYNAKLAR

(Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.)

Aatmeeyata ve Sharma, M. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons, elemental and organic carbon emissions from tire-wear. *Science of The Total Environment*, *408*(20), 4563-4568. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2010.06.011

Ackermann, F. (1980). A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analyses of estuarine and coastal sediments. *Environmental Technology Letters*, *1*(11). doi:10.1080/09593338009384008

Air pollution. (t.y.). 23 Mayıs 2024 tarihinde https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 adresinden erişildi.

Air Quality Guidelines: Global Update 2005 : Particulate Matter, Ozone ... - World Health Organization. Regional Office for Europe, World Health Organization - Google Kitaplar. (t.y.). 4 Haziran 2024 tarihinde https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=7VbxUdlJE8wC&oi=fnd&pg=PR9&ots=w427uNRbyf&sig=Urur92lHUNtZuilqNg1etZmn5pA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false adresinden erişildi.

Akagi, S. K., Yokelson, R. J., Wiedinmyer, C., Alvarado, M. J., Reid, J. S., Karl, T., … Wennberg, P. O. (2011). Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *11*(9), 4039-4072. doi:10.5194/ACP-11-4039-2011

Akan, A. P. (2022). Transmission of COVID-19 pandemic (Turkey) associated with short-term exposure of air quality and climatological parameters. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(27), 41695-41712. doi:10.1007/s11356-021-18403-4

Akimoto, H. (2003). Global Air Quality and Pollution. *Science*. doi:10.1126/science.1092666

Amato, F., Van Drooge, B. L., Jaffrezo, J. L., Favez, O., Colombi, C., Cuccia, E., … Querol, X. (2024). Aerosol source apportionment uncertainty linked to the choice of input chemical components. *Environment International*, *184*, 108441. doi:10.1016/j.envint.2024.108441ï

Andreae, M. O. ve Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, *15*(4), 955-966. doi:10.1029/2000GB001382

AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 — IPCC. (t.y.). 27 Mayıs 2024 tarihinde https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/ adresinden erişildi.

Arangio, A. M., Slade, J. H., Berkemeier, T., Pöschl, U., Knopf, D. A. ve Shiraiwa, M. (2015). Multiphase Chemical Kinetics of OH Radical Uptake by Molecular Organic Markers of Biomass Burning Aerosols: Humidity and Temperature Dependence, Surface Reaction, and Bulk Diffusion. *The Journal of Physical Chemistry A*, *119*(19), 4533-4544. doi:10.1021/JP510489Z

Ari, A., Argante, J., Meliefste, K., Gaga, E. O., Devrim YAY, O., Örnektekin, S., … Madde, P. (2008). *İskenderun Ve Payas'ta Atmosferik PM_{10} Ve $PM_{2.5}$ Derişimlerinin İncelenmesi*

.

Arruti, A., Fernández-Olmo, I. ve Irabien, Á. (2010). Evaluation of the Contribution of Local Sources to Trace Metals Levels in Urban PM2.5 and PM_{10} in the Cantabria Region (Northern Spain). *Journal of Environmental Monitoring*. doi:10.1039/b926740a

Aslan Kılavuz, S., Bozkurt, Z. ve Öztürk, F. (2019). Characterization and source estimates of primary and secondary carbonaceous aerosols at urban and suburban atmospheres of Düzce, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(7). doi:10.1007/s11356-018-3998-3

Aydın, S., Nakiyingi, B. A., Esmen, C., Güneysu, S. ve Ejjada, M. (2021). Environmental impact of coronavirus (COVID-19) from Turkish perceptive. *Environment, Development and Sustainability*, *23*(5), 7573-7580. doi:10.1007/s10668-020-00933-5

Bae, M.-S., Schwab, J. J., Chen, W.-N., Lin, C.-Y., Rattigan, O. V. ve Demerjian, K. L. (2011). Identifying pollutant source directions using multiple analysis methods at a rural location in New York. *Atmospheric Environment*, *45*(15), 2531-2540. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.02.020

Bakian, A. V., Huber, R. S., Coon, H., Gray, D., Wilson, P., McMahon, W. M. ve Renshaw, P. F. (2015). Acute air pollution exposure and risk of suicide completion. *American Journal of Epidemiology*, *181*(5). doi:10.1093/aje/kwu341

Balls, P. W., Hull, S., Miller, B. S., Pirie, J. M. ve Proctor, W. (1997). Trace metal in Scottish estuarine and coastal sediments. *Marine Pollution Bulletin*, *34*(1). doi:10.1016/S0025-326X(96)00056-2

Baltaci, H. (2017). Spatial and Temporal Variation of the Extreme Saharan Dust Event Over Turkey in March 2016. *Atmosphere*. doi:10.3390/atmos8020041

Baltaci, H., Tumay, G. ve Labban, A. H. (2023). Impact of Drought Conditions on Air Pollution Over Turkey. *International Journal of Climatology*. doi:10.1002/joc.8050

Barbaro, E., Feltracco, M., De Blasi, F., Turetta, C., Radaelli, M., Cairns, W., … Gambaro, A. (2024). Chemical characterization of atmospheric aerosols at a high-altitude mountain site: a study of source apportionment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *24*(5), 2821-2835. doi:10.5194/acp-24-2821-2024

Barbieri, M. (2016). The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination. *Journal of Geology & Geophysics*, *5*(1). doi:10.4172/2381-8719.1000237

Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution | US EPA. (t.y.). 3 Haziran 2024 tarihinde https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#What%20is%20CO adresinden erişildi.

Beddows, D. C. S., Donovan, R. J., Harrison, R. M., Heal, M. R., Kinnersley, R. P., King, M. D., … Thompson, K. C. (2004). Correlations in the chemical composition of rural background atmospheric aerosol in the UK determined in real time using time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Environmental Monitoring*, *6*(2). doi:10.1039/b311209h

Begam, G. R., Vachaspati, C. V., Ahammed, Y. N., Kumar, K. R., Reddy, R. R., Sharma, S. K., … Mandal, T. K. (2017). Seasonal characteristics of water-soluble inorganic ions and

carbonaceous aerosols in total suspended particulate matter at a rural semi-arid site, Kadapa (India). *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(2). doi:10.1007/s11356-016-7917-1

Bell, M. L., Ebisu, K., Peng, R. D., Samet, J. M. ve Dominici, F. (2009). Hospital admissions and chemical composition of fine particle air pollution. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *179*(12). doi:10.1164/rccm.200808-1240OC

Bessagnet, B., Allemand, N., Putaud, J. P., Couvidat, F., André, J. M., Simpson, D., … Thunis, P. (2022). Emissions of Carbonaceous Particulate Matter and Ultrafine Particles from Vehicles—A Scientific Review in a Cross-Cutting Context of Air Pollution and Climate Change. *Applied Sciences (Switzerland)*. doi:10.3390/app12073623

Bhuyan, P., Deka, P., Prakash, A., Balachandran, S. ve Hoque, R. R. (2018a). Chemical characterization and source apportionment of aerosol over mid Brahmaputra Valley, India. *Environmental Pollution*, *234*. doi:10.1016/j.envpol.2017.12.009

Bhuyan, P., Deka, P., Prakash, A., Balachandran, S. ve Hoque, R. R. (2018b). Chemical characterization and source apportionment of aerosol over mid Brahmaputra Valley, India. *Environmental Pollution*, *234*, 997-1010. doi:10.1016/j.envpol.2017.12.009

Biegalski, S. R., Landsberger, S. ve Hoff, R. M. (1998). Source-receptor modeling using trace metals in aerosols collected at three rural canadian great lakes sampling stations. *Journal of the Air and Waste Management Association*, *48*(3). doi:10.1080/10473289.1998.10463680

Birch, M. E. ve Cary, R. A. (1996). Elemental Carbon-Based Method for Monitoring Occupational Exposures to Particulate Diesel Exhaust. *Aerosol Science and Technology*, *25*(3). doi:10.1080/02786829608965393

Bochenek, B., Jankowski, M., Gruszczynska, M., Nykiel, G., Gruszczynski, M., Jaczewski, A., … Pinkas, J. (2021). Impact of meteorological conditions on the dynamics of the COVID-19 pandemic in Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(8). doi:10.3390/ijerph18083951

Boğan, M., Kül, S., Al, B., Oktay, M. M., Elçi, M. A., Pinkerton, K. E. ve Bayram, H. (2022). Effect of Desert Dust Storms and Meteorological Factors on Respiratory Diseases. *Allergy*. doi:10.1111/all.15298

Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., Deangelo, B. J., … Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, *118*(11). doi:10.1002/jgrd.50171

Bressi, M., Sciare, J., Ghersi, V., Bonnaire, N., Nicolas, J. B., Petit, J. E., … Féron, A. (2013). A one-year comprehensive chemical characterisation of fine aerosol ($PM_{2.5}$) at urban, suburban and rural background sites in the region of Paris (France). *Atmospheric Chemistry and Physics*, *13*(15), 7825-7844. doi:10.5194/acp-13-7825-2013

Burtscher, H., Baltensperger, U., Bukowiecki, N., Cohn, P., Hüglin, C., Mohr, M., … Weingartner, E. (2001). Separation of volatile and non-volatile aerosol fractions by thermodesorption: instrumental development and applications. *Journal of Aerosol Science*, *32*(4), 427-442. doi:10.1016/S0021-8502(00)00089-6

Cabada, J. C., Pandis, S. N., Subramanian, R., Robinson, A. L., Polidori, A. ve Turpin, B. (2004). Estimating the Secondary Organic Aerosol Contribution to $PM_{2.5}$ Using the EC Tracer Method Special Issue of Aerosol Science and Technology on Findings from the Fine Particulate Matter Supersites Program. *Aerosol Science and Technology*, *38*(S1), 140-155. doi:10.1080/02786820390229084

Campbell, S. J., Stevanovic, S., Miljevic, B., Bottle, S. E., Ristovski, Z. ve Kalberer, M. (2019). Quantification of Particle-Bound Organic Radicals in Secondary Organic Aerosol. *Environmental Science and Technology*, *53*(12), 6729-6737. doi:10.1021/acs.est.9b00825

Carbon Monoxide's Impact on Indoor Air Quality | US EPA. (t.y.). 30 Mayıs 2024 tarihinde https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/carbon-monoxides-impact-indoor-air-quality adresinden erişildi.

Cavalli, F., Viana, M., Yttri, K. E., Genberg, J. ve Putaud, J. P. (2010). Toward a standardised thermal-optical protocol for measuring atmospheric organic and elemental carbon: The EUSAAR protocol. *Atmospheric Measurement Techniques*, *3*(1). doi:10.5194/amt-3-79-2010

Cesur, R., Tekin, E. ve Ulker, A. (2018). Can Natural Gas Save Lives? Evidence From the Deployment of a Fuel Delivery System in a Developing Country. *Journal of Health Economics*. doi:10.1016/j.jhealeco.2018.03.001

Chavan, P., Fadnavis, S., Chakroborty, T., Sioris, C. E., Griessbach, S. ve Müller, R. (2021). The outflow of Asian biomass burning carbonaceous aerosol into the upper troposphere and lower stratosphere in spring: Radiative effects seen in a global model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *21*(18), 14371-14384. doi:10.5194/ACP-21-14371-2021

Chen, P., Kang, S., Tripathee, L., Panday, A. K., Rupakheti, M., Rupakheti, D., … Pu, T. (2020). Severe air pollution and characteristics of light-absorbing particles in a typical rural area of the Indo-Gangetic Plain. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(10), 10617-10628. doi:10.1007/s11356-020-07618-6

Cheng, Y., He, K. bin, Duan, F. kui, Zheng, M., Du, Z. yu, Ma, Y. liang ve Tan, J. hua. (2011). Ambient organic carbon to elemental carbon ratios: Influences of the measurement methods and implications. *Atmospheric Environment*, *45*(12), 2060-2066. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2011.01.064

Chow, J. C., Watson, J. G., Crow, D., Lowenthal, D. H. ve Merrifield, T. (2001). Comparison of IMPROVE and NIOSH Carbon Measurements. *Aerosol Science and Technology*, *34*(1). doi:10.1080/02786820119073

Clouds and aerosols. (2013).*Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* içinde (C. 9781107057999). doi:10.1017/CBO9781107415324.016

Çapraz, Ö. ve Deniz, A. (2022). Effects of a Saharan Dust Episode on Emergency Attendances for Respiratory Diseases in İstanbul. doi:10.5772/intechopen.102620

Dai, W., Gao, J., Cao, G. ve Ouyang, F. (2013). Chemical composition and source identification of $PM_{2.5}$ in the suburb of Shenzhen, China. *Atmospheric Research*, *122*, 391-400. doi:10.1016/J.ATMOSRES.2012.12.004

Dehghani, M., Keshtgar, L., Javaheri, M. R., Derakhshan, Z., Conti, G. O., Zuccarello, P. ve Ferrante, M. (2017). The effects of air pollutants on the mortality rate of lung cancer and leukemia. *Molecular Medicine Reports*, *15*(5). doi:10.3892/mmr.2017.6387

Delaria, E. R. ve Cohen, R. C. (2023). Measurements of Atmosphere-Biosphere Exchange of Oxidized Nitrogen and Implications for the Chemistry of Atmospheric NOx. *Accounts of Chemical Research*, *56*(13). doi:10.1021/acs.accounts.3c00090

Deng, X. L., Shi, C. E., Wu, B. W., Yang, Y. J., Jin, Q., Wang, H. L., … Yu, C. (2016). Characteristics of the water-soluble components of aerosol particles in Hefei, China. *Journal of Environmental Sciences (China)*. doi:10.1016/j.jes.2015.07.010

Di, Q., Dai, L., Wang, Y., Zanobetti, A., Choirat, C., Schwartz, J. D. ve Dominici, F. (2017). Association of short-term exposure to air pollution with mortality in older adults. *JAMA - Journal of the American Medical Association*, *318*(24). doi:10.1001/jama.2017.17923

Diapouli, E., Manousakas, M., Vratolis, S., Vasilatou, V., Maggos, T., Saraga, D., … Eleftheriadis, K. (2017). Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM_{10} and $PM_{2.5}$ source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece. *Atmospheric Environment*, *164*. doi:10.1016/j.atmosenv.2017.06.016

Din, S. A. Mohd., Husin, N. B. M. ve Othman, R. (2018). Inhalable and Respirable Dust Concentration of Soiled Stone, Metal and Ceramic Artefact Inside National Museum Malaysia. *Planning Malaysia Journal*, *16*(6). doi:10.21837/PMJOURNAL.V16.I6.484

Dinçer, F. (2014). Estimating National Wildfire Emissions for the Last Decade in Turkey. *Environmental Engineering and Management Journal*. doi:10.30638/eemj.2014.328

Dockery, D. W. ve Pope, C. A. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*. doi:10.1146/annurev.pu.15.050194.000543

Doç, Y., Büyüköztürk, S., Üniversitesi, A., Bilimleri Fakültesi, E. ve Bölümü, E. B. (2002). *Faktör Analizi: Temel Kavramlar Ve Ölçek Geliştirmede Kullanımı*.

Domingos, J. S. S., Regis, A. C. D., Santos, J. V. S., de Andrade, J. B. ve da Rocha, G. O. (2012). A comprehensive and suitable method for determining major ions from atmospheric particulate matter matrices. *Journal of chromatography. A*, *1266*, 17-23. doi:10.1016/J.CHROMA.2012.08.074

Donzelli, G. ve Suarez-Varela, M. M. (2024). Tropospheric Ozone: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects. *Atmosphere*, *15*(7), 779. doi:10.3390/atmos15070779

Dreher, K. L. (2000). Particulate Matter Physicochemistry and Toxicology: In Search of Causality—A Critical Perspective. *Inhalation Toxicology*, *12*(sup3), 45-57. doi:10.1080/08958378.2000.11463230

Durukan, I., Bektas, S., Dogan, M. ve Fittschen, U. (2013). Analysis of trace elements in airborne particulate matters collected in Ankara, Turkey by TXRF. *E3S Web of Conferences* içinde (C. 1). doi:10.1051/e3sconf/20130120006

Dusek, U., Frank, G. P., Hildebrandt, L., Curtius, J., Schneider, J., Walter, S., … Andreae, M. O. (2006). Size Matters More Than Chemistry for Cloud-Nucleating Ability of Aerosol Particles. *Science*, *312*(5778), 1375-1378. doi:10.1126/SCIENCE.1125261

Elkama, A., Süküroğlu, A. A. ve Çakmak, G. (2021, 1 Aralık). Exposure to particulate matter: A brief review with a focus on cardiovascular effects, children, and research conducted in Turkey. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*. Sciendo. doi:10.2478/aiht-2021-72-3563

Fadnavis, S., Kalita, G., Ravi Kumar, K., Gasparini, B. ve Li, J. L. F. (2017). Potential impact of carbonaceous aerosol on the upper troposphere and lower stratosphere (UTLS) and precipitation during Asian summer monsoon in a global model simulation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *17*(18), 11637-11654. doi:10.5194/ACP-17-11637-2017

Fallmann, J., Forkel, R. ve Emeis, S. (2016). Secondary effects of urban heat island mitigation measures on air quality. *Atmospheric Environment*, *125*, 199-211. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.10.094

Fan, W., Xu, L. ve Zheng, H. (2022). Using Multisource Data to Assess $PM_{2.5}$ Exposure and Spatial Analysis of Lung Cancer in Guangzhou, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(5). doi:10.3390/IJERPH19052629

Faramarzi, P. (2017). *Determination of Chemical Composition in $PM_{2.5}$ Samples Collected In Urban And Semi-Urban Two Stations In Ankara*.

Finlayson-Pitts, B. J. ve Pitts, J. N. (2000). Global Tropospheric Chemistry and Climate Change. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere* içinde . doi:10.1016/b978-012257060-5/50016-2

Flores, R. M., Mertoğlu, E., Özdemir, H., Akkoyunlu, B. O., Demir, G., Ünal, A. ve Tayanç, M. (2020). A high-time resolution study of $PM_{2.5}$, organic carbon, and elemental carbon at an urban traffic site in Istanbul. *Atmospheric Environment*, *223*, 117241. doi:10.1016/j.atmosenv.2019.117241

Fofie, E. A., Donahue, N. M. ve Asa-Awuku, A. (2018). Cloud condensation nuclei activity and droplet formation of primary and secondary organic aerosol mixtures. *Aerosol Science and Technology*, *52*(2), 242-251. doi:10.1080/02786826.2017.1392480

Gaarenstroom, P. D., Perone, S. P. ve Moyers, J. L. (1977). Application of Pattern Recognition and Factor Analysis for Characterization of Atmospheric Particulate Composition in Southwest Desert Atmosphere. *Environmental Science and Technology*, *11*(8), 795-800. doi:10.1021/ES60131A003/ASSET/ES60131A003.FP.PNG_V03

Galindo, N., Yubero, E., Clemente, Á., Nicolás, J. F., Varea, M. ve Crespo, J. (2020). PM events and changes in the chemical composition of urban aerosols: A case study in the western Mediterranean. *Chemosphere*, *244*, 125520. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.125520

Gao, K., Wang, S., Li, R., Dong, F., Zheng, Y. ve Li, Y. (2024). Pesticides in Greenhouse Airborne Particulate Matter: Occurrence, Distribution, Transformation Products, and Potential Human Exposure Risks. *Environmental Science and Technology*, *58*(3). doi:10.1021/acs.est.3c06270

Gao, T., Liu, F., Wang, Y., Mu, S. ve Qiu, L. (2020). Reduction of atmospheric suspended particulate matter concentration and influencing factors of green space in Urban forest park. *Forests*, *11*(9). doi:10.3390/f11090950

Gao, X., Yang, L., Cheng, S., Gao, R., Zhou, Y., Xue, L., … Wang, W. (2011). Semi-continuous measurement of water-soluble ions in $PM_{2.5}$ in Jinan, China: Temporal variations and source apportionments. *Atmospheric Environment*, *45*(33), 6048-6056. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2011.07.041

Gelinas, Y., Prentice, K. M., Baldock, J. A. ve Hedges, J. I. (2001). An improved thermal oxidation method for the quantification of soot/graphitic black carbon in sediments and soils. *Environmental Science and Technology*, *35*(17). doi:10.1021/es010504c

Genc, D. D., Yesilyurt, C. ve Tuncel, G. (2010). Air pollution forecasting in Ankara, Turkey using air pollution index and its relation to assimilative capacity of the atmosphere. *Environmental Monitoring and Assessment*, *166*(1-4). doi:10.1007/s10661-009-0981-y

Gkaras, S., Triantafyllou, E., Dougali, A., Diamantopoulos, C., Tolis, E. ve Triantafyllou, A. (2023). Source Apportionment of the Atmospheric Aerosol in Western Macedonia, GREECE, Part 1: Concentrations of Metallic Components, Major Ions, and PAHs in PM_{10} Samples. doi:10.3390/environsciproc2023026085

Goli, T. (2017). *Identification and Source Apportionment of Trace Elements in Urban And Suburban Area of Ankara A Thesis Submitted To The Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University*.

Gope, M., Masto, R. E., George, J. ve Balachandran, S. (2018). Tracing source, distribution and health risk of potentially harmful elements (PHEs) in street dust of Durgapur, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *154*. doi:10.1016/j.ecoenv.2018.02.042

Górka, M., Kosztowniak, E. (2015). Assessing environmental anthropogenic pressure in Lower Silesia based on atmospheric PM_{10}: carbon isotopic and OC/EC ratio approach. *XXIInd Meeting of the Petrology Group of the Mineralogical Society of Poland At: Sandomierz* içinde .

Górka, M., Kosztowniak, E., Lewandowska, A. U. ve Widory, D. (2020). Carbon isotope compositions and TC/OC/EC levels in atmospheric PM_{10} from Lower Silesia (SW Poland): Spatial variations, seasonality, sources and implications. *Atmospheric Pollution Research*, *11*(7), 1099-1114. doi:10.1016/j.apr.2020.04.003

Guerreiro, C. B. B., Foltescu, V. ve de Leeuw, F. (2014). Air quality status and trends in Europe. *Atmospheric Environment*, *98*, 376-384. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.09.017

Guo, P., Su, Y., Sun, X., Liu, C., Cui, B., Xu, X., … Wang, X. (2024). Urban–Rural Comparisons of Biogenic Volatile Organic Compounds and Ground-Level Ozone in Beijing. *Forests*, *15*(3). doi:10.3390/f15030508

Guo, W., Zhang, Z., Zheng, N., Luo, L., Xiao, H. ve Xiao, H. (2020). Chemical characterization and source analysis of water-soluble inorganic ions in $PM_{2.5}$ from a plateau city of Kunming at different seasons. *Atmospheric Research*, *234*, 104687. doi:10.1016/J.ATMOSRES.2019.104687

Gurjar, B. R., Ravindra, K. ve Nagpure, A. S. (2016). Air pollution trends over Indian megacities and their local-to-global implications. *Atmospheric Environment*. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.06.030

Güllü, G. ve Tuncel, G. (2004). *The use of nuclear techniques in source apportionment studies, exemplified by recent studies in Turkey*. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (C. 259).

Hansen, J., Bond, T., Cairns, B., Gaeggler, H., Liepert, B., Novakov, T. ve Schichtel, B. (2004). Carbonaceous aerosols in the industrial era. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *85*(25). doi:10.1029/2004EO250001

Harrison, R. M., Jones, A. M. ve Lawrence, R. G. (2004). Major component composition of PM_{10} and $PM_{2.5}$ from roadside and urban background sites. *Atmospheric Environment*, *38*(27), 4531-4538. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2004.05.022

Harrison, R. M. ve Yin, J. (2000). Particulate matter in the atmosphere: Which particle properties are important for its effects on health? *Science of the Total Environment*, *249*(1-3). doi:10.1016/S0048-9697(99)00513-6

He, K., Zhao, Q., Ma, Y., Duan, F., Yang, F., Shi, Z. ve Chen, G. (2012). Spatial and seasonal variability of PM 2.5 acidity at two Chinese megacities: Insights into the formation of secondary inorganic aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *12*(3), 1377-1395. doi:10.5194/acp-12-1377-2012

He, Q., Yan, Y., Guo, L., Zhang, Y., Zhang, G. ve Wang, X. (2017). Characterization and source analysis of water-soluble inorganic ionic species in $PM_{2.5}$ in Taiyuan city, China. *Atmospheric Research*, *184*, 48-55. doi:10.1016/J.ATMOSRES.2016.10.008

Hettiyadura, A. P. S., Xu, L., Jayarathne, T., Skog, K., Guo, H., Weber, R. J., … Stone, E. A. (2018). Source apportionment of organic carbon in Centreville, AL using organosulfates in organic tracer-based positive matrix factorization. *Atmospheric Environment*, *186*, 74-88. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2018.05.007

Hinds, W. C. ve Zhu, Y. (2022). Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, 3rd Edition | Wiley, 448. https://www.wiley.com/en-us/Aerosol+Technology%3A+Properties%2C+Behavior%2C+and+Measurement+of+Airborne+Particles%2C+3rd+Edition-p-9781119494041 adresinden erişildi.

Hopke, P. K., Gladney, E. S., Gordon, G. E., Zoller, W. H. ve Jones, A. G. (1976). The use of multivariate analysis to identify sources of selected elements in the Boston urban aerosol. *Atmospheric Environment (1967)*, *10*(11), 1015-1025. doi:10.1016/0004-6981(76)90211-0

Hu, X., Zhang, Y., Ding, Z., Wang, T., Lian, H., Sun, Y. ve Wu, J. (2012). Bioaccessibility and health risk of arsenic and heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Mn) in TSP and $PM_{2.5}$ in Nanjing, China. *Atmospheric Environment*, *57*. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.04.056

Huang, S., Feng, H., Zuo, S., Liao, J., He, M., Shima, M., … Ma, L. (2019). Short-term effects of carbonaceous components in $PM_{2.5}$ on pulmonary function: A panel study of 37 Chinese healthy adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(13). doi:10.3390/ijerph16132259

Huang, Y., Wu, S., Dubey, M. K. ve French, N. H. F. (2012). Impact of aging mechanism on model simulated aerosols Atmospheric Chemistry and Physics Discussions Impact of aging mechanism on model simulated carbonaceous aerosols Impact of aging mechanism on model simulated aerosols. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, *12*, 28993-29023. doi:10.5194/acpd-12-28993-2012

Husain, L., Khan, A. J., Ahmed, T., Swami, K., Bari, A., Webber, J. S. ve Li, J. (2008). Trends in atmospheric elemental carbon concentrations from 1835 to 2005. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, *113*(13). doi:10.1029/2007JD009398

Hussain, M., Madl, P., Alam, K. ve Khan, A. (2011). Lung deposition predictions of airborne particles and the emergence of contemporary diseases – Part I. *theHealth*, *2*(2), 51-59. https://uni-salzburg.elsevierpure.com/en/publications/lung-deposition-predictions-of-airborne-particles-and-the-emergen adresinden erişildi.

Islam, N., Bora, M., Saikia, M., Boruah, A., Roy, K., Konwar, R. ve Saikia, B. K. (2022). Environmental evaluation of carbon dot and fullerene formation in atmospheric particulate matter (PM_{10}): observations from their free radical scavenging and electrochemical studies. *Environmental Science: Nano*, *10*(1). doi:10.1039/d2en00588c

Jacob, D. J. ve Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, *43*(1). doi:10.1016/j.atmosenv.2008.09.051

Jacobson, M. Z. (2002). Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possibly the most effective method of slowing global warming. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, *107*(19). doi:10.1029/2001JD001376

Jaffe, L. S. (1968). Ambient carbon monoxide and its fate in the atmosphere. *Journal of the Air Pollution Control Association*, *18*(8). doi:10.1080/00022470.1968.10469168

Jia, X., Shen, Z., Liu, R., Han, Y., Yang, Y., Chen, Q. ve Duan, N. (2022). Association of fine particulate matter to allergic rhinitis: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Inflammation*. doi:10.1177/1721727X221089839

Jiang, J., Hou, L., Yan, X., Liu, H., Sun, S., Li, S., … Zhao, W. (2022). Simultaneous Measurements of Carbonaceous Aerosol in Three Major Cities in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, China. *Aerosol and Air Quality Research*, *22*(8). doi:10.4209/AAQR.220056

Jimenez, J. L., Canagaratna, M. R., Donahue, N. M., Prevot, A. S. H., Zhang, Q., Kroll, J. H., … Worsnop, D. R. (2009). Evolution of organic aerosols in the atmosphere. *Science*, *326*(5959). doi:10.1126/science.1180353

John H. Seinfeld ve Spyros N. Pandis. (2006). Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution-From Air Pollution to Climate Change (2nd Edition, John Wiley & Sons. https://www.wiley.com/en-us/Atmospheric+Chemistry+and+Physics%3A+From+Air+Pollution+to+Climate+Change%2C+3rd+Edition-p-9781118947401 adresinden erişildi.

Jones, A. M. ve Harrison, R. M. (2005). Interpretation of particulate elemental and organic carbon concentrations at rural, urban and kerbside sites. *Atmospheric Environment*, *39*(37), 7114-7126. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2005.08.017

Joo, Y. S., Kim, J., Lee, J. ve Chung, I. J. (2022). Fine particulate matter and depressive symptoms in children: A mediation model of physical activity and a moderation model of family poverty. *SSM - Population Health*, *17*. doi:10.1016/j.ssmph.2021.101015

Juncosa Calahorrano, J. F., Lindaas, J., O'Dell, K., Palm, B. B., Peng, Q., Flocke, F., … Fischer, E. V. (2021). Daytime Oxidized Reactive Nitrogen Partitioning in Western U.S. Wildfire Smoke Plumes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *126*(4). doi:10.1029/2020JD033484

Jurányi, Z., Gysel, M., Weingartner, E., Bukowiecki, N., Kammermann, L. ve Baltensperger, U. (2011). A 17 month climatology of the cloud condensation nuclei number concentration at the high alpine site Jungfraujoch. *Journal of Geophysical Research*, *116*(D10). doi:10.1029/2010JD015199

Kanakidou, M., Seinfeld, J. H., Pandis, S. N., Barnes, I., Dentener, F. J., Facchini, M. C., … Wilson, J. (2005). Organic aerosol and global climate modelling: A review. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *5*(4), 1053-1123. doi:10.5194/ACP-5-1053-2005

Kaplan, G. ve Avdan, Z. Y. (2020). COVID-19: Spaceborne Nitrogen Dioxide Over Turkey. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology a - Applied Sciences and Engineering*. doi:10.18038/estubtda.724450

Karpinski, C. D. (2015). Development and Initial Application of Low-Molecular Weight Organic Acids and Inorganic Ionic Species in Aerosol Particulate Matter via Ion Chromatography. doi:10.15760/HONORS.136

Keleş, M. (2014). *Bolu'da İki Farkli İstasyonda Toplanan Pm_{10} Örneklerinin Kimyasal Kompozisyonunun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi*.

Keleş Özgül, M. (2022). *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dali Atmosferik Partikül ($PM_{2.5}$) Ve Gaz Fazli (O_3 Ve Nox) Kirleticilerin Seviyelerinin, Kaynaklarinin, Mekânsal Ve Zamansal Değişimlerinin İncelenmesi: Dilovasi Örneği Doktora Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi*.

Koçak, E. (2017). Determination Of Organic Particle Composition in Ankara Atmosphere And Investigation Of Their Contribution To Receptor Modeling A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University.

Koçak, E., Kılavuz, S. A., Öztürk, F., İmamoğlu, İ. ve Tuncel, G. (2021). Characterization and source apportionment of carbonaceous aerosols in fine particles at urban and suburban atmospheres of Ankara, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(20), 25701-25715. doi:10.1007/s11356-020-12295-6

Koçak, M., Theodosi, C., Zarmpas, P., Im, U., Bougiatioti, A., Yenigun, O. ve Mihalopoulos, N. (2011). Particulate matter (PM_{10}) in Istanbul: Origin, source areas and potential impact on surrounding regions. *Atmospheric Environment*, *45*(38), 6891-6900. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.10.007

Krall, J. R., Brooke Anderson, G., Dominici, F., Bell, M. L. ve Peng, R. D. (2013). Short-term exposure to particulate matter constituents and mortality in a national study of U.S. urban communities. *Environmental Health Perspectives*, *121*(10). doi:10.1289/ehp.1206185

Kuloglu, E. ve Tuncel, G. (2005). Size distribution of trace elements and major ions in the eastern Mediterranean atmosphere. *Water, Air, and Soil Pollution*, *167*(1-4), 221-241. doi:10.1007/S11270-005-8651-3/METRICS

Kurkcuoglu, M. A. S. ve Zengin, B. N. (2021). Spatio-temporal modelling of the change of residential-induced PM_{10} pollution through substitution of coal with natural gas in domestic heating. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(19). doi:10.3390/su131910870

Lee, D. S., Garland, J. A. ve Fox, A. A. (1994). Atmospheric concentrations of trace elements in urban areas of the United Kingdom. *Atmospheric Environment*, *28*(16), 2691-2713. doi:10.1016/1352-2310(94)90442-1

Leighton, P. (1962). Philip A. Leighton: Photochemistry of Air Pollution, Academic Press. New York und London 1961. 300 Seiten. Preis: $ 11. *Zeitschrift für Elektrochemie, Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie*, *66*(3), 279-279. doi:10.1002/BBPC.19620660323

Li, G., Hu, W., Lu, H., Liu, J., Li, X., He, J., … Huang, F. (2023). Maternal exposure to extreme high-temperature, particulate air pollution and macrosomia in 14 countries of Africa. *Pediatric Obesity*, *18*(4). doi:10.1111/ijpo.13004

Li, H., He, Q. ve Liu, X. (2020). Identification of long-range transport pathways and potential source regions of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at akedala station, central asia. *Atmosphere*, *11*(11). doi:10.3390/atmos11111183

Li, J., Khan, A. J. ve Husain, L. (2002). A technique for determination of black carbon in cellulose filters. *Atmospheric Environment*, *36*(29), 4699-4704. doi:10.1016/S1352-2310(02)00261-3

Li, M., Yu, S., Chen, X., Li, Z., Zhang, Y., Song, Z., … Seinfeld, J. H. (2022). Impacts of condensable particulate matter on atmospheric organic aerosols and fine particulate matter ($PM_{2.5}$) in China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *22*(17). doi:10.5194/acp-22-11845-2022

Li, N., Sioutas, C., Cho, A., Schmitz, D., Misra, C., Sempf, J., … Nel, A. (2003). Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. *Environmental Health Perspectives*, *111*(4). doi:10.1289/ehp.6000

Li, T., Jiang, S. ve Yang, Y. (2018). Letter by Li et al regarding article, "Particulate matter exposure and stress hormone levels: A randomized, double-blind, crossover trial of air purification". *Circulation*. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.117.031385

Li, X., Wang, S., Duan, L., Hao, J. ve Nie, Y. (2009). Carbonaceous aerosol emissions from household biofuel combustion in China. *Environmental Science and Technology*, *43*(15), 6076-6081. doi:10.1021/es803330j

Liang, S., Wu, H. ve Sun, H. (2014). Determination of Trace Elements in Airborne PM_{10} by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *International Journal of Environmental Science and Technology*. doi:10.1007/s13762-014-0513-3

Lipsett, M. J., Ostro, B. D., Reynolds, P., Goldberg, D., Hertz, A., Jerrett, M., … Bernstein, L. (2011). Long-term exposure to air pollution and cardiorespiratory disease in the California

teachers study cohort. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *184*(7). doi:10.1164/rccm.201012-2082OC

Liu, K., Shang, Q., Wan, C., Song, P., Ma, C. ve Cao, L. (2017). Characteristics and sources of heavy metals in $PM_{2.5}$ during a typical haze episode in rural and urban areas in Taiyuan, China. *Atmosphere*, *9*(1). doi:10.3390/atmos9010002

Liu, Y., Li, H., Cui, S., Nie, D., Chen, Y. ve Ge, X. (2021). Chemical characteristics and sources of water-soluble organic nitrogen species in $PM_{2.5}$ in Nanjing, China. *Atmosphere*, *12*(5). doi:10.3390/atmos12050574

Lohmann, U. ve Feichter, J. (2005). Global indirect aerosol effects: a review. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *5*(3), 715-737. doi:10.5194/ACP-5-715-2005

Loring, D. H., Næs, K., Dahle, S., Matishov, G. G. ve Illin, G. (1995). Arsenic, trace metals, and organic micro contaminants in sediments from the Pechora Sea, Russia. *Marine Geology*, *128*(3-4). doi:10.1016/0025-3227(95)00091-C

Lotrecchiano, N., Ricciardi, M., Pironti, C., Bergomi, A., Comite, V., Guglielmi, V., … Proto, A. (2022). Comparison process of air quality measurement systems applied to the context of cultural heritage. *2022 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, MetroArchaeo 2022* içinde . doi:10.21014/tc4-arc-2022.014

Lu, G. X. ve Guo, X. L. (2012). Distribution and origin of aerosol and its transform relationship with CCN derived from the spring multi-aircraft measurements of Beijing Cloud Experiment (BCE). *Chinese Science Bulletin*, *57*(19), 2460-2469. doi:10.1007/S11434-012-5136-9

Malig, B. J., Pearson, D. L., Chang, Y. B., Broadwin, R., Basu, R., Green, R. S. ve Ostro, B. (2016). A time-stratified case-crossover study of ambient ozone exposure and emergency department visits for specific respiratory diagnoses in California (2005-2008). *Environmental Health Perspectives*, *124*(6). doi:10.1289/ehp.1409495

Manangama, G., Gramond, C., Audignon-Durand, S., Baldi, I., Fabro-Peray, P., Gilg Soit Ilg, A., … Lacourt, A. (2020). Occupational exposure to unintentionally emitted nanoscale particles and risk of cancer: From lung to central nervous system - Results from three French case-control studies. *Environmental Research*, *191*. doi:10.1016/j.envres.2020.110024

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A. ve Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, *8*. doi:10.3389/FPUBH.2020.00014

Mantecca, P., Gualtieri, M., Longhin, E., Bestetti, G., Palestini, P., Bolzacchini, E. ve Camatini, M. (2012). Adverse biological effects of Milan urban PM looking for suitable molecular markers of exposure. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, *18*(4-2). doi:10.2298/ciceq120206114m

Marrocchino, E., Telloli, C. ve Rizzo, A. (2021). Chemical characterization of particulate matter in the renaissance city of ferrara. *Geosciences (Switzerland)*, *11*(6). doi:10.3390/geosciences11060227

Mason, B. (t.y.). *Mason, B. (1966) Principles of Geochemistry. 3rd Edition, New York.*

McFiggans, G., Mentel, T. F., Wildt, J., Pullinen, I., Kang, S., Kleist, E., … Kiendler-Scharr, A. (2019). Secondary organic aerosol reduced by mixture of atmospheric vapours. *Nature*, *565*(7741), 587-593. doi:10.1038/s41586-018-0871-y

Monks, P. S., Granier, C., Fuzzi, S., Stohl, A., Williams, M. L., Akimoto, H., … von Glasow, R. (2009, Ekim). Atmospheric composition change - global and regional air quality. *Atmospheric Environment*. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.08.021

Mutua, F. N., Njogu, P. ve Kanali, C. (2021). Distribution and Concentrations of Heavy Metals in Tropospheric Suspended Particulate Matter (PM_{10}) in Nairobi City, Kenya. *Open Journal of Applied Sciences*. doi:10.4236/ojapps.2021.118066

O'Dowd, C. D. ve De Leeuw, G. (2007). Marine aerosol production: A review of the current knowledge. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. doi:10.1098/rsta.2007.2043

Orak, N. H. ve Ozdemir, O. (2021). The impacts of COVID-19 lockdown on PM_{10} and SO_2 concentrations and association with human mobility across Turkey. *Environmental Research*, *197*, 111018. doi:10.1016/J.ENVRES.2021.111018

Oruc, I. (2022). Long-Range Transport and Potential Source Regions of $PM_{2.5}$ During the Autumn Season in Edirne, Türkiye. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*. doi:10.51753/flsrt.1113251

Ostro, B., Broadwin, R., Green, S., Feng, W. Y. ve Lipsett, M. (2006). Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: Results from CALFINE. *Environmental Health Perspectives*, *114*(1). doi:10.1289/ehp.8335

Ostro, B., Lipsett, M., Reynolds, P., Goldberg, D., Hertz, A., Garcia, C., … Bernstein, L. (2010). Long-term exposure to constituents of fine particulate air pollution and mortality: Results from the California Teachers Study. *Environmental Health Perspectives*, *118*(3). doi:10.1289/ehp.0901181

Ozdemir, M. T. ve Ertas, S. (2011). Desert dust transportation on particulate matter concentrations: A case study in Ankara. *Turkish Bulletin of Hygiene and Experimental Biology*, *68*(1), 23-34. doi:10.5505/turkhijyen.2011.91885

Öztürk, F. ve Keleş, M. (2016). Wintertime chemical compositions of coarse and fine fractions of particulate matter in Bolu, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*(14). doi:10.1007/s11356-016-6584-6

Öztürk, F., Zararsz, A., Dutkiewicz, V. A., Husain, L., Hopke, P. K. ve Tuncel, G. (2012). Temporal variations and sources of Eastern Mediterranean aerosols based on a 9-year observation. *Atmospheric Environment*, *61*. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.07.051

Öztürk, F. (2009). *Investigation Of Short and Long Term Trends In The Eastern Mediterranean Aerosol Composition A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University*.

Pankow, J. F. ve Asher, W. E. (2008). SIMPOL.1: A simple group contribution method for predicting vapor pressures and enthalpies of vaporization of multifunctional organic compounds. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *8*(10). doi:10.5194/acp-8-2773-2008

Paoletti, L., De Berardis, B. ve Diociaiuti, M. (2002). Physico-chemical characterisation of the inhalable particulate matter (PM_{10}) in an urban area: an analysis of the seasonal trend. *The Science of the Total Environment*, *292*, 265-275.

Peled, R. (2011). Air pollution exposure: Who is at high risk? *Atmospheric Environment*, *45*(10), 1781-1785. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2011.01.001

Peng, X., Hao, Q., Wen, T., Ji, D., Liu, Z., Wang, Y., … Jiang, C. (2018). Characteristics of organic carbon and elemental carbon in atmospheric aerosols in the urban area in Beibei, a suburb of Chongqing. *Aerosol and Air Quality Research*, *18*(11), 2764-2774. doi:10.4209/aaqr.2017.11.0450

Perrone, M. G., Vratolis, S., Georgieva, E., Török, S., Šega, K., Veleva, B., … Belis, C. A. (2018). Sources and geographic origin of particulate matter in urban areas of the Danube macro-region: The cases of Zagreb (Croatia), Budapest (Hungary) and Sofia (Bulgaria). *Science of the Total Environment*, *619-620*. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.11.092

Pio, C., Alves, C., Nunes, T., Cerqueira, M., Lucarelli, F., Nava, S., … Querol, X. (2020). Source apportionment of $PM_{2.5}$ and PM_{10} by Ionic and Mass Balance (IMB) in a traffic-influenced urban atmosphere, in Portugal. *Atmospheric Environment*, *223*. doi:10.1016/j.atmosenv.2019.117217

Poh, T. Y., Ali, N. A. T. B. M., Mac Aogáin, M., Kathawala, M. H., Setyawati, M. I., Ng, K. W. ve Chotirmall, S. H. (2018). Inhaled nanomaterials and the respiratory microbiome: Clinical, immunological and toxicological perspectives. *Particle and Fibre Toxicology*, *15*(1). doi:10.1186/s12989-018-0282-0

Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K. ve Thurston, G. D. (t.y.). *Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution*. http://jama.jamanetwork.com/ adresinden erişildi.

Poulakis, E., Theodosi, C., Bressi, M., Sciare, J., Ghersi, V. ve Mihalopoulos, N. (2015). Airborne mineral components and trace metals in Paris region: spatial and temporal variability. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(19), 14663-14672. doi:10.1007/s11356-015-4679-0

Pöschl, U. (2005). Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects. *Angewandte Chemie - International Edition*. doi:10.1002/anie.200501122

Putaud, J. P., Van Dingenen, R., Alastuey, A., Bauer, H., Birmili, W., Cyrys, J., … Raes, F. (2010). A European aerosol phenomenology – 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe. *Atmospheric Environment*, *44*(10), 1308-1320. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2009.12.011

Qu, H., Lu, X., Liu, L. ve Ye, Y. (2023). Effects of traffic and urban parks on PM_{10} and $PM_{2.5}$ mass concentrations. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, *45*(2). doi:10.1080/15567036.2019.1672833

Quinn, P. K. ve Bates, T. S. (2011). The case against climate regulation via oceanic phytoplankton sulphur emissions. *Nature*, *480*(7375), 51-56. doi:10.1038/NATURE10580

Ram, K., Sarin, M. M., Sudheer, A. K. ve Rengarajan, R. (2012). Carbonaceous and secondary inorganic aerosols during wintertime fog and haze over urban sites in the Indo-Gangetic plain. *Aerosol and Air Quality Research*, *12*(3), 355-366. doi:10.4209/aaqr.2011.07.0105

Ramírez, O., Sánchez de la Campa, A. M. ve de la Rosa, J. (2018). Characteristics and temporal variations of organic and elemental carbon aerosols in a high–altitude, tropical Latin American megacity. *Atmospheric Research*, *210*, 110-122. doi:10.1016/j.atmosres.2018.04.006

Raub, J. A., Mathieu-Nolf, M., Hampson, N. B. ve Thom, S. R. (2000). Carbon monoxide poisoning - A public health perspective. *Toxicology*, *145*(1). doi:10.1016/S0300-483X(99)00217-6

Rengarajan, R., Sudheer, A. K. ve Sarin, M. M. (2011). Wintertime $PM_{2.5}$ and PM_{10} carbonaceous and inorganic constituents from urban site in western India. *Atmospheric Research*, *102*(4). doi:10.1016/j.atmosres.2011.09.005

Resmî Gazete. (t.y.). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/06/20080606-6.htm adresinden erişildi.

Romano, S., Perrone, M. R., Becagli, S., Pietrogrande, M. C., Russo, M., Caricato, R. ve Lionetto, M. G. (2020). Ecotoxicity, genotoxicity, and oxidative potential tests of atmospheric PM_{10} particles. *Atmospheric Environment*, *221*. doi:10.1016/j.atmosenv.2019.117085

Roscoe, B. A., Hopke, P. K., Dattner, S. L. ve Jenks, J. M. (1982). The Use of Principal Component Factor Analysis to Interpret Particulate Compositional Data Sets. *Journal of the Air Pollution Control Association*, *32*(6). doi:10.1080/00022470.1982.10465439

Ryan, J. D. ve Windom, H. L. (1988). A geochemical and statistical approach for assessing metal pollution in coastal sediments. *Metals in coastal environments of Latin America*. doi:10.1007/978-3-642-71483-2_6

Saarikoski, S., Timonen, H., Saarnio, K., Aurela, M., Järvi, L., Keronen, P., … Hillamo, R. (2008). *Atmospheric Chemistry and Physics Sources of organic carbon in fine particulate matter in northern European urban air*. *Atmos. Chem. Phys* (C. 8). www.atmos-chem-phys.net/8/6281/2008/ adresinden erişildi.

Salma, I., Balásházy, I., Winkler-Heil, R., Hofmann, W. ve Záray, G. (2002). Effect of particle mass size distribution on the deposition of aerosols in the human respiratory system. *Journal of Aerosol Science*, *33*(1). doi:10.1016/S0021-8502(01)00154-9

Schaap, M., van Loon, M., ten Brink, H. M., Dentener, F. J. ve Builtjes, P. J. H. (2004). Secondary inorganic aerosol simulations for Europe with special attention to nitrate. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *4*(3). doi:10.5194/acp-4-857-2004

Schauer, J. J., Christensen, C. G., Kittelson, D. B., Johnson, J. P. ve Watts, W. F. (2008). Impact of ambient temperatures and driving conditions on the chemical composition of particulate matter emissions from non-smoking gasoline-powered motor vehicles. *Aerosol Science and Technology*, *42*(3). doi:10.1080/02786820801958742

Schauer, James J., Kleeman, M. J., Cass, G. R. ve Simoneit, B. R. T. (2001). Measurement of emissions from air pollution sources. 3. C1-C29 organic compounds from fireplace combustion of wood. *Environmental Science and Technology*, *35*(9). doi:10.1021/es001331e

Schreck, E., Foucault, Y., Sarret, G., Sobanska, S., Cécillon, L., Castrec-Rouelle, M., … Dumat, C. (2012). Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout: Mechanisms involved for lead. *Science of The Total Environment*, *427-428*, 253-262. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2012.03.051

Schwartz, J., Dockery, D. W. ve Neas, L. M. (1996). Is Daily Mortality Associated Specifically with Fine Particles? *Journal of the Air and Waste Management Association*, *46*(10), 927-939. doi:10.1080/10473289.1996.10467528

Seibert, R., Nikolova, I., Volná, V., Krejčí, B. ve Hladký, D. (2020). Air pollution sources' contribution to $PM_{2.5}$ concentration in the Northeastern Part of the Czech Republic. *Atmosphere*, *11*(5). doi:10.3390/atmos11050522

Shanmuga Priyan, R., Peter, A. E., Menon, J. S., George, M., Shiva Nagendra, S. M. ve Khare, M. (2022). Vertical distribution of PM_{10} and $PM_{2.5}$ emission sources and chemical composition during winter period in Delhi city. *Air Quality, Atmosphere and Health*, *15*(2), 255-271. doi:10.1007/s11869-021-01092-w

Sharma, R. ve Pervez, S. (2004). A Case Study of Spatial Variation and Enrichment of Selected Elements in Ambient Particulate Matter Around a Large Coal-Fired Power Station in Central India. *Environmental Geochemistry and Health*. doi:10.1007/s10653-005-6369-1

Sharma, S. K., Kumar, M., Rohtash, Gupta, N. C., Saraswati, Saxena, M. ve Mandal, T. K. (2014). Characteristics of ambient ammonia over Delhi, India. *Meteorology and Atmospheric Physics*, *124*(1-2), 67-82. doi:10.1007/s00703-013-0299-8

Sharma, S. K., Mandal, T. K., Saxena, M., Rashmi, Sharma, A., Datta, A. ve Saud, T. (2014). Variation of OC, EC, WSIC and trace metals of PM_{10} in Delhi, India. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, *113*, 10-22. doi:10.1016/J.JASTP.2014.02.008

Shen, Z., Cao, J., Arimoto, R., Han, Z., Zhang, R., Han, Y., … Tanaka, S. (2009). Ionic composition of TSP and $PM_{2.5}$ during dust storms and air pollution episodes at Xi'an, China. *Atmospheric Environment*, *43*(18), 2911-2918. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2009.03.005

SİM (Sürekli İzleme Merkezi) | T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 23 Ağustos 2024 tarihinde https://sim.csb.gov.tr/ adresinden erişildi.

Sinex, S. A. ve Wright, D. A. (1988). Distribution of trace metals in the sediments and biota of Chesapeake Bay. *Marine Pollution Bulletin*, *19*(9), 425-431. doi:10.1016/0025-326X(88)90397-9

Siudek, P. (2024). Chemical composition and source apportionment of ambient $PM_{2.5}$ in a coastal urban area, Northern Poland. *Chemosphere*, *356*. doi:10.1016/j.chemosphere.2024.141850

Sofia, D., Gioiella, F., Lotrecchiano, N. ve Giuliano, A. (2020). Mitigation strategies for reducing air pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(16), 19226-19235. doi:10.1007/S11356-020-08647-X

Sompornrattanaphan, M., Thongngarm, T., Ratanawatkul, P., Wongsa, C. ve Swigris, J. J. (2020). The contribution of particulate matter to respiratory allergy. *Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology*. doi:10.12932/AP-100619-0579

Sówka, I., Chlebowska-Stys, A., Pachurka, Ł., Rogula-Kozłowska, W. ve Mathews, B. (2019). Analysis of particulate matter concentration variability and origin in selected urban areas in Poland. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(20). doi:10.3390/su11205735

Spracklen, D. V., Carslaw, K. S., Pöschl, U., Rap, A. ve Forster, P. M. (2011). Global cloud condensation nuclei influenced by carbonaceous combustion aerosol. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *11*(17), 9067-9087. doi:10.5194/ACP-11-9067-2011

Spurny, K. R. (1999). *Analytical Chemistry of Aerosols*.

Steinfeld, J. I. (1998). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, *40*(7), 26-26. doi:10.1080/00139157.1999.10544295

Stieb, D. M., Judek, S. ve Burnett, R. T. (2002). Meta-Analysis of Time-Series Studies of Air Pollution and Mortality: Effects of Gases and Particles and the Influence of Cause of Death, Age, and Season. *Journal of the Air &Amp; Waste Management Association*, *52*(4), 470-484. doi:10.1080/10473289.2002.10470794

Strader, R., Lurmann, F. ve Pandis, S. N. (1999). Evaluation of secondary organic aerosol formation in winter. *Atmospheric Environment*, *33*(29), 4849-4863. doi:10.1016/S1352-2310(99)00310-6

Štrbac, S., Kašanin Grubin, M. ve Vasić, N. (2017). Importance of background values in assessing the impact of heavy metals in river ecosystems: Case study of Tisza River, Serbia. *Environmental Geochemistry and Health*, *40*(4). doi:10.1007/s10653-017-0053-0

Streets, D. G., Fu, J. S., Jang, C. J., Hao, J., He, K., Tang, X., … Yu, C. (2007). Air quality during the 2008 Beijing Olympic Games. *Atmospheric Environment*, *41*(3). doi:10.1016/j.atmosenv.2006.08.046

Strickland, M. J., Darrow, L. A., Klein, M., Flanders, W. D., Sarnat, J. A., Waller, L. A., … Tolbert, P. E. (2010). Short-term associations between ambient air pollutants and pediatric asthma emergency department visits. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *182*(3). doi:10.1164/rccm.200908-1201OC

Sudheer, A. K. ve Rengarajan, R. (2015). Time-resolved inorganic chemical composition of fine aerosol and associated precursor gases over an urban environment in western India: Gas-aerosol equilibrium characteristics. *Atmospheric Environment*, *109*. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.03.028

Suh, H. H., Bahadori, T., Vallarino, J. ve Spengler, J. D. (2000). Criteria air pollutants and toxic air-pollutants. *Environmental Health Perspectives*, *108*(SUPPL. 4). doi:10.1289/ehp.00108s4625

Sulfur Dioxide Basics | US EPA. (t.y.). 3 Haziran 2024 tarihinde https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2 adresinden erişildi.

Sun, J. ve Ariya, P. A. (2006). Atmospheric organic and bio-aerosols as cloud condensation nuclei (CCN): A review. *Atmospheric Environment*, *40*(5), 795-820. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2005.05.052

Suradi, H., Khan, M. F., Sairi, N. A., Rahim, H. A., Yusoff, S., Fujii, Y., … Latif, M. T. (2021). Ambient levels, emission sources and health effect of $PM_{2.5}$-bound carbonaceous particles and

polycyclic aromatic hydrocarbons in the city of Kuala Lumpur, Malaysia. *Atmosphere*, *12*(5). doi:10.3390/atmos12050549

Szidat, S., Jenk, T. M., Synal, H. A., Kalberer, M., Wacker, L., Hajdas, I., … Baltensperger, U. (2006). Contributions of fossil fuel, biomass-burning, and biogenic emissions to carbonaceous aerosols in Zurich as traced by ^{14}C. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *111*(D7). doi:10.1029/2005JD006590

Şahin, Ç., Dogan, T. R., Yildiz, M. ve Sofuoğlu, S. C. (2022). Indoor Environmental Quality in Naturally Ventilated Schools of a Dusty Region: Excess Health Risks and Effect of Heating and Desert Dust Transport. *Indoor Air*. doi:10.1111/ina.13068

Tahri, M., Bounakhla, M., Zghaid, M., Benchrif, A., Zahry, F., Noack, Y. ve Benyaïch, F. (2013). TXRF Characterization and Source Identification by Positive Matrix Factorization of Airborne Particulate Matter Sampled in Kenitra City (Morocco). *X-Ray Spectrometry*. doi:10.1002/xrs.2484

T.C. Ankara Valiliği. 23 Ağustos 2024 tarihinde http://www.ankara.gov.tr/ adresinden erişildi.

Theodosi, C., Tsagkaraki, M., Zarmpas, P., Grivas, G., Liakakou, E., Paraskevopoulou, D., … Mihalopoulos, N. (2018). Multi-year chemical composition of the fine-aerosol fraction in Athens, Greece, with emphasis on the contribution of residential heating in wintertime. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *18*(19), 14371-14391. doi:10.5194/ACP-18-14371-2018

Thürkow, M., Banzhaf, S., Butler, T., Pültz, J. ve Schaap, M. (2023). Source attribution of nitrogen oxides across Germany: Comparing the labelling approach and brute force technique with LOTOS-EUROS. *Atmospheric Environment*, *292*. doi:10.1016/j.atmosenv.2022.119412

Tiğli, N. E. ve Cangür, Ş. (2019). *ANKARA'DA FARKLI HAVA KALİTESİ İZLEME İSTASYONLARINDAN ELDE EDİLEN VERİLERİN KANTİL REGRESYON ANALİZİ İLE İNCELENMESİ*. *Journal of Quantitative Sciences*. https://orcid.org//0000-0002-0732-8952. adresinden erişildi.

Tyagi, B., Singh, J. ve Beig, G. (2020). Seasonal progression of surface ozone and NO_x concentrations over three tropical stations in North-East India. *Environmental Pollution*, *258*. doi:10.1016/j.envpol.2019.113662

Urman, R., McConnell, R., Islam, T., Avol, E. L., Lurmann, F. W., Vora, H., … Gauderman, W. J. (2014). Associations of children's lung function with ambient air pollution: Joint effects of regional and near-roadway pollutants. *Thorax*, *69*(6). doi:10.1136/thoraxjnl-2012-203159

Uugwanga, M. N. ve Kgabi, N. A. (2021). Dilution and dispersion of particulate matter from abandoned mine sites to nearby communities in Namibia. *Heliyon*, *7*(4). doi:10.1016/j.heliyon.2021.e06643

Valavanidis, A., Fiotakis, K. ve Vlachogianni, T. (2008). Airborne particulate matter and human health: Toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms. *Journal of Environmental Science and Health - Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*. doi:10.1080/10590500802494538

Vallero, D. (2014). Fundamentals of air pollution, fifth edition. *Fundamentals of Air Pollution, Fifth Edition*, 1-986. doi:10.1016/B978-0-12-401733-7.01001-X

Vasilakopoulou, C., Stavroulas, I., Mihalopoulos, N. ve Pandis, S. N. (2022). The effect of the averaging period for PMF analysis of aerosol mass spectrometer measurements during offline applications. *Atmospheric Measurement Techniques*, *15*(21), 6419-6431. doi:10.5194/amt-15-6419-2022

Verma, S. R., Pervez, S., Mandal, P., Chow, J. C., Watson, J. G., Andrabi, S. M., … Satnami, M. L. (2022). Atmospheric Abundance of $PM_{2.5}$ Carbonaceous Matter and Their Potential Sources at Three High-Altitude Glacier Sites over the Indian Himalayan Range. *ACS Earth and Space Chemistry*, *6*(12). doi:10.1021/acsearthspacechem.2c00216

Wallace, J. M., Wallace, J. M. ve Hobbs, P. V. (2006). Atmospheric Science: An Introductory Survey, 504.

Wang, H., Zhu, B., Shen, L., Xu, H., An, J., Xue, G. ve Cao, J. (2015). Water-soluble ions in atmospheric aerosols measured in five sites in the Yangtze River Delta, China: Size-fractionated, seasonal variations and sources. *Atmospheric Environment*, *123*, 370-379. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2015.05.070

Wang, Jianhua ve Ogawa, S. (2015). Effects of meteorological conditions on $PM_{2.5}$ concentrations in Nagasaki, Japan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *12*(8). doi:10.3390/ijerph120809089

Wang, Ju, Yu, A., Yang, L. ve Fang, C. (2019). Research on organic carbon and elemental carbon distribution characteristics and their influence on fine particulate matter ($PM_{2.5}$) in Changchun city. *Environments - MDPI*, *6*(2). doi:10.3390/environments6020021

Wang, T., Xue, L., Brimblecombe, P., Lam, Y. F., Li, L. ve Zhang, L. (2017). Ozone pollution in China: A review of concentrations, meteorological influences, chemical precursors, and effects. *Science of the Total Environment*, *575*. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.10.081

Watson, J. G., Chow, J. C., Chen, L., Wang, X., & Diamond Bar, C. A. (2010). Measurement system evaluation for fugitive dust emissions detection and quantification. *Prepared by Desert Research Institute, Reno, NV*.

WHO global air quality guidelines. Particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. (t.y.).

WHO, R. (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution—REVIHAAP Project. Technical Report. (2013).

WHO, 30 Mayıs 2024 tarihinde https://www.who.int/news/item/29-10-2018-more-than-90-of-the-worlds-children-breathe-toxic-air-every-day# adresinden erişildi.

Winijkul, E., Yan, F., Lu, Z., Streets, D. G., Bond, T. C. ve Zhao, Y. (2015). Size-resolved global emission inventory of primary particulate matter from energy-related combustion sources. *Atmospheric Environment*, *107*. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.02.037

Wu, C. ve Yu, J. Z. (2016). Determination of primary combustion source organic carbon-to-elemental carbon (OC / EC) ratio using ambient OC and EC measurements: Secondary OC-

EC correlation minimization method. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *16*(8), 5453-5465. doi:10.5194/acp-16-5453-2016

Wu, Z., Qi, Y., Kang, A., Li, B. ve Xu, X. (2020). Evaluation of particulate matter capture and long-term clogging characteristics of different filter media for pavement runoff treatment. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2020*. doi:10.1155/2020/5012903

Xiao, H., Xiao, H. Y., Zhang, Z. Y., Zheng, N. J., Li, Q. K. ve Li, X. D. (2020). Chemical characteristics of major inorganic ions in $PM_{2.5}$ based on year-long observations in Guiyang, southwest China-Implications for formation pathways and the influences of regional transport. *Atmosphere*, *11*(8). doi:10.3390/ATMOS11080847

Xu, L., Chen, X., Chen, J., Zhang, F., He, C., Zhao, J. ve Yin, L. (2012). Seasonal variations and chemical compositions of $PM_{2.5}$ aerosol in the urban area of Fuzhou, China. *Atmospheric Research*, *104-105*, 264-272. doi:10.1016/J.ATMOSRES.2011.10.017

Xu, S., Ren, L., Lang, Y., Hou, S., Ren, H., Wei, L., … Fu, P. (2020). Molecular markers of biomass burning and primary biological aerosols in urban Beijing: Size distribution and seasonal variation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *20*(6), 3623-3644. doi:10.5194/ACP-20-3623-2020

Yang, L., Shang, Y., Hannigan, M. P., Zhu, R., Wang, Q., Qin, C. ve Xie, M. (2021a). Collocated speciation of $PM_{2.5}$ using tandem quartz filters in northern nanjing, China: Sampling artifacts and measurement uncertainty. *Atmospheric Environment*, *246*. doi:10.1016/j.atmosenv.2020.118066

Yang, Y., Qin, Y., Qin, J., Zhou, X., Xv, P., Tan, J. ve Xiao, K. (2022). Facile Differentiation of Four Sources of Water-Soluble Organic Carbon in Atmospheric Particulates Using Multiple Fluorescence Spectral Fingerprints. *Environmental Science and Technology Letters*, *9*(5). doi:10.1021/acs.estlett.2c00128

Yatin, M., Tuncel, S., Aras, N. K., Olmez, I., Aygun, S. ve Tuncel, G. (2000). Atmospheric trace elements in Ankara, Turkey: 1. factors affecting chemical composition of fine particles. *Atmospheric Environment*, *34*(8). doi:10.1016/S1352-2310(98)00297-0

Yavaş, S. P. (2021). Change in Air Pollution and Human Mobility Trends During COVID-19 Lockdown Measures in Turkey. *The Anatolian Journal of Family Medicine*. doi:10.5505/anatoljfm.2021.25338

Yoo, H. Y., Kim, K. A., Kim, Y. P., Jung, C. H., Shin, H. J., Moon, K. J., … Lee, J. Y. (2022). Validation of SOC Estimation Using OC and EC Concentration in $PM_{2.5}$ Measured at Seoul. *Aerosol and Air Quality Research*, *22*(4). doi:10.4209/AAQR.210388

Yu, J., Yan, C., Liu, Y., Li, X., Zhou, T. ve Zheng, M. (2018). Potassium: A tracer for biomass burning in Beijing? *Aerosol and Air Quality Research*, *18*(9). doi:10.4209/aaqr.2017.11.0536

Yu, Y., Wang, Q., Li, L., Sun, P., Zhang, Y., Lin, H., … Xiang, M. (2016). The Variations of Concentrations, Profiles and Possible Sources of Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in PM_{10} From Lanzhou, China. *Polish Journal of Environmental Studies*. doi:10.15244/pjoes/61541

Yuan, C. S., Lee, C. G., Liu, S. H., Chang, J. cheng, Yuan, C. ve Yang, H. Y. (2006). Correlation of atmospheric visibility with chemical composition of Kaohsiung aerosols. *Atmospheric Research*, *82*(3-4), 663-679. doi:10.1016/J.ATMOSRES.2006.02.027

Yuan, X., Song, J., Zeng, N., Guo, J. ve Ma, H. (2022). Correlation analysis and application investigation of multi-angle simultaneous polarization measurement data and concentration of suspended particulate matter in the atmosphere. *Frontiers in Environmental Science*, *10*. doi:10.3389/fenvs.2022.1031863

Zappi, A., Popovicheva, O., Tositti, L., Chichaeva, M., Eremina, I., Kasper-Giebl, A., … Kasimov, N. (2023). Factors influencing aerosol and precipitation ion chemistry in urban background of Moscow megacity. *Atmospheric Environment*, *294*. doi:10.1016/j.atmosenv.2022.119458

Zararsiz, A. ve Öztürk, F. (2020). Estimation of Health Risks Associated with Household Dust Contamination in Bolu (Turkey). *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *8*(4), 2245-2265. doi:10.29130/dubited.706362

Zaveri, R. A., Shaw, W. ve Cziczo, D. (2010). CARES: Carbonaceous Aerosol and Radiative Effects Study Operations Plan. doi:10.2172/983107

Zhang, J. ve Smith, K. R. (2007). Household air pollution from coal and biomass fuels in China: Measurements, health impacts, and interventions. *Environmental Health Perspectives*. doi:10.1289/ehp.9479

Zhang, Yaping, Wang, X., Chen, H., Yang, X., Chen, J. ve Allen, J. O. (2009). Source apportionment of lead-containing aerosol particles in Shanghai using single particle mass spectrometry. *Chemosphere*, *74*(4). doi:10.1016/j.chemosphere.2008.10.004

Zhang, Yun, Wang, K., Tong, H., Huang, R. J. ve Hoffmann, T. (2021). The maximum carbonyl ratio (MCR) as a new index for the structural classification of secondary organic aerosol components. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, *35*(14). doi:10.1002/rcm.9113

Zhang, Yunjiang, Favez, O., Canonaco, F., Liu, D., Močnik, G., Amodeo, T., … Albinet, A. (2018). Evidence of major secondary organic aerosol contribution to lensing effect black carbon absorption enhancement. *npj Climate and Atmospheric Science*, *1*(1). doi:10.1038/s41612-018-0056-2

Zhao, G., Zhao, Z., Guo, X., Du, Q., Gao, J., Dong, H., … Su, L. (2016). Emission and Morphological Characteristics and Elemental Compositions of Fine Particulate Matter from an Industrial Pulverized Coal Boiler Equipped with a Fabric Filter in China. *Energy and Fuels*, *30*(5). doi:10.1021/acs.energyfuels.6b00060

Zhao, H., Wang, X., Wang, R., Hua, D., Li, K. ve Ji, F. (2023). Optimal static light scattering detection angle for particulate matter size and concentration measurement. *Measurement Science and Technology*, *34*(12). doi:10.1088/1361-6501/acf400

Zhao, J., Ma, C., He, C., Zhang, Z., Jiang, T., Tang, R. ve Chen, Q. (2022). Variations in Sulfur and Nitrogen Oxidation Rates in Summer Aerosols from 2014 to 2020 in Wuhan, China. *Atmosphere*, *13*(8). doi:10.3390/atmos13081199

Zheng, W., Zhao, Y., Xin, H., Li, B., Gates, R. S., Zhang, Y. ve Soupir, M. (2013). Concentrations and size distributions of airborne particulate matter and bacteria in an experimental aviary

laying-hen housing system. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2013, ASABE 2013* içinde (C. 5). doi:10.13031/aim.20131619353

Zhou, H., Lü, C., He, J., Gao, M., Zhao, B., Ren, L., … Zhang, Y. (2018). Stoichiometry of water-soluble ions in $PM_{2.5}$: Application in source apportionment for a typical industrial city in semi-arid region, Northwest China. *Atmospheric Research*, *204*, 149-160. doi:10.1016/J.ATMOSRES.2018.01.017